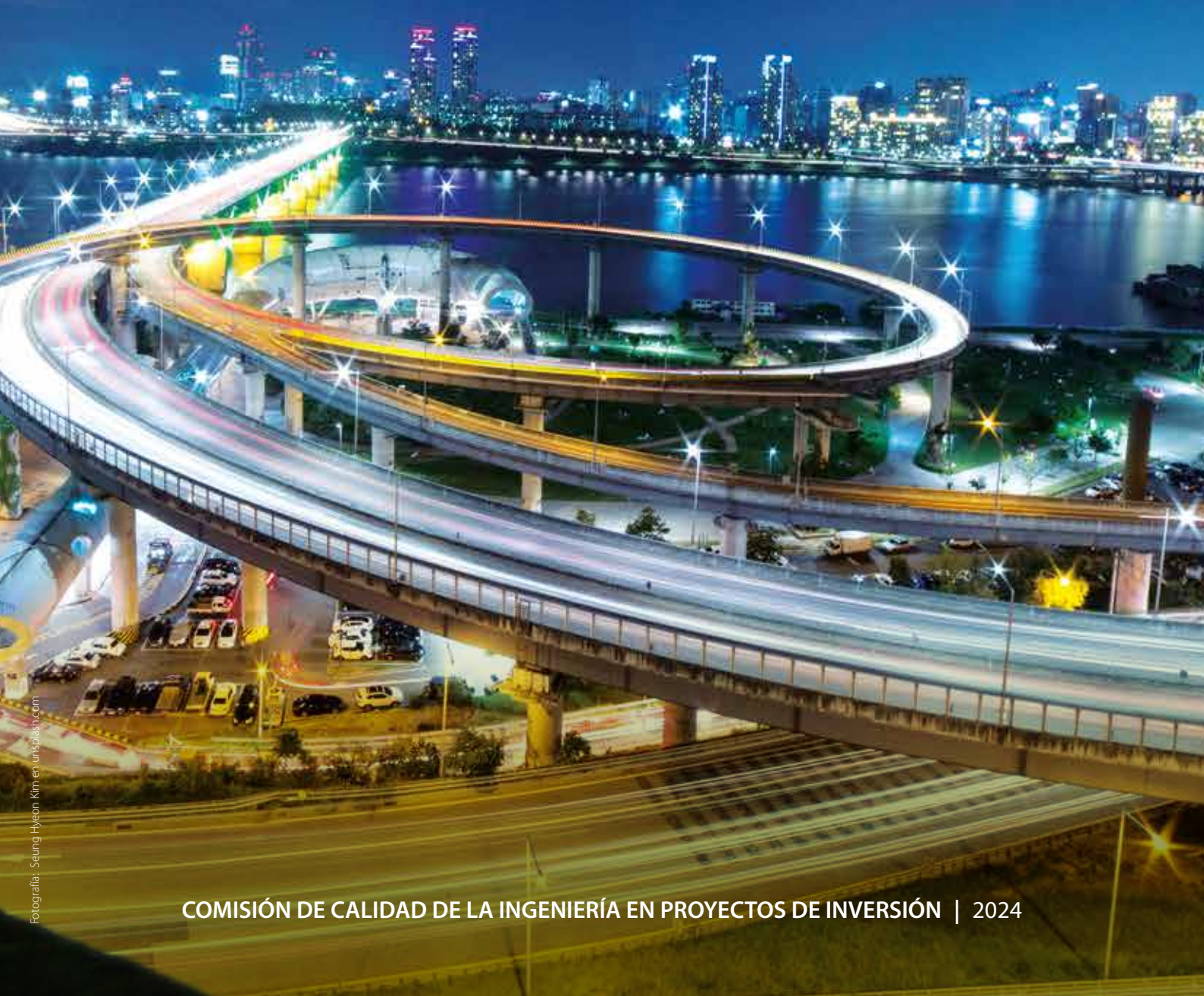




INSTITUTO DE INGENIEROS
CHILE

CALIDAD DE LA INGENIERÍA EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Factores críticos y mejores prácticas



INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Fundado en 1888

Miembro de la American Society of Civil Engineers (ASCE)

JUNTA EJECUTIVA

Presidente

Juan Carlos Barros Monge

Primer Vicepresidente

Ricardo Nicolau del Roure G.

Segunda Vicepresidenta

Ximena Vargas Mesa

Secretario

Germán Millán Valdés

Prosecretario

Javier García Monge

Tesorero

Jorge Pedrals Guerrero

Protesorero

Mauro Grossi Pasche

DIRECTORIO 2024

Alejandra Acuña Villalobos

Dante Bacigalupo Marió

Marcial Baeza Setz

Cristian Barrientos Gutiérrez

Juan Carlos Barros Monge

Juan Enrique Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Silvana Cominetti Cotti-Cometti

Rodrigo Fernández Aguilera

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Jorge Gironás León

Javier García Monge

Mauro Grossi Pasche

Germán Millán Valdés

Marcela Munizaga Muñoz

Eduardo Muñoz Castro

Juan Music Tomicic

Luis Nario Matus

Ricardo Nicolau del Roure G.

José Orlandini Robert

Verónica Patiño Sánchez

Jorge Pedrals Guerrero

Humberto Peña Torrealba

Daniela Pollak Aguiló

Miguel Ropert Dokmanovic

Mauricio Sarrazín Arellano

Alejandro Steiner Tichauer

Ximena Vargas Mesa

Jorge Yutronic Fernández

Secretario General

Carlos Gauthier Thomas

SOCIEDADES ACADÉMICAS MIEMBROS DEL INSTITUTO

ASOCIACIÓN CHILENA DE SISMOLOGÍA
E INGENIERÍA ANTISÍSMICA, ACHISINA.

Presidente: Jorge Carvallo W.

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL –
CAPÍTULO CHILENO, AIDIS.

Presidente: Alexander Chechilnitzky Z.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
HIDRÁULICA, SOCHID.

Presidente: Jorge Gironás L.

SOCIEDAD CHILENA
DE GEOTECNIA, SOCHIGE.

Presidente: Paulo Oróstegui T.

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA
DE TRANSPORTE, SOCHITRAN.

Presidenta: Camila Balbontín T.

SOCIEDAD CHILENA DE EDUCACIÓN
EN INGENIERÍA, SOCHEDI.

Presidente: Raúl Benavente G.

COMISIONES DEL INSTITUTO

Cambio Climático y el Agua.

Presidente: Luis Nario M.

Comunicaciones.

Presidente: Germán Millán V.

Convergencia Biológica Digital.

Presidente: Alejandro Steiner T.

El Estado, su Eficiencia, su Rol y los Desafíos Futuros.

Presidente: Jorge Pedrals G.

Ingenieros en la Historia Presente.

Presidente: Miguel Ropert D.

Práctica y Academia en la Ingeniería Chilena.

Presidenta: Silvana Cominetti C.

Propuestas desde la Ingeniería para Superar la Pobreza.

Presidente: Juan Enrique Castro C.

Prospectivas de la Ingeniería Chilena (II parte).

Presidente: Jorge Yutronic F.

Una Visión y Diagnóstico desde la Ingeniería a la Baja Participación de Jóvenes en Sociedades Académicas y Profesionales.

Presidente: Eduardo Muñoz C.

Ingeniería y Seguridad (Ad-hoc).

Presidente: Raúl Manásevich

CONSEJO CONSULTIVO

Raquel Alfaro Fernandois

Elías Arze Cyr

Marcial Baeza Setz

Juan Carlos Barros Monge

Bruno Behn Theune

Sergio Bitar Chacra

Francisco Brieva Rodríguez

Mateo Budinich Diez

Juan Enrique Castro Cannobbio

Alex Chechilnitzky Zwicky

Joaquín Cordua Sommer

Álvaro Fischer Abeliuk

Roberto Fuenzalida González

Alejandro Gómez Arenal

Tomás Guendelman Bedrack

Diego Hernández Cabrera

Jaime Illanes Piedrabuena

Sergio Lavanchy Merino

Agustín León Tapia

Nicolás Majluf Sapag

Jorge Mardones Acevedo

Carlos Mercado Herreros

Germán Millán Pérez

Andrés Navarro Haeussler

Guillermo Noguera Larraín

Luis Pinilla Bañados

José Rodríguez Pérez

Rodolfo Saragoni Huerta

Mauricio Sarrazín Arellano

Raúl Uribe Sawada

Luis Valenzuela Palomo

Andrés Weintraub Pohorille

Jorge Yutronic Fernández



INSTITUTO DE INGENIEROS
C H I L E

CALIDAD DE LA INGENIERÍA EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

Factores críticos y mejores prácticas

PRESIDENTE

Ricardo Nicolau del Roure G.

PARTICIPANTES

Dante Bacigalupo M.

Jorge Bravo E.

Carlos Mercado H.

Germán Millán P.

Luis Nario M.

Manuel J. Navarro V.

Jorge Pedrals G.

Daniela Pollak A.

Alfredo Serpell B.

Gerhard Von Borries H.

Humberto Wolnitzky R.

CONTENIDO

Agradecimientos	4
CAPÍTULO 1. Introducción y objetivo del Informe	5
1.1. Introducción	5
1.2. Objetivo del Informe	7
CAPÍTULO 2. La Calidad de las Ingenierías en Proyectos de Inversión	8
2.1. Conceptos Generales sobre el Desarrollo de Proyectos de Inversión	8
2.2. Conceptos básicos sobre calidad	10
2.2.1. Que se entiende por Calidad en los Proyectos	10
2.2.2. Aseguramiento de la Calidad y Control de Calidad (QA/QC)	11
2.2.3. El costo de la calidad en los proyectos	11
2.2.4. Gestión de la Calidad en los Proyectos	12
2.2.5. La calidad en las Ingenierías de detalles	12
2.2.6. Los atributos de la Calidad de las ingenierías	13
CAPÍTULO 3. Análisis y Diagnóstico de la Calidad de los Diseños de Ingeniería de Detalles	15
3.1. Introducción	15
3.2. Conociendo y entendiendo los “errores” y sus principales causas	15
3.3. Calidad de las Ingenierías en el Contexto Internacional	18
3.4. La Opinión de las Instituciones especializadas: el IPA y el CII	21
3.4.1. Independent Project Analysis (IPA)	21
3.4.2. Construction Industry Institute (C.I.I.)	22
3.5. La Calidad de las ingenierías en Chile	24
3.5.1. La visión de la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería (AIC)	24
3.5.2. Lo que reporta la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad	26
3.6. Síntesis y Diagnóstico	27
CAPÍTULO 4. Propuestas y Acciones para asegurar la calidad de las ingenierías	29
4.1. Introducción	29
4.2. Los Factores Organizacionales del dueño	29
4.2.1. El Equipo del Proyecto del dueño	29
4.2.2. Las extensiones o complementaciones del equipo del proyecto	30
4.2.3. El Rol de los Directorios y la necesidad del Comité Supervisor	30
4.3. Los Factores Organizacionales en las Empresas de Diseño	31
4.3.1. Los equipos de diseño	31
4.3.2. Las políticas de gestión y capacitación del personal	32

4.3.3. La gestión del conocimiento y el uso de herramientas digitales	32
4.3.4. Las políticas y gestión de la Calidad QA/QC	32
4.3.5. La relevancia de la Constructibilidad en los diseños	33
4.3.6. Prefabricación e innovación en general	33
4.4. Herramientas y Técnicas Disponibles para “Mejorar y Garantizar” la Calidad de las Ingenierías	33
4.4.1. Determinación de la “Madurez y Solidez” del Grado de Desarrollo de un Proyecto de Inversión	33
4.4.2. El empleo del BIM y las Metodologías digitales	36
4.5. Las Lecciones Aprendidas y su empleo en el mejoramiento continuo de la calidad en las ingenierías	40
CAPÍTULO 5. Recomendaciones de Instituciones Internacionales para Asegurar la Calidad de las Ingenierías	42
5.1. Introducción	42
5.2. National Cooperative Highway Research Program	42
5.2.1. “Mejores Prácticas en Aseguramiento y Control de la Calidad en Diseños”	42
5.2.2. Aseguramiento de la Calidad en Contratos Design-Build (DB o EPC)	43
5.3. Aseguramiento de la Calidad en Ingeniería Estructural	45
5.3.1. Entrenamiento de Ingenieros jóvenes	45
5.3.2. Estándares de Diseño	46
5.3.3. Estándares de Presentación de los Diseños	46
5.3.4. Project Delivery System	46
5.3.5. Bases del Conocimiento (Knowledge Base)	47
5.3.6. Involucramiento del Administrador de Calidad (QA)	47
5.3.7. Revisiones de Calidad y sus enfoques específicos	47
CAPÍTULO 6. Conclusión	49
6.1. Síntesis	49
6.2. Como mejorar	50
6.3. Para tener Presente	51
ANEXO N° 1. Breve descripción del Índice PDRI, propuesto por el Construction Industry Institute (CII)	53
A1.1. PDRI para proyectos industriales	53
A1.2. PDRI para Proyectos de Infraestructura/Obras Civiles	58
ANEXO N° 2. Otras herramientas desarrolladas por el CII para el aseguramiento de la Calidad en las Ingenierías de detalle	59
A2.1. Introducción	59
A2.2. Metodología y etapas de la investigación desarrollada	59
A2.3. Herramientas propuestas por el CII para asegurar la completitud y calidad de los entregables en las ingenierías de detalles	60
A2.4. Comentarios	62
REFERENCIAS	63

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Ingenieros de Chile agradece a cada uno de los miembros de la Comisión por el trabajo desarrollado durante muchos meses. Especial reconocimiento al Sr. Dante Bacigalupo por su valiosa colaboración en la confección del documento final.

Corresponde también dejar constancia y el reconocimiento del Instituto a los profesionales que concurrieron a exponer materias específicas y experiencias relacionadas con el tema de este informe. Al Sr. Mauricio Heyermann, Presidente de BIM Forum, al Sr. Carlos López de la CDT-CChC. A los Sres. Mario Urrutia y Víctor Renner, ingenieros que estuvieron a cargo de los grandes proyectos de Celulosa Arauco.

Especiales agradecimientos para el ingeniero don Raúl Uribe S. Director de la Revista Chilena de Ingeniería, que, en su calidad de editor de las publicaciones del Instituto, revisó diligentemente el presente informe.

Al Sr. Carlos Gauthier y a la Sra. Patricia Núñez del Instituto un especial reconocimiento por su permanente y gravitante apoyo al trabajo de la Comisión.

1

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL INFORME

1.1. INTRODUCCIÓN

El Instituto de Ingenieros de Chile, fundado hace 136 años, tiene como misión promover la excelencia de la ingeniería y de su enseñanza, para contribuir de esta manera al efectivo desarrollo y prosperidad de Chile.

Para alcanzar el logro de estos objetivos el Instituto de Ingenieros impulsa de manera permanente la constitución de comisiones de estudio, que analizan temas o problemas de interés, tanto en materias propias de la ingeniería, como también en materias de relevancia o importancia nacional, las que, en ocasiones, han dado origen a propuestas de políticas públicas en aspectos tan diversos como; la Política Eléctrica y Plan Nacional de Electrificación, Política Nacional de Riego, propuestas para la Regulación de Mercados y la Modernización del Estado, Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Aportes para un Desarrollo Sustentable.

Fiel a su misión, uno de los focos de preocupación permanente del Instituto de Ingenieros es el mejoramiento continuo en el ejercicio y la práctica de la ingeniería.

En este contexto, el desarrollo de proyectos de inversión (Capital Projects) cuya materialización en los ámbitos de las infraestructuras, la industria y la vivienda, genera progreso y permite el mayor bienestar de la sociedad requiere de un intensivo uso de ingeniería, y sus éxitos y satisfactorios desempeños dependen, en gran medida, de la calidad de la ingeniería que los sustentan.

En este ámbito, en el año 2012, motivado por los bajos estándares de desempeño de algunos importantes proyectos de inversión, tanto públicos como privados, el Instituto de Ingenieros realizó un detenido análisis para identificar los factores que determinan el éxito o el fracaso de un proyecto de inversión. Los fundamentos, así como los casos de proyectos reales analizados “ex post” para identificar las condiciones que determinan su éxito o fracaso, dieron origen al informe titulado “Factores condicionantes del éxito en Proyectos de Inversión, Experiencias y Lecciones en Chile” (ref. 1), documento que ha tenido una amplia difusión, tanto en la academia como en la industria y es citado con frecuencia.

Las conclusiones del mencionado estudio confirman que el principal factor que determina el éxito o fracaso de los proyectos de inversión, tanto públicos como privados, está relacionado en la mayoría de los casos, con errores en su conceptualización o insuficiencias o falencias en los desarrollos de las fases de preinversión de ellos. Esta conclusión no era inesperada, sino que refrendaba la experiencia internacional en la materia, que reconoce la importancia fundamental que posee la etapa de preinversión de un proyecto y su necesario apego a las mejores prácticas de la ingeniería durante su desarrollo. Estos aspectos han sido reconocidos desde larga data, por diferentes instituciones y organizaciones internacionales que se han dedicado al estudio y difusión de las mejores prácticas para el desarrollo exitoso de proyectos de inversión, tales como el *Independent Project Analysis* (IPA), el *Construction Industry Institute* (C.I.I.), y la *Association for the Advancement of Cost Engineering* (AACE).

Ahora bien, a continuación de la fase de preinversión, una vez aprobado el estudio de factibilidad, que marca el término de los estudios que sustentan la decisión de proceder con la inversión y la materialización del proyecto, es necesario continuar con el desarrollo de los diseños, planos y especificaciones para la construcción y montaje de las obras, que constituyen las denominadas “ingenierías de detalle”. En esta etapa, tanto en Chile como en países con un mayor nivel de desarrollo, se han venido advirtiendo desde hace algún tiempo, debilidades y deficiencias en los diseños, especificaciones y documentos aprobados para construcción. Circunstancia que, si bien en raras ocasiones ponen en riesgo el éxito final del proyecto, sí representan importantes aumentos de los plazos y costos en los proyectos, además de convertirse en una fuente relevante de conflictos contractuales entre las partes involucradas en la construcción y montaje de las obras.

Para su mejor comprensión y modo ejemplar, se describen a continuación algunas de las deficiencias más comunes observadas en las ingenierías para construcción:

- Con cierta frecuencia los diseños adolecen de errores u omisiones, donde un observador ilustrado puede advertir, sin mayor análisis, la falta de experiencia y competencias básicas del diseñador, y que los diseños no tuvieron revisiones por personas calificadas, ni hubo un plan de aseguramiento y control de calidad.
- Lo mismo se aprecia al revisar especificaciones técnicas, donde es muy frecuente constatar que nadie con experiencia las ha preparado o revisado y donde la práctica del “copy-paste”, utilizada sin criterio y conocimientos, es evidente y notoria.
- Sub-dimensionamientos o sobredimensionamientos de las estructuras, de los equipos o de las instalaciones en general. Los primeros implican altos riesgos de fallas, con todo lo que ello puede significar para el proyecto, y los segundos, mayores costos innecesarios.
- Falencias en la constructibilidad de las obras. Circunstancia que en ciertos casos significa introducir, durante su ejecución, modificaciones sustanciales a los diseños y secuencias constructivas propuestas en la ingeniería, con el consecuente impacto en los costos, los plazos y en la administración de los contratos.
- En proyectos de expansiones o reconversiones industriales, también denominados proyectos “brown field”, es frecuente que no se hayan estudiado ni resuelto, correcta y completamente, todas las potenciales interferencias con las instalaciones existentes o a ser modificadas, con las consiguientes consecuencias que ellas tienen en rendimientos, productividad, costos y plazos.

Entre las causas más frecuentes, que explican las deficiencias mencionadas, se pueden citar las siguientes:

- Incompetencias y falta de experiencia en los equipos profesionales.
- No se practica de manera rigurosa y por personas calificadas, la disciplina de las revisiones y aprobaciones de los diseños y especificaciones.
- Se cumple con las formalidades y protocolos QA/QC, pero no con la esencia y espíritu de los sistemas de gestión y aseguramiento de la calidad.
- Dueños y mandantes (públicos y privados) contratan las ingenierías al oferente más barato, sin emplear filtros o procesos de selección rigurosos, que eviten contratar equipos profesionales sin la necesaria y probada experiencia y competencia.
- En aras de una supuesta eficiencia o ahorros, durante las sucesivas fases del desarrollo de los proyectos, se omiten etapas o estudios necesarios y arbitrariamente se acortan los plazos, para el desarrollo de estudios y diseños.
- De otro lado, existe un bajo nivel de “accountability”, y escasos o nulos castigos para los responsables, por sus errores u omisiones.

1.2. OBJETIVO DEL INFORME

En el escenario descrito, el propósito del presente estudio es analizar y comprender cómo se están abordando y administrando estas realidades, en el ámbito de la ingeniería internacional, así como en nuestro país. Y, a continuación, sobre la base de lo que proponen diferentes organizaciones y entidades internacionales para mejorar la calidad de las ingenierías y minimizar la ocurrencia de errores u omisiones, proceder a entregar propuestas y recomendaciones de mejores prácticas, metodologías y procedimientos, que permitan mitigar y en lo posible superar estas falencias a nivel de la ingeniería nacional. Y de esta manera conseguir, en un plazo breve, mejoras importantes en la eficiencia y productividad de nuestra ingeniería y construcción. En directo beneficio de los proyectos de inversión que impulsan el progreso y bienestar de Chile.

2 LA CALIDAD DE LAS INGENIERÍAS EN PROYECTOS DE INVERSIÓN

2.1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE INVERSIÓN

La materialización de los proyectos de inversión, también llamados proyectos de Capital, (Capital Projects) evoluciona desde una idea, o concepto inicial del caso o negocio, hasta su entrada en servicio o en producción. Esta evolución, que puede ser larga y que estará jalonada de incertidumbre, riesgos y también de oportunidades, significa ir superando secuencialmente una serie de etapas, cada una de ellas con sus requisitos y condiciones a satisfacer.

Así, en una primera gran segmentación del proyecto, se tienen dos etapas principales, tradicionalmente denominadas: Preinversión e Inversional.

En la primera se desarrollan todas las actividades, estudios y trabajos necesarios para alcanzar una decisión, adecuadamente fundada, para concretar, o bien desechar, la materialización del proyecto. Y en la siguiente, demostrada ya la completa viabilidad y sostenibilidad del proyecto, se procede a la inversión con la construcción y entrada en operación del proyecto.

Es pertinente y conveniente, antes de continuar, explicar las denominaciones que reciben en la literatura especializada las etapas de la Fase de Preinversión de un Proyecto.

Tradicionalmente en dicha fase se hablaba de tres etapas: Ingeniería Preliminar o de Perfil, Ingeniería Conceptual o Etapa de Pre-factibilidad, Ingeniería Básica o etapa de Factibilidad.

Luego, dependiendo de la industria de que se tratase, estas denominaciones fueron siendo modificadas, pero sin realmente alterar de manera significativa el concepto y los contenidos y productos resultantes de cada etapa. Así, por ejemplo, en algunas compañías del petróleo o mineras, sus procedimientos para el desarrollo de proyectos hablan de; Etapa de Identificación (del negocio o proyecto), en lugar de Ingeniería de Perfil, Etapa de Selección (de alternativas) en lugar de Ingeniería Conceptual y Etapa de Definición (desarrollo a nivel de factibilidad de la alternativa escogida), en vez de Ingeniería Básica.

Por su parte, el Independent Project Analysis (IPA)¹ propuso denominar la etapa de preinversión como “Front End Loading” (FEL), y el Construction Industry Institute (CII)² lo define como “Front End Planning” (FEP). La sutileza e importancia conceptual de estas denominaciones reside en que se realiza de manera clara que se trata de la parte inicial, que va

¹ Independent Project Analysis: institución fundada por Ed Merrow en 1987, con el objetivo de mejorar el resultado de los proyectos de inversión. A la fecha ha analizado estadísticamente, más de 20 mil proyectos, en todo el mundo.

² El Construction Industry Institute: Fundado en 1983, es un Instituto que funciona al alero de la Universidad de Texas en Austin, donde participan como miembros, grandes empresas constructoras, consultoras de ingeniería, proveedores y organismos estatales de USA.

en la parte delantera o al comienzo de todo el proceso de desarrollo de un proyecto. De allí, la denominación: “Front End”.

Y entonces se definen las mismas tres etapas ya comentadas, pero ahora como FEL-1/FEP-1, la ingeniería preliminar o de perfil, FEL -2/FEP2 la ingeniería conceptual o pre-factibilidad, donde incluso se hace una importante distinción entre FEL 2A, con el desarrollo de alternativas y FEL 2B, con la optimización de la alternativa escogida, hasta la etapa FEL-3/ FEP-3, la ingeniería básica o factibilidad. Sin embargo, lo importante no reside en las denominaciones, sino que en los estudios, análisis y productos que deben ser generados en cada etapa y su grado de profundidad, nivel de detalles y de completitud. Al término de cada una de estas etapas es necesario realizar exhaustivas y profundas evaluaciones para decidir, fundadamente, la continuación del proyecto, o su cancelación y archivo.

Continuando con esta somera descripción de las etapas en el desarrollo de un proyecto, como ya se explicó, la etapa de preinversión comprende varias etapas sucesivas en el tiempo que permiten, primero, validar la idea y la oportunidad de negocio, luego, definir las posibles alternativas que concretan la idea, para enseguida, seleccionar aquella alternativa que mejor cumple con los criterios técnicos, económicos, sociales, ambientales y de sostenibilidad, previamente definidos para el proyecto. Seguidamente corresponde realizar un proceso de optimización y completo desarrollo de la alternativa escogida y confirmar su viabilidad y sostenibilidad.

Estas primeras fases (FEL 1 y FEL2) de un proyecto constituyen lo que también se conoce como la etapa de “pre-factibilidad”. Que, si bien pareciera constituir una secuencia simple y lógica, su correcto y completo desarrollo no es sencillo ni trivial y es de fundamental trascendencia para el resultado. Este proceso requiere de una importante recolección y elaboración de datos de variada naturaleza, y también de la ejecución de diversos estudios y análisis, todos desarrollados por profesionales y especialistas competentes y experimentados.

A continuación, confirmada la viabilidad del proyecto, con la alternativa ya seleccionada, corresponde desarrollar la etapa de “factibilidad” (FEL 3) del proyecto, que incluye una serie de estudios, actividades y desarrollos que van dando forma y consistencia a la idea original. Entre estos, se completan los estudios de terreno y de procesos que sean necesarios, se procede a la definición de los equipos principales, se perfeccionan y completan los diseños de ingeniería de las distintas especialidades involucradas, a nivel de ingeniería básica, y también se preparan las especificaciones para las adquisiciones de los equipos y materiales, así como las especificaciones técnicas necesarias para la construcción y montaje. Los antecedentes así preparados constituyen el insumo principal para desarrollar una acabada y rigurosa estimación de costos, tanto de inversión (Capex) como de operación (Opex), que sustentarán la evaluación económica del proyecto.

Otra de las tareas esenciales a abordar en la etapa de “factibilidad”, es la preparación del Plan de Ejecución del Proyecto (PEP), que constituye la hoja de ruta del proyecto, definiendo cuándo, cómo y quién hace qué, o es responsable de que ello se ejecute en la oportunidad requerida. Dentro del PEP, hay varios capítulos cruciales, uno de los cuales es el que define el plan y la oportunidad de la obtención de los distintos permisos necesarios para obtener las autorizaciones para construir y operar. Otro de los temas gravitantes que necesariamente debe abordar el PEP, es la definición de las Estrategias de Contratación, para los distintos contratos o paquetes en que se ha dividido las adquisiciones y la construcción y montaje del proyecto.

De manera simultánea y en paralelo, durante la etapa de factibilidad, es necesario elaborar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para el proyecto, o en su defecto, una Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Estos estudios deben cumplir rigurosos estándares y sus plazos de tramitación y aprobación son por lo general extensos, y en ocasiones llegan a exceder lo razonable. La relevancia de la viabilidad y autorización ambiental de los proyectos requiere

que desde las etapas más tempranas de cualquier iniciativa sea necesario abordar, con todo el rigor necesario, estudios preliminares en los temas ambientales y sociales, de modo de identificar y evitar potenciales fallas fatales.

Concluida la etapa de factibilidad, contando con todos los antecedentes técnicos necesarios y con la evaluación económica del proyecto, basada en el Capex y Opex elaborados, se procede a decidir la continuidad y materialización del proyecto. Esta decisión será positiva, siempre que los antecedentes acumulados demuestren, sin reservas ni ambigüedades, la viabilidad técnica, económica, ambiental y social del proyecto. Decisión que normalmente queda sujeta a la obtención de las aprobaciones ambientales definitivas y los permisos sectoriales, y a la aprobación del financiamiento requerido.

Ahora bien, las actividades que siguen a la decisión de pasar a la fase de “inversión” del proyecto dependerán fuertemente de las estrategias de contratación definidas en el Plan de Ejecución del Proyecto.

Así por ejemplo, si la estrategia de contratación contempla la construcción y montaje de las obras, vía un contrato tipo EPCM (Engineering, Procurement and Construction Management), entonces las ingenierías de detalle, las compras y la administración de la construcción serán de cargo del contratista EPCM, que en general trabaja en estrecha coordinación con el equipo del dueño y la construcción será ejecutada por contratistas de construcción, contratados para tal efecto, con las ingenierías de detalles desarrolladas por el ingeniero EPCM.

Sin embargo, si la estrategia de contratación adoptada define que la construcción y montaje sea ejecutada vía un contrato tipo EPC (Engineering, Procurement and Construction), entonces las ingenierías de detalle serán desarrolladas por el contratista EPC, así como la gestión de compras, la construcción y el montaje de las obras.

Como es posible anticipar, el nivel de las ingenierías básicas en el caso de escoger un contrato tipo EPC, exigirá un mayor grado de definición y desarrollo, que en el caso de utilizar un contrato tipo EPCM, para evitar controversias y retrasos durante el desarrollo de las ingenierías de detalle y la construcción.

De igual manera, será importante prever y anticipar otras acciones, que resulten necesarias, producto de las estrategias de contratación y sistemas contractuales escogidos para materializar el proyecto.

Una importante conclusión que se desprende de esta resumida descripción de las etapas secuenciales e íntimamente ligadas que debe seguir todo proyecto de inversión, es que todas las ingenierías, ya sean éstas, de perfil, conceptuales o básicas, que sustentan las decisiones que se van adoptando en las distintas etapas, juegan un rol principal y determinante en el resultado del proyecto, de lo cual se deduce la exigencia de su intransable nivel de calidad, rigurosidad y completitud, en todas las etapas. Lo anterior, puesto que desprolijidades, inexactitudes, errores u omisiones en los diseños o especificaciones, en cualquiera de las fases, impactarán negativamente el resultado final del proyecto, incrementando sus costos, alargado los plazos y posiblemente hasta afectando su sostenibilidad, llegando en casos extremos a significar su fracaso. Las ingenierías de detalle para construcción no escapan de estas exigencias y realidad.

2.2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE CALIDAD

2.2.1. Que se entiende por Calidad en los Proyectos

El concepto “calidad” es un concepto abstracto, que usualmente es definido en términos relativamente vagos, que no permiten efectuar mediciones cuantitativas, y que, por consiguiente, imposibilitan sopesar y comparar situaciones. Sin embargo, en términos más

generales, la calidad es algo que resulta evidente para el cliente, especialmente cuando ella es deficitaria.

No obstante, estas características, la calidad puede tener distintos significados y apreciaciones para los diferentes participantes de un proyecto, circunstancia que es necesario tener presente cuando se le trata de evaluar.

Ahora bien, y como es evidente, para poder gestionar y controlar la calidad en un proyecto será necesario entender cuál es su esencia en relación con los objetivos del proyecto. En este sentido es útil recordar la definición de lo que se entiende por calidad en proyectos y productos que propuso J.M.Juran (ref 2) que se resume como: *“cumple con el propósito” (fit for purpose)*.

Esta es una definición conceptualmente simple y adecuada, en particular cuando se la complementa con las siguientes condiciones a satisfacer copulativamente: *“sus atributos responden a las necesidades del cliente o usuario”* y *“está libre de errores o defectos”*.

Por su parte el Project Management Institute (PMI)³ define calidad en los proyectos como *“el grado en el cual el conjunto de características y atributos del diseño satisfacen los requisitos del proyecto, sus especificaciones y estándares”*.

2.2.2. Aseguramiento de la Calidad y Control de Calidad (QA/QC)

Aseguramiento de la calidad (Quality Assurance, QA) y control de calidad (Quality Control, QC) son conceptos que con frecuencia se confunden y se emplean como si fuesen sinónimos, aunque claramente no lo son, pues tienen significados muy diferentes. Así, el Aseguramiento de la Calidad (QA) está enfocada a los procesos y su propósito es prevenir la ocurrencia de errores, omisiones o defectos en el origen, antes que éstos tengan lugar. Por su parte, el Control de Calidad (QC) se enfoca a los productos y su objetivo es detectar, identificar y corregir los errores o defectos, en el producto, después que ellos han ocurrido. Así es como:

- El Aseguramiento de la Calidad (QA) incluye acciones planificadas y sistemáticas, necesarias para garantizar la adecuada confianza que un producto, entregable o servicio, cumplirá los requerimientos especificados.
- El Control de Calidad (QC) consiste en la ejecución de mediciones, controles, ensayos y técnicas de revisión y control, que permiten asegurar que un determinado producto, servicio o entregable satisface, dentro de los rangos definidos, los requisitos y características especificadas para él.

2.2.3. El costo de la calidad en los proyectos

Asegurar la calidad en cualquier emprendimiento humano siempre significa una preocupación especial, que implica; planificar, gestionar, controlar y también destinar recursos para ello. Proceso que en muchas ocasiones es considerado un costo adicional, el cual es posible ahorrar o minimizar, sin advertir que, al no invertir en él, los costos de la *“no calidad”*, en general, pueden ser muy superiores al costo ahorrado y el impacto en plazos y resultados pueden llegar a ser considerables.

³ Project Management Institute: (PMI) fundado en 1969 reúne y asocia a empresas e instituciones relacionadas con la gestión de proyectos, contando en la actualidad con unos 500 mil socios en más de 100 países.

Ahora bien, para que el proceso de aseguramiento de la calidad sea exitoso es necesario que éste haya sido previsto, planificado y puesto en práctica rigurosamente, desde el inicio del proyecto. En los casos donde estos procedimientos se obvian y no se implementan, los errores y defectos inexorablemente aflorarán en las siguientes fases del proyecto, ya sea durante la ingeniería, la construcción o la operación de este. En estas situaciones, el costo y esfuerzo de subsanar los errores o defectos puede llegar a ser muy significativo, afectando además de los plazos y el presupuesto, la reputación de los involucrados. En ocasiones, estas negativas circunstancias pueden terminar en complejos juicios entre los participantes.

En consecuencia, es importante comprender que en un proyecto la calidad no puede ni debe ser transada en favor de mantener el presupuesto, el plazo o el alcance del proyecto. Ya que, de hacerse concesiones, los costos de la “*no calidad*” pueden terminar afectando de manera muy severa, ya sea, el presupuesto, el plazo o la funcionalidad del proyecto. O todas ellas.

Por otra parte, es obvio que los errores o defectos deben ser evitados, pero de ocurrir, estos deben ser subsanados lo más rápidamente posible después de ser advertidos, de manera de producir el menor impacto en el proyecto. Aunque ello signifique detener y rehacer parte del trabajo. De lo que se desprende que mientras más temprano se detecten los errores o defectos, menor será el impacto. Lo que refuerza la importancia de una eficiente gestión de la calidad.

2.2.4. Gestión de la Calidad en los Proyectos

Es bien sabido que para alcanzar el éxito en los proyectos es preciso satisfacer simultáneamente las tres conocidas condiciones esenciales; de alcance, de programa o plazo y el presupuesto.

También se ha señalado, que en ninguna circunstancia la calidad se puede o debe transar en aras de mantener o satisfacer el alcance, el plazo o el presupuesto del proyecto. En otras palabras, la calidad no puede quedar comprometida o supeditada al cumplimiento de alguna de las tres condiciones. De ocurrir, es bien sabido que el resultado final del proyecto no será el deseado.

Por consiguiente, una buena y eficaz gestión de calidad de un proyecto comienza con una adecuada y temprana planificación de la calidad, seguido del control del cumplimiento de los planes definidos.

Por otra parte, este aseguramiento y control de la calidad deberá aplicarse a las tres variables de la sostenibilidad del proyecto, a saber: lo ambiental, lo social y al propósito u objetivo del proyecto.

2.2.5. La calidad en las Ingenierías de detalles

La calidad, en las ingenierías de detalle para construcción y montaje de un proyecto de inversión, significa que las ingenierías y los diseños desarrollados satisfacen cabalmente las siguientes condiciones:

- Los diseños, con todos sus planos y documentos asociados, han sido entregados a tiempo, cumpliendo con los programas comprometidos.
- Los diseños son adecuados, correctos y completos, cumplen con las bases de diseño entregadas, con los criterios de diseño, las normas vigentes a nivel municipal y nacional y los estándares estipulados.
- Los planos y especificaciones, así como los documentos complementarios, tales como manuales de operación y mantenimiento, han sido sometidos a rigurosos procesos de revisión y de aseguramiento y control de la calidad, con todas las revisiones y aprobaciones requeridas y se encuentran libres de errores o defectos.

- Los planos y especificaciones de las distintas disciplinas que intervienen en el proyecto han sido oportuna y correctamente coordinados entre ellas y todas las posibles interferencias y conflictos han sido detectados y resueltos satisfactoriamente.
- Los datos y características de equipos e instrumentos, proporcionados por los proveedores (“vendor data”), han sido verificados e incorporados en los planos y especificaciones.
- La constructibilidad de los diseños propuestos ha sido estudiada y verificada con expertos en construcción y montajes de proyectos similares.
- Los requerimientos de mantenibilidad y sostenibilidad han sido debidamente incorporados en los diseños y las especificaciones.
- El empleo de software y herramientas numéricas o digitales, en los cálculos y diseños, ha sido realizado por profesionales calificados y experimentados, y los programas o software comerciales utilizados, corresponden a versiones autorizadas y certificadas.
- La gestión, aplicada durante su desarrollo y preparación, admite la innovación por el diseñador.

2.2.6. Los atributos de la Calidad de las ingenierías

También resulta importante definir los atributos de calidad que debe tener o cumplir la ingeniería. Diversos investigadores han propuesto las condiciones y atributos que caracterizan una buena calidad de la documentación para construir (ref. 3 a 6).

Recientemente, en un intento por definir un patrón, los académicos Sud Africanos, Akampurira y Windapo (ref. 7), efectuaron una completa revisión de la literatura relacionada e identificaron un conjunto esencial de 13 atributos de la calidad, los que se presentan con su definición más aceptada, en la [Tabla N.º 1](#), más adelante.

Por otro lado, es importante constatar que, si bien hay consenso respecto de los atributos de la calidad, no existe un consenso sobre la importancia relativa de cada uno de estos atributos.

Ello significa que no hay un ranking único de estos atributos, y las priorizaciones de los atributos dependerán de los participantes en el proyecto, de las circunstancias y del tipo o naturaleza del proyecto y su importancia. Pero obviamente, entre los primeros lugares de importancia siempre están; la exactitud, la completitud, la claridad, la verificación y el chequeo final. Lo que, en la mayoría de las ocasiones, refleja las percepciones y experiencias pasadas o sufridas, de los encuestados.

TABLA N° 1
Definición de los atributos de la calidad de la documentación
 Basado en el trabajo de Akampurira y Windapo (ref. 7)

Atributo	Descripción
Exactitud	Planos y documentos libres de errores u omisiones, de cálculo o diseño.
Certeza	Planos y documentos no requerirán cambios o correcciones.
Claridad	La información en planos y documentos es fácilmente interpretada.
Compleitud	Planos y demás documentos entregan toda la información necesaria.
Conformidad	Planos y documentos cumplen los requerimientos de códigos, normas y reglamentos.
Consistencia	La información contenida en planos y documentos es coherente entre sí.
Coordinación	La información presentada en planos y documentos ha sido total y completamente coordinada entre todas las disciplinas.
Revisión Final	Planos y documentación han sido adecuadamente revisadas y verificada, previo a su liberación al contratista para construcción.
Relevancia	Las especificaciones y los detalles son específicos, relevantes y apropiados para el proyecto.
Legibilidad	Los planos y documentos son fáciles de leer y entender.
Representación	Los planos y otros documentos representan correctamente las condiciones geológicas y topográficas, del sitio, incluyendo instalaciones existentes, incluso aquellas bajo tierra, u ocultas.
Estandarización	Planos y otros documentos utilizan detallamiento y especificaciones estándar.
Oportunidad	Los planos y documentos son entregados cuando son requeridos, sin atrasos.

3

ANÁLISIS Y DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD DE LOS DISEÑOS DE INGENIERÍA DE DETALLES

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo, se desarrolla un análisis y diagnóstico de la escasa calidad de los diseños de las ingenierías de detalle, que actualmente y desde hace ya algunas décadas, predomina en el ámbito de los proyectos de inversión a nivel internacional y también en Chile. Lo anterior se hace basado en la revisión de un significativo número de publicaciones internacionales y también en reportes específicos elaborados por instituciones especializadas en estas materias.

El propósito es identificar y entender las causas que explicarían esta realidad, para, a continuación, proponer la adopción de posibles medidas y acciones de mejora, que permitirían disminuir y en lo posible eliminar tales deficiencias. Propositiones, que serán desarrolladas y documentadas con mayor detalle y profundidad en los capítulos siguientes del informe y que están basadas en diferentes fuentes, informes y estudios, realizados por distintas instituciones y organizaciones internacionales preocupadas del correcto ejercicio y desempeño de la ingeniería en los proyectos de inversión.

El análisis que se desarrolla en este capítulo comienza por entregar una visión de lo que son y significan los errores en las ingenierías. Luego procede a registrar y comentar lo reportado en los últimos años, en la literatura internacional especializada, así como también lo investigado y documentado por dos reconocidas instituciones ya mencionadas en el capítulo 2, el “Independent Project Analysis”, (IPA) y el “Construction Industry Institute” (CII), ambas basadas en Estados Unidos, cuya misión y objetivos declarados son: alcanzar el éxito en los proyectos de inversión, el IPA, y alcanzar la excelencia en la construcción, el CII.

Luego el foco se centra en la evaluación de la calidad de los diseños de las ingenierías de detalle en el país, considerando, por una parte, los diagnósticos que ha elaborado la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería (AIC) sobre el particular, y lo que ha señalado la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (CNEP) en un reciente estudio sobre la productividad en la industria de la construcción en el país.

3.2. CONOCIENDO Y ENTENDIENDO LOS “ERRORES” Y SUS PRINCIPALES CAUSAS

Los “errores” se han convertido en una indeseada característica de los procesos de diseño y construcción en los proyectos de inversión. Ello a pesar de las numerosas investigaciones dirigidas a determinar las causas de los errores en los proyectos y de formular propuestas de cómo evitarlos. Conceptualmente los errores pueden ser cometidos por los individuos o por los equipos de diseño.

Diversas investigaciones (ref’s 2 a 10) han demostrado que los errores de diseño en los proyectos frecuentemente tienen su origen en las carencias de conocimientos, en las

incompetencias, o en las omisiones en que incurren los que están encargados de los diseños. También señalan que, en ocasiones, estos errores u omisiones son relativamente menores. Sin embargo, con frecuencia, su impacto en los costos, los plazos y la seguridad de un proyecto pueden llegar a ser significativos.

Por otra parte, las estadísticas indican que los errores de diseño constituyen la causa predominante de accidentes y que aquellos errores, calificados como “groseros”, explican del orden del 80 al 90% de los colapsos de edificios, puentes, y de fallas severas en otras obras de ingeniería.

Ahora bien, es importante reconocer que en el mundo real los errores de diseño son prácticamente inevitables, por lo que se han propuesto y desarrollado metodologías de certificaciones, revisiones, verificaciones y auditorías, que son funciones y acciones implícitas en todos los sistemas de QA/QC. Estos sistemas no siempre se implementan o ejecutan correctamente, o bien, por distintas causas, no alcanzan los resultados buscados.

En estas circunstancias, los constructores reciben documentación técnica contractual, (planos y especificaciones) para estudiar sus ofertas y luego construir, que por lo general contienen errores o inconsistencias, que requieren aclaraciones y/o correcciones de parte de los diseñadores y/o del dueño o mandante. Errores u omisiones, que, para ser resueltos adecuadamente durante la construcción, por regla general requieren introducir modificaciones en los diseños y las especificaciones. Circunstancias que, en la práctica, normalmente exigen introducir cambios, realizar modificaciones y rehacer trabajos, con los consabidos impactos en costos y plazos. Situaciones que frecuentemente conllevan a otras dificultades y problemas de tipo contractual.

Algunas de las causas más frecuentes de los errores en los diseños de ingeniería y en la documentación para construcción, son atribuibles al recurrente empleo de malas prácticas, tales como las siguientes (ref. 8 a 16):

a. Por los dueños

- La práctica de obviar o saltarse pasos o etapas durante el estudio y desarrollo de un proyecto, sin ajustarse a las recomendaciones de buenas prácticas y a las debidas rutinas. Práctica que, en algunas ocasiones y circunstancias puede resultar satisfactoria, y que por ello se repite en otros escenarios, aunque ello no resulte ser lo apropiado en la mayoría de las ocasiones.
- La extendida costumbre de subestimar los plazos requeridos para el correcto y completo estudio y elaboración de las ingenierías y diseños de un proyecto. Costumbre que significa convivir con atrasos permanentes durante el desarrollo de las ingenierías y que, por consiguiente, impone fuertes tensiones dentro de los equipos del proyecto, situaciones que terminan perjudicando la calidad final de los diseños.
- Muy gravitante resulta ser la práctica de seleccionar a los equipos de ingeniería y diseñadores basada en el menor precio por los servicios a desarrollar, sin tomar en consideración otros importantes requisitos y exigencias indispensables a cumplir, tales como la experiencia y las competencias de los profesionales y de los equipos, la disponibilidad, los recursos requeridos y los plazos necesarios. Sobre este aspecto hay numerosos estudios y todos concluyen que los costos finales de los proyectos se incrementan de manera significativa, debido a las deficiencias en los diseños, que son el resultado de asignar los proyectos a equipos profesionales cuyas tarifas o presupuestos quedan bajo los mínimos razonables, o bien, bajo el nivel óptimo de precios, y/o basados en una equivocada estimación de horas hombre.
- Desafortunadamente existe la creencia, en la mayoría de los dueños o mandantes, que conseguir un bajo precio por servicios de ingeniería, sin aplicar otros criterios o

exigencias de selección, representa alcanzar el “mejor valor”. Creencia que no puede estar más alejada de la realidad.

- Esto ha sido demostrado por diversos estudios, entre los cuales resultan ilustrativos los reportados en Australia y en el Reino Unido (ref. 13 a 16 entre otras).
- La falta de experiencia del dueño en proyectos de inversión similares, y su equipo mal constituido y/o sin la experiencia necesaria (ref. 17).
- Excesivos cambios en aspectos esenciales, introducidos durante el desarrollo de los estudios y diseños.
- Información de base, proporcionada para el desarrollo de los estudios y diseños, insuficiente, incompleta o errónea.

b. En las firmas de ingeniería

- La extendida y cuestionada práctica de iniciar cálculos y diseños basados en información preliminar, no verificada o consolidada. Práctica que es más frecuente aún en proyectos con plazos reducidos, donde muchas de las actividades se traslapan o sus normales tiempos de desarrollo se reducen, no permitiendo tener la confirmación de los datos preliminares, ni de los supuestos adoptados.
- Reciclar o reutilizar, sin mayores consideraciones, revisiones o buen criterio, tanto especificaciones, como cálculos y diseños de detalles, detalles típicos u otros antecedentes de proyectos anteriores, con el propósito de reducir tiempos y ahorrar esfuerzos, sin tener en consideración que cada proyecto es diferente y debe ser elaborado “a la medida”.
- La coordinación interdisciplinaria desarrollada de manera rutinaria, sólo para cumplir con los procedimientos y protocolos. En este aspecto es importante tener presente que las distintas disciplinas de ingeniería que intervienen en un proyecto en general trabajan de manera bastante independiente, las unas de las otras. Tomando decisiones o ejecutando acciones, muchas veces sin la debida consideración de los efectos que ellas tendrán en las demás disciplinas. Esta particularidad, en la práctica, produce “de facto”, situaciones de aislamiento, que las coordinaciones interdisciplinarias usuales y rutinarias no son capaces de superar. Lo que se traduce en la ocurrencia de inconsistencias, interferencias y derechamente errores en los planos y especificaciones.
- Carencia de sistemas adecuados de QA/QC, o fallas en la aplicación de estándares, procedimientos y protocolos de control de la calidad.
- Procesos de revisión de los cálculos y diseños, inadecuados, o realizados por profesionales sin la experiencia o las competencias necesarias, o simplemente no realizados. Lo anterior normalmente va unido a plazos insuficientes para las revisiones y aprobaciones programadas.
- Equipos de diseño con escasa experiencia, unido a fallas en la supervisión del trabajo de esos profesionales menos expertos.
- Descuidado o inexistente entrenamiento de los profesionales más jóvenes.
- Alta rotación del personal más calificado y competente. Con los consecuentes impactos en la experiencia y solvencia profesional de los equipos.
- Uso inapropiado de software de análisis y diseño, por personal sin la experiencia suficiente y sin la supervisión requerida.
- Profesionales sin experiencia en métodos y técnicas de construcción, complejas o especializadas.
- La tendencia de las firmas de diseño a aceptar plazos claramente insuficientes para el adecuado y correcto desarrollo de las ingenierías.

c. Factores organizacionales

- Hay causas atribuibles, tanto a los Dueños o mandantes, como a las Firmas de ingeniería, que se manifiestan en la gestión del contrato en que participan y que afectan dramáticamente la calidad de la ingeniería del proyecto en cuestión:
- Conocimiento incompleto y/o desactualizado del contrato, al inicio y durante su desarrollo (con modificaciones).
- Entrega inoportuna de lo comprometido en el contrato (datos, antecedentes, autorizaciones, etc.).
- Trazabilidad – manejo de la documentación y de sus distintas versiones.

3.3. CALIDAD DE LAS INGENIERÍAS EN EL CONTEXTO INTERNACIONAL

Al revisar la literatura internacional relativa a la calidad de los documentos para licitación en proyectos de inversión, donde la calidad de los diseños y especificaciones ocupan un sitio relevante, es posible constatar que desde la década de los 90, prácticamente la totalidad de las publicaciones y las investigaciones revisadas y analizadas, concluyen que la calidad de esta documentación adolece de numerosos problemas y deficiencias, constituyéndose en una de las principales causales de los sobre costos y atrasos en la etapa de construcción de los proyectos. Siendo también el origen de las recurrentes controversias contractuales y litigios que experimenta en la actualidad una fracción importante de los contratos de construcción, en proyectos de inversión.

Sin embargo, dada esta extendida y consolidada constatación, lo que parece inexplicable es que las prácticas de administración y gestión de los proyectos, en las empresas que desarrollan los diseños de ingeniería, no parecen advertir estas evidencias, así como tampoco lo hacen las administraciones y los equipos de los dueños de los proyectos, tanto públicos como privados, a pesar de los claros impactos negativos en el resultado de sus proyectos de inversión.

Para ilustración y posibles profundizaciones por el lector, se realiza un breve recuento de algunos de los principales planteamientos y hallazgos de las publicaciones y trabajos de investigación tenidas a la vista y cuyas conclusiones resultan de interés mencionar, pues demuestran lo extendido que se encuentran estos problemas en el mundo, desde hace ya un tiempo largo. Y que, independientemente de los países y sus culturas de negocios, los problemas de la calidad en los documentos para construcción se repiten, así como sus causas.

a. Experiencia en Australia

El problema ha sido extensamente estudiado por especialistas australianos desde la década de los 90. Algunas de sus conclusiones principales son las siguientes⁴:

- “Desde la perspectiva de los constructores las deficiencias en los diseños entregados por los consultores se han incrementado en los últimos 15 años, con los consecuentes impactos en la eficiencia, los mayores costos y la calidad del proyecto final”.
- La mayor preocupación que expresan los constructores es que una fracción importante de estos mayores costos durante la construcción ya sea por las demoras o las interrupciones sufridas, están siendo soportadas por los propios constructores. Poniendo en riesgo su viabilidad como empresas en el largo plazo.

⁴ Ver Tilley et al. (ref. 4) y Love et al. (ref.3,5,6).

- *“Por su parte, los diseñadores reconocen la inferior calidad de sus diseños y documentos elaborados para construir, y señalan que las causas de estas circunstancias son: la disminución de los honorarios profesionales experimentada en los últimos años y la reducción de los plazos para elaborar los encargos, así como la incapacidad de los clientes para definir adecuadamente y oportunamente los objetivos, necesidades y requisitos del proyecto”.*
- Por otro lado, Contratistas y Consultores han expresado su preocupación por el recambio generacional, que ha significado un desbalance en los equipos profesionales, con un aumento de profesionales jóvenes e inexpertos y un número insuficiente de profesionales de experiencia en los equipos de diseño. Lo que se traduce en dificultades para ejercer una adecuada supervisión, y también en deficiencias en el entrenamiento y tutorías a realizar a los más jóvenes, dado el menor número de profesionales experimentados actuando en tales labores. Con lo cual las bases del conocimiento de los futuros diseñadores, está siendo claramente afectada en el presente, y se pronostica que se vería aún más debilitada en el futuro.
- Otras investigaciones sugieren que la tradicional separación entre diseño y construcción ha contribuido a producir importantes diferencias culturales y organizacionales entre las empresas que normalmente participan en la concreción de los proyectos de inversión.
- En particular la experiencia empírica demuestra que los contratos de construcción, basados en el concepto de “suma alzada”, en general experimentan un mayor grado de trabajos rehechos, que otros sistemas contractuales.
- Por otra parte, cuando se emplean sistemas contractuales alternativos⁵, que mejoran la integración y la colaboración entre los equipos de ingeniería y construcción, aun cuando los errores subsisten, disminuye la frecuencia y magnitud de los trabajos rehechos. Resultado que se explica porque, en la práctica, bajo estos esquemas contractuales con mayor integración y colaboración, el hallazgo y tratamiento de los errores generalmente se anticipa (“early warnings”) y, con ello, su solución es más rápida, eficaz y generalmente con costos y plazos menores que en los otros sistemas.

b. La experiencia en Japón

- En un artículo del año 2003, los investigadores Andi y Minato (ref. 8) comentaron lo siguiente:

“a pesar de su avance tecnológico, la industria de la construcción japonesa está preocupada por la calidad de los diseños para construir y reconocen que los diseños defectuosos constituyen el riesgo más importante para el éxito de los proyectos”.
- Los resultados presentados en ese trabajo estaban basados en entrevistas y encuestas a 105 diseñadores y 91 personas del área de la construcción.
- Luego, en otro estudio, (ref. 9) los mismos autores exploraron las causales de los diseños defectuosos, basándose en un “estudio de casos”. En este trabajo analizaron 119 defectos en 101 proyectos, principalmente proyectos de infraestructura, tales como puentes, carreteras, túneles y obras hidráulicas. En primer término, analizaron y clasificaron las fallas directas y luego analizaron los “factores influyentes”, los cuales se catalogan en dos grupos;
 - los que dicen relación con el ambiente de trabajo y
 - los que obedecen a los esquemas organizacionales.

⁵ Los denominados Contratos Colaborativos, como por ejemplo los Contratos NEC y otros similares en uso.

- Finalmente concluyen que la gestión de calidad no debe actuar reactivamente a la ocurrencia de errores, sino que debe preocuparse, de manera permanente, prioritaria y proactiva a:

“constatar si las políticas y métodos del aseguramiento de la calidad están respondiendo a lo esperado, identificando las situaciones donde la calidad está siendo comprometida”.

- Concluyen que las principales preocupaciones para evitar los errores deben enfocarse al adecuado control del entorno y clima de trabajo, así como a los importantes y determinantes factores organizacionales, en lugar de intentar remediar defectos específicos, actuaciones que normalmente no logran identificar las causas raíz en el sistema.

c. Investigaciones desarrolladas en otros países

- En recientes artículos, investigadores en diversos países han reportado resultados de estudios relacionados con los distintos aspectos, atributos y factores que influyen en la calidad de la documentación de diseño de los proyectos. Lo que revela la extendida y profunda inquietud que el problema despierta en la actualidad, en buena parte del mundo.
- Así, por ejemplo, en Sudáfrica, Akampurira y Windapo (ref.7.), basado en una exhaustiva revisión de la literatura relacionada, identifican un total de 13 atributos de la calidad, (ver tabla N°1, en Capítulo 2) y luego analizan encuestas, realizadas en Sudáfrica y otros países, que pretendían determinar la importancia relativa de cada uno de los atributos.
- Las conclusiones señalan que todos los atributos son considerados importantes, no obstante que existen variaciones en la determinación de cuáles son los más relevantes. Así, algunos grupos consideran que la exactitud, la claridad y la revisión final, son los tres atributos más importantes, y otros grupos señalan que los tres más relevantes son: exactitud, conformidad y completitud.
- En realidad, es natural que, dependiendo de la cultura y nivel de desarrollo de los países, del área industrial de que se trate y del rol que juegue en la cadena de la ingeniería el que responde la encuesta, el ranking de la importancia asignada a los atributos, variará dentro de ciertos rangos.
- Los mismos autores, en un trabajo publicado en 2018, (11) exploraron mediante encuestas a empresas consultoras de ingeniería en Sud África, la importancia relativa en la calidad resultante del proceso de diseño, de 37 factores previamente identificados, mediante una revisión exhaustiva de la literatura especializada.

La mayor influencia o importancia relativa en la calidad de los entregables, de acuerdo con los resultados de las encuestas, la tienen:

- Las bajas tarifas y la selección de las firmas basada en el menor precio licitado.
- Seguida por los estrechos plazos asignados para el desarrollo de los diseños, que limitan las revisiones y las coordinaciones de los diseños.
- Las fallas en las comunicaciones al interior de los equipos multidisciplinarios y en las coordinaciones interdisciplinas.

Luego, muy cercanos entre sí, se identifican:

- Cambios introducidos por el dueño.
- Inadecuados procesos de revisiones.
- Expectativas poco realistas en los plazos para diseño y la construcción.
- Falta de experiencia en los diseñadores.
- Insistencia para iniciar construcción antes de completar los diseños.

- Re-utilización de diseños de detalles de proyectos pasados, sin un sano criterio para hacerlo.
- Falta de buenas prácticas de control de calidad en los diseños y documentos.

Los resultados, si bien el propio artículo reconoce su limitada representatividad, son ilustrativos de la importancia relativa de los diferentes factores que influyen en la calidad final de las ingenierías y cómo es posible apreciar, estos no son muy diferentes a los reportados en otras latitudes.

De otro lado, una propuesta metodológica novedosa es la sugerida recientemente desde Checoslovaquia, por Tuhacek y Svoboda (ref. 10), quienes presentan información estadística de los defectos encontrados en los documentos para construir, donde la gran mayoría de los defectos detectados, (entre un 46 y un 73%, dependiendo de las fuentes estadísticas) tienen su origen en las etapas de conceptualización y diseño del proyecto.

Su enfoque para mejorar y disminuir los defectos consiste en extremar las revisiones, siguiendo un proceso que definen como “mejora continua de la calidad”. Donde la mejor fuente para obtener información, para orientar los procesos de verificación y revisiones, la constituye la base de datos de los defectos encontrados en proyectos anteriores. Luego utiliza una variación/modificación del Método FMEA (Failure Modes and Effects Analysis) desarrollada por los autores, que permite enfocar el esfuerzo de las revisiones en aquellas áreas de mayor riesgo o criticidad.

3.4. LA OPINIÓN DE LAS INSTITUCIONES ESPECIALIZADAS: EL IPA Y EL CII

3.4.1. Independent Project Analysis (IPA)⁶

El IPA es una institución privada, fundada en 1987, dedicada específicamente a la investigación y análisis de los factores determinantes del éxito, o fracaso, en los proyectos de inversión, que en sus más de 35 años de existencia, ha construido una extensa base de datos estadísticos sobre diversos proyectos de inversión en todo el mundo, y que en la actualidad excede los 20.000 proyectos analizados y de los cuales del orden de un 15% corresponde a “megaproyectos” (proyectos con inversión sobre los mil millones de dólares).

La conclusión y recomendación más importante, que fluye de toda su experiencia, puede resumirse como sigue: *“cuando un proyecto de inversión está correctamente organizado, su personal es el adecuado en número, competencias y experiencia, el equipo es funcionalmente completo y es correctamente dirigido, con una adecuada gobernanza y sus procesos de trabajo son claros y bien definidos y los plazos previstos y asignados son los adecuados, el resultado final del proyecto en costos, plazos y calidad será el deseado”*.

Algunas de las claves que ha sugerido el IPA para alcanzar el éxito de los proyectos:

- Objetivos del negocio claros, así como las prioridades entre los objetivos.
- Un proceso pre-inversional (FEL) riguroso y completamente desarrollado, con todos sus entregables y planes requeridos para la ejecución.
- Un equipo de proyecto del dueño completo, experimentado y robusto, actuando desde el inicio.

⁶ Basado en la conferencia de E. Merrow, fundador del IPA, en el Seminario de la Comisión Chilena del Cobre, Junio 2014 y en un estudio efectuado para Codelco sobre la calidad de las ingenierías.

- Análisis de riesgos bien desarrollados y con estrategias claras para mitigación de los riesgos previstos o sobrevinientes.
- Iniciar la construcción con ingenierías completas y las entregas de equipos principales y suministros clave, formalizados.
- Disponer oportunamente de un plan de ejecución del proyecto (PEP) completo y un cronograma de ejecución detallado.

Ahora bien, en el ámbito de la calidad de las ingenierías, el IPA ha identificado un deterioro general de su calidad en los últimos años. Este planteamiento preocupa puesto que los resultados de los proyectos dependen fuertemente, entre otros factores relevantes, de la calidad de las ingenierías.

Su diagnóstico explica que la calidad de las ingenierías se encuentra mermada por varios factores:

- Factores del negocio, que presionan los cronogramas. (Acortándolos)
- Fuerte competencia en el mercado de las empresas consultoras de ingeniería.
- Mayor nivel de complejidad de los proyectos y, como consecuencia de ello, de las ingenierías.
- Disminución de la profundidad y amplitud y de la supervisión y revisiones del dueño.
- Ingenieros operando programas, sin conocimientos claros y suficientes de los métodos numéricos empleados y sus limitaciones, junto a un déficit de profesionales con experiencia para evaluar y validar los resultados.
- Se ha producido una “comoditización de facto” de la ingeniería. Esto es, considerar a la ingeniería como un “commodity”.⁷
- Cambios generacionales; las empresas ya no disponen de equipos maduros como hace un par de décadas. Lo que afecta negativamente al modelo “tutor-aprendiz” y a la transmisión de la experiencia, afectando también la supervisión y control de la calidad. Por otra parte, los profesionales jóvenes tienen la tendencia a rotar trabajos con alta frecuencia, perjudicando con esta práctica la adquisición de experiencia sólida.

3.4.2. Construction Industry Institute (C.I.I.)

El C.I.I. fue fundado en el año 1983, como resultado de una mesa de trabajo en la que participaron más de 250 instituciones, llamada “*Construction Industry Cost Effectiveness Project*”, (CICE), que propuso crear una organización que asumiera el liderazgo en la investigación en el área de la construcción. Su base está en la Universidad de Texas en Austin y es una asociación concebida a tres bandas; por dueños o mandantes, por contratistas (de construcción y de ingeniería), y por académicos.

La asociación basa su fortaleza en que cada participante contribuye con su experiencia y la comunidad académica juega un doble rol, con su capacidad de análisis e investigación y su credibilidad y neutralidad en los procesos.

A mediados de la década pasada, reconociendo que los defectos y errores en los planos y documentos para construcción de proyectos industriales, afectaban significativamente el resultado de los proyectos, requiriendo rediseños y reconstrucción, impactando directamente

⁷ Concepto del idioma inglés, que significa que el producto no tiene diferenciación, o no se diferencia de otro similar, como por ejemplo; el trigo o el cobre. No importa de dónde provengan, o sea su origen, en esencia son iguales.

los costos y los plazos, el CII determinó conformar un equipo de investigación específico, para la “Definición y Medición de la Calidad de los Entregables de Ingeniería y Diseño”⁸.

El equipo de investigación, que buscó evaluar la completitud, la corrección y los errores y omisiones en los planos y documentos para la construcción, (ref. 17) investigó el tema aplicando una metodología del tipo “bottom-up”, (de abajo hacia arriba) con la cual trabajó, junto con la industria, para identificar los entregables (planos o documentos) más problemáticos y los defectos más comunes y significativos, asociados a los errores en dichos entregables.

Los planos y documentos, identificados como más problemáticos en proyectos industriales, según la investigación desarrollada, fueron 11 en total, y ellos son los siguientes, (aunque es importante señalar que buena parte de estos hallazgos también tienen vigencia en proyectos de otra índole, tales como proyectos de infraestructuras, obras civiles y habitacionales):

1. La validación de los documentos que soportan el proceso FEL.

Este es un requisito obvio, que ya ha sido explicado y asimilado. Un proceso FEL con errores o incompleto, puede llegar a constituir una falla fatal para el proyecto. Esta validación formal debe realizarse al término de la fase de factibilidad o FEL3.

2. El Programa Base del Proyecto.

Es la herramienta esencial para una eficiente y eficaz administración del proyecto, su completitud y corrección es vital.

3. Constructibilidad.

Este concepto se define como: “el óptimo uso del conocimiento y técnicas de la construcción y la experiencia en planificación, ingeniería, adquisiciones y las operaciones de terreno, para alcanzar los objetivos”. Como se puede intuir, es bastante amplio el concepto y todo lo que involucra. Pero es absolutamente trascendente.

4. Los diagramas P&ID.

Este documento y la información en él contenida, es crucial en proyectos industriales y su importancia no necesita mayores explicaciones ni demostración.

5. Especificaciones de equipos y Data Sheets.

Información esencial en proyectos industriales para desarrollar una correcta ingeniería de detalles.

6. Requisitos de Mantenibilidad.

Otra importante característica de los proyectos industriales. Esta información y su procesamiento por la ingeniería, es absolutamente necesaria y en muchas ocasiones determina la disposición general de los equipos, los espacios necesarios y los diseños.

7. Vendor Data.

Información de primera importancia para el correcto diseño de fundaciones, soportes y otras interrelaciones en las instalaciones.

8. Modelos 3D y detección de interferencias.

Las técnicas 3D/4D (BIM) han alcanzado un alto y sofisticado nivel de desarrollo, pero su uso en la industria aún no alcanza el nivel satisfactorio.

9. Isométricos, ruteo y soportes de cañerías.

Constituyen la información esencial para la fabricación y montaje de tales sistemas.

10. Escaleras, plataformas para torres y estanques.

En proyectos industriales, son críticos para las operaciones seguras. Así como también el correcto diseño de estanques y contenedores.

⁸ RT-320 Definition and Measurement of Engineering/Design Deliverable Quality. C.I.I. (2016).

11. Planos conteniendo misceláneos, soportes y otros.

Escaso cuidado en su confección, por considerarse detalles menores, sin embargo, su diseño y detallamiento descuidado causa muchos y en ocasiones serios problemas durante la construcción.

A continuación, el equipo investigador del C.I.I. desarrolló dos herramientas prácticas, cuya aplicación rigurosa durante el desarrollo del proyecto, permite alcanzar un adecuado grado de cumplimiento en el aseguramiento de la calidad y completitud de los entregables para construcción de un proyecto.

Ellas son: el “*Design Deliverable Quality Assessment*” (DDQA) y el “*Completeness of Design Deliverable Checklist*” (CDDC), (ref. 23) que permiten determinar, el nivel de calidad de los documentos para construcción, con la primera herramienta, y el nivel de completitud de los documentos generados, con la segunda.

Estas herramientas fueron empleadas y validadas por un grupo de revisores externos y se realizaron ajustes acordes a las experiencias prácticas obtenidas.

Su empleo riguroso por el equipo del proyecto ha demostrado tener un gran valor práctico para el aseguramiento de la calidad de los entregables requeridos para la materialización de un proyecto. (Mayores detalles de estas herramientas se entregan en el Anexo N°2 del presente informe).

3.5. LA CALIDAD DE LAS INGENIERÍAS EN CHILE

3.5.1. La visión de la Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería (AIC)

La Asociación de Empresas Consultoras de Ingeniería (AIC), fundada en 1968, agrupa a la mayoría de las empresas consultoras de ingeniería que desarrollan proyectos de ingeniería e inversión en el país. Su Comité de Calidad se preocupa por la calidad de los trabajos y servicios que prestan sus asociadas, así como también se preocupa de relacionarse con los principales mandantes públicos y privados, tanto para conocer su grado de satisfacción con los servicios prestados por sus asociados, como para recoger sus inquietudes y proponer acciones y medidas tendientes a mejorar la calidad de los servicios prestados y, por consiguiente, de los proyectos.

Dentro de las actividades desarrolladas por el Comité de Calidad de la AIC, se han realizado encuestas y análisis tendientes a identificar los factores que influyen en la calidad de los servicios de ingeniería prestados por las distintas empresas de la AIC. También se han desarrollado Seminarios sobre la calidad de las ingenierías, con la participación de mandantes, como el MOP.

A continuación, algunos aspectos a destacar de estas encuestas, análisis y seminarios:

a. Problemas detectados y malas prácticas

Algunos de los principales problemas observados y las malas prácticas advertidas, que actualmente afectan la calidad de los proyectos de inversión en el país, son los siguientes:

- i. En la fase de licitación, las empresas que postulan aceptan someterse a programas y plazos de ejecución que, en muchas ocasiones, son incumplibles. Esta circunstancia, que es de responsabilidad del mandante, definitivamente afecta la calidad del producto entregado y en ocasiones no se logra completar el trabajo en los plazos estipulados en las bases de licitación o el contrato.
- ii. En algunas oportunidades, se ha detectado que las empresas en competencia asignan profesionales en cargos clave de un equipo de proyecto, que no satisfacen el perfil

solicitado o requerido, ni poseen la experiencia necesaria para desempeñar las funciones requeridas. Como es fácil suponer, la calidad del resultado no resulta ser la esperada o requerida.

- iii. En otras ocasiones, dado los estrechos presupuestos licitados o por escasez de profesionales de suficiente experiencia, el equipo profesional asignado al proyecto se completa con ingenieros de experiencia insuficiente. Situación que normalmente influye en la calidad final, y que será de mayor gravedad aún si los profesionales experimentados para dirigirlos y supervisarlos no intervienen lo necesario o están sobrecargados de trabajo.
- iv. Se ofrecen equipos con profesionales clave “sobrevendidos”. En tales circunstancias, resulta obvio que la calidad del producto no será la requerida.
- v. Por falta de experiencia, por escasez de tiempo para ello, o bien, por falta de supervisión, durante el desarrollo de los trabajos, no se alcanzan los estándares de calidad requeridos.
- vi. Las revisiones y los protocolos de calidad previstos no se realizan con el celo y la profundidad necesaria, ni por profesionales calificados para ello.

Ahora bien, es importante advertir que una buena parte de los problemas y malas prácticas recién descritas, tienen su origen en los sistemas y exigencias de licitación que utilizan los mandantes para contratar los servicios de ingeniería y diseño. Ya que, en la mayoría de las ocasiones, las bases de licitación no estipulan exigencias o requisitos claros y medibles respecto de las calificaciones y experiencia de los profesionales requeridos para desarrollar el encargo, así como tampoco respecto de la experiencia real en trabajos similares de las empresas. Y en las oportunidades en que se estipulan algunas exigencias, ellas son vagas, por ejemplo; “profesional con más de 15 años de experiencia”.

En escasas ocasiones se realiza una precalificación previa de las firmas que serán invitadas a presentar ofertas. Luego, en las evaluaciones técnicas de las propuestas, tampoco se establecen o aplican los filtros necesarios, para calificar y seleccionar técnicamente a las mejores ofertas, previo a la apertura de las ofertas económicas. En la mayoría de las ocasiones el contrato se adjudica simplemente al menor postor, sin mayores consideraciones.

Esta práctica, salvo algunas excepciones, es lo común en las licitaciones de instituciones públicas, casi sin excepción, así como también de muchos mandantes privados.

b. Otros antecedentes ilustrativos

En una estimación efectuada por la AIC, con datos de 2018, el costo promedio de la ingeniería de un proyecto de vialidad que desarrolla el Ministerio de Obras Públicas es del orden de un 1,58%, del monto de la inversión realizada. (Estimación basada en el análisis de un conjunto de proyectos con un monto total de inversión de 390 mil millones de pesos, aproximadamente US\$550 millones, de la fecha)

Claramente, un 1,58% como el costo de la ingeniería, es una cifra demasiado baja y abiertamente insuficiente, para cualquier estándar internacional y para proyectos civiles de similar naturaleza en el país.

La misma base estadística indica que los proyectos desarrollados experimentaron incrementos de costo durante la construcción, de un 22,6% en promedio. Donde la mayor parte del sobre costo experimentado, fue producto de cambios o modificaciones del proyecto, la gran mayoría atribuibles a problemas de la ingeniería y de geotecnia.

Sin duda que un gasto en ingeniería, similar a los estándares internacionales, o similar a los costos de la ingeniería de obras civiles en otros sectores, se vería más que compensado por las potenciales disminuciones en los sobrecostos durante la construcción, con el beneficio

adicional de menores plazos, por menores obras adicionales o modificaciones requeridas, y menos controversias contractuales, que constituyen otra compleja e indeseada faceta en los contratos de construcción.

3.5.2. Lo que reporta la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad

La Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (CNEP) en el año 2020, analizó el estado y evolución de la productividad en el sector de la construcción en Chile, (ref.18) identificando las principales barreras que frenan una mejor eficiencia en el desarrollo de obras de infraestructura pública y de edificación privada. Concluyendo con una serie de propuestas que permitirían, en gran medida, resolver los problemas.

El principal hallazgo del estudio se resume como sigue:

“sin importar el indicador utilizado, la productividad del sector construcción en Chile es menor al promedio OCDE y al resto de la economía chilena”.

Los resultados de todas las mediciones efectuadas son consistentes con el déficit de eficiencia generalizado en el país, lo que, en contrapartida, trasunta un gran potencial de incremento en la productividad en la industria de la construcción.

El estudio analiza con cierta profundidad (Capítulo 4) las etapas de pre-inversión y de diseño y sus efectos en los costos y en los plazos de un proyecto.

Utilizando información estadística internacional muestra la importancia de las fases de pre-inversión y de diseño en la correcta determinación de los costos y plazos de los proyectos.

En Chile, utiliza la información contenida en el Informe de Evaluación Ex – Post de los proyectos de inversión del Estado, del Ministerio de Desarrollo Social y Familia, que evalúa todos los proyectos que finalizan en el año, (en este caso, con datos de los años 2015 al 2018). Sobre cuya base de información, la CNEP concluye que un 50% de los proyectos ejecutados en el período, terminaron con sobrecostos y un 80% de ellos terminó en plazos superiores a los previstos. Señalando a continuación que, entre un 20% y un 60% de los casos, la principal causa tiene sus orígenes en la fase de diseño.

Con respecto a la ejecución de proyectos por el Ministerio de Obras Públicas (MOP) reporta que aproximadamente el 35% de las modificaciones de contratos que se tramitan al año se deben a un diseño deficiente. Es importante señalar que prácticamente todas las modificaciones de contratos en el MOP conllevan asociados aumentos de plazos y/o costos.

El informe también hace referencia a los costos que representan las fases de ingeniería de pre-inversión y de diseño, como porcentaje del monto total de la inversión en un proyecto de capital, señalando: *“el costo total asociado a las fases previas a la ejecución puede llegar a representar entre un 1% y un 7% del costo del proyecto, aunque para el caso de proyectos complejos, según fuentes especializadas, puede llegar a ser 10%”.* (Por ejemplo, en el caso de hospitales, proyectos de celulosa, mineros o grandes proyectos de infraestructura)

En el caso de Chile, señala que las estadísticas muestran que se gasta entre un 2 a 3% del costo total del proyecto, incluso en proyectos complejos como hospitales.

Cabe aquí efectuar la comparación con la cifra reportada por la AIC de 1,58%, como costo de la ingeniería de obras viales, basada en una significativa muestra de proyectos del año 2018, para concluir que los resultados obtenidos y los problemas experimentados, en gran medida constituyen un corolario de la baja inversión realizada en el desarrollo de las ingenierías.

Para concluir estas breves citas del informe de la CNEP, es importante señalar que para mejorar los resultados en los proyectos de inversión el informe hace mención a las propuestas de las “Buenas Prácticas”, formuladas por varias reconocidas instituciones internacionales,

tales como el *Independent Project Analysis* (IPA), el *Construction Industry Institute* (CII), y la *Association for the Advancement of Cost Engineering* (AACE), y también menciona el informe del Instituto de Ingenieros “Factores Condicionantes del Éxito en Proyectos de inversión”, publicado el año 2012.

3.6. SÍNTESIS Y DIAGNÓSTICO

Los resultados de los proyectos de inversión dependen de muchos factores, entre ellos, de la calidad de las ingenierías en las cuales se basan los diseños y las estimaciones de costos, y en particular, de la calidad de las ingenierías para construir, que es el aspecto que está bajo análisis en este informe.

Como resultado de lo revisado y comentado en este capítulo, fluye claramente la siguiente conclusión:

“existe un deterioro en la calidad de las ingenierías de detalle para construcción de los proyectos de inversión, a nivel local y en el mundo en general”.

Sus causas y razones pueden resumirse en las siguientes constataciones:

- Presiones del negocio sobre los proyectos de inversión, que se traducen entre otros factores, en el acortamiento de los plazos y cronogramas de ejecución de los proyectos. Circunstancia que tiene consecuencias directas en los plazos asignados para el desarrollo de los estudios de preinversión y la elaboración de los diseños finales para la construcción. Con el acortamiento de los plazos, en ocasiones llevadas al extremo, la calidad de las ingenierías se ve negativamente afectada. Con el consiguiente y directo impacto en costos y plazos, y en el resultado final del proyecto, y también con alguna frecuencia, con serios conflictos contractuales durante la construcción.
- Fuerte competencia en el mercado de la ingeniería y empresas consultoras especializadas, que se traduce en una competencia por menores precios, estimulada por los propios mandantes. Con el agravante que la mayoría de las licitaciones, se adjudican al menor postor, sin los filtros adecuados, tales como exigencias de experiencia verificable del personal clave, vallas técnicas o de competencias acreditadas y exigibles a las empresas postulantes, que permitan seleccionar a los más competentes y calificados, para abordar los complejos desafíos que enfrentarán.
- La mayor complejidad de los proyectos, cualquiera sea su naturaleza; minera, energética, industrial o de infraestructura, se traduce en que las ingenierías también se han tornado más complejas, exigiendo mayores conocimientos y experiencia. Por las mismas razones, en muchas ocasiones los proyectos no tienen sus objetivos y/o alcances claramente definidos, lo que se traduce en etapas de pre-factibilidad o factibilidad incompletas o deficitarias. Circunstancias que significan cambios de alcance y tardías modificaciones de los diseños y especificaciones, con los consiguientes impactos en la calidad de las ingenierías de detalle y en los costos y plazos de la construcción.
- En general se advierte escaso o nulo apego, tanto de los dueños de los proyectos como de las empresas de ingeniería y sus equipos de diseño, a las denominadas “mejores prácticas”, lo que explica, por una parte, el bajo desempeño de los equipos del mandante, y por otra, los evidentes problemas en los equipos de diseño, y la baja calidad de las ingenierías. Lo anterior, con las consiguientes falencias en el desempeño integral de los proyectos, con aumentos en los costos y en los plazos, y un bajo cumplimiento de los objetivos o metas del negocio.

- En la actualidad, la mayoría de las empresas de ingeniería experimentan serios problemas en la conformación de sus cuadros profesionales y técnicos, lo que va en directo detrimento de la calidad de sus diseños, al no conseguir conformar equipos técnico-profesionales equilibrados, en cuanto a una adecuada distribución de la experiencia, predominando en los equipos los ingenieros jóvenes con escasa o limitada experiencia. Esta realidad influye en varios aspectos relevantes:
 - Se resiente la calidad de la dirección y la supervisión técnica, así como la extensión, profundidad y eficacia de las revisiones.
 - El entrenamiento en el trabajo, vía la relación “maestro-aprendiz”, casi no existe. Con lo cual no se está transmitiendo y preservando la experiencia, y por ende, ella se está perdiendo. Esta circunstancia es altamente preocupante.
 - Para salir del paso, en el día a día, se abusa de la copia y repetición de diseños, aunque ellos no sean los más adecuados en esas instancias.
 - Los ingenieros, con baja experiencia, se transforman en operadores de programas y software de cálculos especializados, muchas veces sin entender cabalmente sus fundamentos y limitaciones, y lo más grave, sin la experiencia suficiente para ponderar y juzgar los resultados.
 - Con frecuencia no se consideran en los diseños factores importantes como la constructibilidad, la mantenibilidad y los requerimientos operacionales o del servicio.
 - Los conceptos de prefabricación y economía circular y lo facilitado por la innovación en construcción, están lejos de ser considerados.
 - En general, no se estimula ni desarrolla el juicio crítico.

4

PROPUESTAS Y ACCIONES PARA ASEGURAR LA CALIDAD DE LAS INGENIERÍAS

4.1. INTRODUCCIÓN

Basado en los antecedentes presentados, discutidos y comentados en los capítulos precedentes, como así también en las diversas opiniones y proposiciones que es posible encontrar en la literatura internacional que trata sobre las diversas circunstancias y situaciones que atentan contra la calidad de las ingenierías, a continuación se entrega una serie de propuestas y posibles cursos de acción, cuya adopción y utilización en la práctica permitirían conseguir una mejora significativa en la calidad de las ingenierías, en comparación con el actual nivel que se aprecia en el país.

4.2. LOS FACTORES ORGANIZACIONALES DEL DUEÑO

4.2.1. El Equipo del Proyecto del dueño

Claramente los factores organizacionales y la experiencia del dueño o mandante siempre juegan un rol determinante en el resultado de un proyecto de inversión. Sobre estos conceptos, resulta muy ilustrativo e instructivo, repasar las experiencias presentadas en el informe: “Minig for Value, Industry leaders disclose lessons learned from the supercycle”, editado por Cesco y Spencer Stuart, 2018. (ref.16).

Dentro de las decisiones organizacionales relevantes para el éxito de un proyecto están, la selección y conformación del equipo y la elección del jefe del proyecto. Ello porque, en el desarrollo de un proyecto de inversión, intervienen distintos grupos de profesionales, los que deben emplear sus conocimientos y experiencia de manera colaborativa para darle vida y materializar el proyecto. En consecuencia, es evidente que su desempeño condicionará el resultado del proyecto. Esto es corroborado por las estadísticas que revelan que el éxito o fracaso de un proyecto, entre otros factores determinantes, depende en gran medida del denominado “equipo del proyecto” y en particular, de su director o Jefe de Proyecto.

Las dificultades que debe salvar cualquier proyecto para alcanzar el éxito, ya sea este grande o modesto, son numerosas y complejas. Para ilustración una breve enumeración de los requisitos más gruesos a cumplir: el plazo, su presupuesto, la calidad comprometida, los estándares de seguridad durante la construcción y luego la operación, la obtención de todos los permisos necesarios, el cumplimiento de todas las normativas legales, las exigencias ambientales y los compromisos contraídos con las comunidades.

En consecuencia, el rol del equipo de proyecto es muy exigente y su diseño y composición requiere de la mayor atención y rigurosidad.

Dadas las características y necesidades a satisfacer, ya tempranamente, el núcleo del equipo del proyecto debe quedar integrado y trabajando en el desarrollo de este desde las primeras

escaramuzas. En lo posible, el equipo debiese estar casi completo y totalmente operativo en la fase de Prefactibilidad. Del mismo modo, la elección del Jefe del Proyecto (Director o Gerente) debe quedar definida en esa oportunidad, o antes si es posible.

La composición del equipo y sus competencias son esenciales para su buen desempeño, para lo cual es necesario que todas las funciones estén debidamente cubiertas y las personas a cargo tengan los conocimientos, competencias y la experiencia requerida.

El tamaño del equipo estará determinado por la complejidad y el número de sub-proyectos en que haya sido necesario dividir al proyecto. Sin embargo, lo usual es que los equipos de proyecto alcanzan su mayor tamaño durante las etapas de ingeniería de detalles y la construcción, dado el gran número de actividades en desarrollo y en paralelo, que requieren atención.

En relación con el líder del proyecto y sus atributos y competencias. En ocasiones se le compara con un director de orquesta, por su complejo rol de líder, coordinador, supervisor y motivador, en lo grueso y en lo fino. Por consiguiente, su elección nunca es una tarea trivial, ya que el escogido debe reunir una mezcla poco común de atributos personales, conocimientos y experiencia que le permita asumir, con propiedad y total autoridad, su rol directivo y trabajar con eficacia y fluidez, estableciendo relaciones de confianza, tanto hacia el interior como hacia el entorno externo del proyecto. Y su compromiso con el resultado del proyecto debe ser total.

4.2.2. Las extensiones o complementaciones del equipo del proyecto

Lo usual en un proyecto es que el “equipo del proyecto” va desarrollando las distintas fases de él. En la etapa de preinversión, con la ayuda y colaboración de consultores especialistas y el concurso de empresas de ingeniería que desarrollan los estudios básicos necesarios, los diseños, las especificaciones, formulan el Plan de Ejecución del Proyecto, desarrollan las estimaciones de costos y elaboran el programa de construcción y puesta en marcha.

En la fase de inversión normalmente se trabaja en tres frentes, los que en muchas ocasiones pueden ser simultáneos. Así se trabaja en las ingenierías de detalle, en las compras o adquisiciones y en la construcción y montaje.

En todos estos frentes se trabaja con el concurso de las empresas de ingeniería y con las empresas de construcción y montaje, para materializar el proyecto. Cabe destacar que esta fase es la más compleja de administrar por el dueño, a través del equipo del proyecto, ya que la fase de inversión reviste los mayores riesgos y desembolsos económicos.

En cada una de esas instancias, la contratación de estas “extensiones y complementaciones” del equipo debe obedecer a selecciones y decisiones adecuadamente fundadas, donde el principal parámetro de decisión para la contratación debiese ser la experiencia y la calidad de los servicios a proveer por el subcontratista en su rubro, sin descuidar que los costos involucrados sean razonables dentro de los precios de mercado. Pero evitando la común inclinación de adjudicar al menor precio, sin sopesar todos los requisitos y calificaciones.

4.2.3. El Rol de los Directorios y la necesidad del Comité Supervisor

Los Directorios de las empresas no siempre tienen entre sus miembros profesionales con experiencia en la ejecución de proyectos de inversión, circunstancia que es una debilidad cuando la compañía se embarca en la ejecución de un proyecto.

En consecuencia, dada esta realidad, cuando la experticia no esté en el seno del Directorio, siempre resulta aconsejable que el propio Directorio designe un Comité Supervisor del proyecto (Steering Committee) conformado por personas con amplia experiencia en las materias del proyecto y en los temas de ingeniería y construcción. Si en el Directorio existe la experiencia, entonces el comité estará conformado por los directores más experimentados.

Estos Comités deben supervisar de manera amplia pero también muy acuciosa el desarrollo del proyecto, en sus aspectos técnicos, económicos y en sus plazos, así como también apoyar y facilitar su gestión administrativa y financiera, agilizando las decisiones, las aprobaciones y tramitaciones que sean necesarias. De esta forma, anticipándose, con su visión y experiencia, a potenciales dificultades o riesgos del negocio, de la seguridad o del entorno y las comunidades.

Este relevante aspecto del rol de los Directorios, así como otras importantes falencias y debilidades que se observó, “ex post”, en el desarrollo de importantes inversiones mineras durante el denominado Superciclo del Cobre, ha sido documentado y comentado, de manera muy clara e ilustrativa, en el Informe de Cesco y Spencer Stuart, Mining for Value, ya citado.

4.3. LOS FACTORES ORGANIZACIONALES EN LAS EMPRESAS DE DISEÑO

4.3.1. Los equipos de diseño

La piedra angular para garantizar la calidad de las ingenierías y los diseños de un proyecto es un completo y actualizado conocimiento técnico y la experiencia acumulada en los equipos profesionales que trabajaran en él. Aunque este determinante factor, por sí sólo, obviamente no es suficiente.

Por consiguiente, y en primer lugar, se necesita que los equipos de diseño posean una adecuada distribución de experiencia profesional, en los temas propios del proyecto y, como complemento, deberá definirse una estructura y organización eficiente, con roles y responsabilidades bien definidas, que permitan trabajar de manera coordinada y con una efectiva y fluida comunicación entre todos los miembros del equipo y las distintas disciplinas que participan en el proyecto. Así como también mantener una interacción permanente con el equipo del dueño.

El jefe del proyecto en la Empresa de Diseño debe poseer la experiencia requerida y ejercer un liderazgo eficaz, visible, reconocido y proactivo.

Los miembros del equipo deben colaborar entre sí, aprovechando sus habilidades y conocimientos particulares. Lo anterior significa capacidad para escuchar, compartir ideas y experiencias para resolver los diversos problemas que sobrevendrán.

Al enfrentar problemas y al momento de tomar decisiones, será relevante obtener las opiniones de los profesionales de mayor experiencia o claves del equipo. Así, al interactuar diversas perspectivas y experiencias, las decisiones tendrán una menor probabilidad de error.

Al inicio de un proyecto, siempre resulta provechoso desarrollar talleres de conocimiento y alineamiento, realizados en conjunto con el equipo del dueño, que permitan el conocimiento mutuo y más cercano de las personas y su alineamiento en torno a los objetivos del proyecto (usualmente conocidos como instancias de “team building”).

4.3.2. Las políticas de gestión y capacitación del personal

Las empresas aptas para desarrollar las ingenierías y diseños son aquellas que poseen políticas explícitas y permanentes de capacitación de sus cuadros profesionales y una estructura jerárquica basada en la experiencia y competencias probadas de los profesionales en las posiciones de liderazgo y control. Lo anterior conlleva a que las promociones a posiciones de dirección y coordinación de los trabajos se basan en evaluaciones que verifican sus méritos, conocimientos, competencias y madurez para tomar decisiones.

4.3.3. La gestión del conocimiento y el uso de herramientas digitales

En la actualidad estos aspectos revisten una importancia fundamental para garantizar la calidad de los diseños. Las empresas requieren tener una preocupación especial por disponer, de manera actualizada, verificada y controlada, de normas, códigos y de documentación técnica atingente, de bases de datos, diseños tipo y estándares.

En particular, es de alta importancia y utilidad que mantengan archivos de proyectos ejecutados en el pasado, a los cuales sea posible acceder y consultar, en cualquier momento por los ingenieros y proyectistas.

De igual forma, las empresas de ingeniería deben disponer de las herramientas digitales de diseño, tales como BIM – Building Information Modelling y todo lo que el uso de estas herramientas engloba y conlleva, de softwares especializados de análisis y cálculos numéricos, así como de los profesionales adecuadamente entrenados y capacitados para su utilización y, más importante aún, para la correcta interpretación de sus resultados.

Los programas, las herramientas digitales, y los diferentes Software de cálculos y diseños especializados, deben contar con su acreditación y licencias vigentes, y los profesionales que los utilizan deben estar adecuadamente capacitados y contar con una supervisión cercana, activa y de alta experiencia en las materias.

4.3.4. Las políticas y gestión de la Calidad QA/QC

La gestión de la calidad en un proyecto es mucho más que disponer y aplicar de manera rutinaria y “por cumplir”, una serie de procedimientos de aseguramiento de la calidad y sus protocolos de control (QA/QC). Una gestión profesional y del nivel requerido, exige una planificación previa, la aplicación de procedimientos y protocolos estrictos y revisiones escalonadas, efectuadas por profesionales con los conocimientos y la experiencia necesaria.

El antiguo, pero eficaz ciclo de control de calidad: calculó/diseñó – revisó – aprobó, continúa siendo insustituible en los proyectos y diseños, aunque lamentablemente en el presente su aplicación no es rigurosa y en muchas ocasiones no se realiza.

Por otro lado, es absolutamente necesario que tales procedimientos y metodologías de revisión estén validadas y su aplicación sea supervisada, revisada y aprobada por profesionales experimentados.

En los casos de diseños especiales, novedosos o fuera de lo común, el uso de revisores expertos, en lo posible externos, debe ser la norma para seguir.

4.3.5. La relevancia de la Constructibilidad en los diseños

La Constructibilidad de lo diseñado es un aspecto que reviste una importancia fundamental al momento de construir lo que se ha proyectado en la oficina y es un aspecto que necesariamente debe de estar internalizado en los equipos de diseño. En general en los últimos años, este aspecto ha cobrado relevancia por los trastornos que provoca durante la construcción, un diseño que no ha tenido en consideración como se construye y monta en el terreno, lo que se ha concebido en el escritorio y luego, diseñado y expresado en los planos.

Elaborar diseños que sean factibles de construir, y que puedan ser materializados con los equipos y metodologías usuales, o eventualmente nuevas técnicas disponibles, requiere el conocimiento de las técnicas y los equipos utilizados en la construcción de las obras. Y sobre todo, requiere experiencia práctica en el terreno, construyendo y ejecutando montajes de obras complejas. Estas competencias normalmente no están presentes en los equipos de diseño y se las requiere integrar a los equipos de proyecto, en los momentos oportunos, incorporando la participación de profesionales con experiencia real y probada en construcción de obras y montaje de instalaciones industriales complejas.

Este requisito debe ser abordado tempranamente en la etapa de diseño. Incluso, en la mayoría de las ocasiones, debe ser discutido y analizado en las fases tempranas de la ingeniería de prefactibilidad, y de manera rigurosa y acabada, durante el desarrollo de la ingeniería básica, por su posible impacto y gravitación en los costos y plazos de la construcción.

4.3.6. Prefabricación e innovación en general

Preparación en fábrica de elementos mayores, tiene innumerables ventajas en productividad y calidad y esta posibilidad debe considerarse en etapas tempranas. En general, dar paso a la innovación es fundamental y en el presente el apoyo de la Inteligencia Artificial también puede resultar de gran utilidad para la innovación.

4.4. HERRAMIENTAS Y TÉCNICAS DISPONIBLES PARA “MEJORAR Y GARANTIZAR” LA CALIDAD DE LAS INGENIERÍAS

4.4.1. Determinación de la “Madurez y Solidez” del Grado de Desarrollo de un Proyecto de Inversión

Es ampliamente reconocido que existe una estrecha y directa correlación entre la calidad y la completitud del proceso de definición de un proyecto, esto es, la madurez y completitud alcanzada al término de la Fase Preinversional, o FEL3 y sus probabilidades de éxito. Así como también es sabida, la existencia de una correlación directa con la cantidad y severidad de los posibles problemas a experimentar durante su desarrollo hasta ser completado. En otras palabras, a mayor calidad y completitud de los antecedentes generados al término de la fase preinversional (FEL3), mayor probabilidad de éxito del proyecto, y consecuentemente, un menor número de errores, modificaciones o problemas durante las fases siguientes.

Los resultados de detenidos análisis estadísticos desarrollados desde hace más de 30 años, sobre varios miles de proyectos por el IPA (Independent Project Analysis), así como investigaciones específicas llevadas a cabo por el CII (Construction Industry Institute), confirman de manera contundente esta realidad.

En consecuencia, de esta conclusión fluye de manera natural la idea de contar con algún tipo de métrica o indicador que permita medir y evaluar, tempranamente durante la preparación del proyecto, cuán desviados se encuentran la calidad, la completitud y la madurez de los distintos elementos y estudios que componen y definen al proyecto, respecto de una situación ideal que asegure una alta probabilidad de éxito.

Luego de esta introducción el lector se preguntará, qué importancia tiene determinar la relación entre el grado de madurez y desarrollo de un proyecto al término de su Fase de Preinversión, con la calidad de las ingenierías de detalle posteriores. Pues, tiene mucha relevancia. La ingeniería de detalles de un proyecto con falencias en su etapa de factibilidad experimentará dificultades en su desarrollo, pues deberá subsanar vacíos, adoptar determinaciones y asumir incertezas que no le son propias, y que a la postre, redundarán en errores u omisiones importantes, además de aquellos errores y omisiones que son propios de las ingenierías de detalles.

A la fecha se han desarrollado algunas metodologías que intentan medir el grado de definición y la madurez alcanzada por un proyecto en su etapa de preinversión, entre ellos los más conocidos son el “Front- End Loading - Index”, (FEL Index) desarrollado por el IPA y el “Project Definition Rating Index” (PDRI), desarrollado por el C.I.I. (ref.20,21)

Ambos métodos han sido validados estadísticamente con datos de proyectos reales y su empleo riguroso disminuye eficazmente los riesgos de problemas o desviaciones, en la fase de inversión de los proyectos.

Sigue a continuación una breve descripción y comentarios sobre estos indicadores:

1. El FEL-Index de IPA

Es un indicador o índice que ha sido desarrollado por el IPA, que como ya se ha mencionado, es una institución consultora privada que presta servicios globalmente, y por esta razón, sus bases de datos estadísticos y las metodologías desarrolladas, como el FEL-Index, las considera información privada y confidencial, y no han sido publicadas de manera explícita ni completa y cuando las emplea en consultorías lo hace bajo cláusulas de confidencialidad.

Sin embargo, los aspectos de un proyecto que son evaluados y reciben una ponderación han sido descritos en términos generales, en seminarios y otras instancias, por lo que es posible conocer cuáles componentes y qué antecedentes se consideran relevantes de medir, para verificar el grado de definición y de madurez, de un proyecto. (ref.22)

La escala de ponderaciones que en el FEL-Index se le asigna a los diferentes ítems y componentes a evaluar en un proyecto, oscila entre 3 y 12, donde cada nivel está acompañado por una descripción de lo que ese nivel debe cumplir, siendo 3 la mejor puntuación y 12 la más baja.

El rango óptimo recomendado para que un proyecto posea buenas perspectivas de éxito, es alcanzar un índice global entre 3,75 y 4,75, al término de la etapa de preinversión, con la fase de factibilidad completada (FEL-3).

Es un índice valioso, que está respaldado por una formidable base de datos y ha sido empleado por muchas grandes empresas en complejos proyectos. Su uso requiere que sea contratado con el IPA.

2. El índice PDRI, propuesto por el CII

La determinación de este índice de madurez y completitud de un proyecto de inversión sigue una metodología que fue publicada por primera vez por el C.I.I. el año 1996. Y desde entonces ha tenido varias actualizaciones.

El indicador PDRI entrega una medida del grado de definición y completitud alcanzado en la elaboración del proyecto. Este indicador fue originalmente diseñado para ser aplicado al término de la etapa Pre Inversional (FEL 3) y decidir si el proyecto estaba en un grado de

desarrollo apto para continuar a su materialización sin tropiezos, o bien, el proyecto debía ser complementado y sus estudios y definiciones profundizadas.

Sin embargo, la experiencia y su clara y metodología ha demostrado que puede y debe ser aplicado en cualquier momento que se estime necesario, durante el desarrollo de las fases de preinversión del proyecto (Etapas FEL, 1,2,3). Siendo la evaluación más importante y decisiva aquella realizada al finalizar la factibilidad, previo a la decisión de invertir y proceder con las ingenierías de detalle (esto es al término de FEL 3).

Ahora bien, también es importante señalar que existen dos versiones del PDRI, una para ser usada en proyectos industriales y otra para ser aplicada en proyectos de infraestructura o construcción de obras civiles y edificación.

En el **Anexo N° 1** de este Informe se encuentra una breve descripción de la metodología y procedimientos para el cálculo del índice PDRI para Proyectos industriales y Proyectos de infraestructura.

3. Comentarios con relación a los Índices para evaluar las ingenierías, por IPA y CII

Si bien los estudios estadísticos llevados a cabo corroboran lo apropiado que resultan ser estos criterios de evaluación, para verificar el grado de definición, completitud y madurez en el desarrollo de un proyecto, también muestran que cumplirlos no es una condición suficiente para alcanzar el éxito. Esto puede entenderse, pues aún queda mucho camino por recorrer para materializar el proyecto; con el desarrollo de la ingeniería de detalles, el proceso de adquisiciones, la licitación y ejecución de los contratos de construcción y la puesta en marcha, lo que en la práctica significa sortear satisfactoriamente muchos escollos y riesgos, antes de que el proyecto esté materializado y operando correctamente.

En conclusión, las investigaciones llevadas a cabo por el IPA y el CII demuestran que el uso de indicadores o métricas, a nivel de la pre-factibilidad y factibilidad, como las descritas, mejoran la capacidad de predecir tempranamente el desempeño de un proyecto y constituyen una herramienta útil para ir midiendo, evaluando y mejorando la calidad y completitud de los proyectos, a medida que ellos avanzan en su desarrollo y definición, durante las etapas de pre-factibilidad y factibilidad.

La interrogante, ¿Por qué no son más utilizadas en el país?

En este sentido, resultará motivo de reflexión y preocupación comentar que el PDRI, es una herramienta disponible desde 1996, que ha sido utilizada por reconocidas industrias en USA, y por reputadas empresas internacionales de ingeniería de proyectos, desde hace algo más de 20 años, con positivos resultados.

Así, por ejemplo, en un workshop organizado por el CII, sobre experiencias en el uso del PDRI, que tuvo lugar ya en el año 2004, la NASA presentó su experiencia de 3 años de uso, en 45 proyectos, con muy buenos resultados y declaró que un puntaje satisfactorio del PDRI era un requisito necesario para la aprobación final y del financiamiento de un proyecto.

En el mismo workshop, el Gerente de Calidad de la firma de ingeniería de proyectos, JACOBS, comentó que la metodología PDRI se aplicaba en esa empresa, desde 1995 con una versión preliminar del documento elaborado por el CII⁹. Señaló que lo utilizaban al término de cada etapa FEL. Su uso les reportaba productos más completos y consistentes al término de cada etapa FEL, y evitaba proceder a las fases siguientes de manera prematura.

⁹ En el C.I.I. participan como miembros o socios, varias de las grandes compañías internacionales de ingeniería, así como también las más importantes empresas constructoras norteamericanas, proveedores de variada índole y un relevante número de agencias gubernamentales de USA.

Mencionaron que mejores resultados de los talleres de evaluación del PDRI se alcanzaban cuando un tercero, (externo al proyecto) actuaba como facilitador del taller.

Otro participante de ese Workshop fue 3M, quien manifestó que se utilizaba en los proyectos de la firma desde el año 2000, y como información exigible para las solicitudes de financiamiento de proyectos, con mucho éxito.

También presentó su experiencia otra firma internacional de ingeniería, Black & Veatch, señalando que el puntaje PDRI tenía una buena correlación con los resultados de los proyectos donde había sido aplicado. Agregaron que utilizaban un facilitador entrenado, y que iniciaban los talleres con un entrenamiento breve de los participantes. Explicó, además, que durante el Taller se propiciaban las discusiones abiertas y los consensos. Y luego, el seguimiento del listado de acciones resultantes.

Desde la fecha del citado Workshop en el 2004, el uso del PDRI se ha extendido y es utilizado por agencias del gobierno en USA y grandes empresas internacionales, industriales, mineras o del petróleo, así como empresas internacionales de ingeniería.

En virtud de lo señalado, pareciera que el país ha quedado rezagado en la utilización de estas herramientas y predictores, y se debiera realizar un esfuerzo por adoptar estas metodologías, en un plazo breve.

4.4.2. El empleo del BIM y las Metodologías digitales

1. Donde estamos hoy con BIM

El rápido desarrollo del computador y las tecnologías digitales en la segunda mitad del siglo XX trajo consigo una nueva y profunda revolución en la ingeniería, expandiendo la capacidad de cálculo y diseño, permitiendo, por una parte, la solución de complejos problemas de ingeniería utilizando métodos numéricos, y por otra, expandiendo considerablemente las capacidades de diseño mediante el CAD (Computer Aided Design). Y más recientemente, se ha dado otro gran paso, con la implementación del BIM (Building Information Modeling) en los proyectos, que consiste en una metodología digital colaborativa para crear, administrar y gestionar información, ya sea esta concerniente a un edificio, a una obra civil o de una compleja instalación industrial.

BIM es una metodología que permite ir integrando, incrementalmente, datos de distinta índole para obtener una fiel representación digital (modelo virtual, tridimensional) de una instalación, civil o industrial, y que puede ser actualizada permanentemente durante todo su ciclo de vida. Desde sus tempranas etapas de diseño, luego durante su construcción y finalmente durante su operación.

Por esta razón hay consenso que el BIM es la herramienta que está llevando adelante la transformación digital de la industria del diseño y la construcción.

Esta herramienta ya tiene un uso extendido en el Reino Unido, Estados Unidos, Australia y en muchos de los países desarrollados.

En nuestro país, a pesar de existir disposiciones administrativas que harían obligatorio su uso en los proyectos que financia el Estado, (Estándar BIM para Proyectos Públicos, EBPP) su empleo aún es limitado, aunque los estándares que se exigen están en un nivel razonable y adecuado. No obstante, su empleo en algunos proyectos de mayor complejidad como hospitales, y también en proyectos de infraestructura pública como el Metro, ya ha demostrado todo su potencial.

En el ámbito privado hay numerosos ejemplos de proyectos exitosos empleando BIM, entre ellos varios proyectos en la industria inmobiliaria, en la ampliación del aeropuerto Arturo Merino Benítez, donde las empresas constructoras de origen extranjero utilizaron BIM con un

alto nivel de desarrollo en los modelos. Por su parte Codelco ha estado trabajando fuerte en la implementación de BIM en sus proyectos y muestra buenos avances, con algunos proyectos recientes desarrollados casi en su totalidad en BIM. Metro pretende emplear BIM en todos los proyectos de nuevas líneas. Aunque en los diseños de las extensiones, hoy en construcción, las empresas de ingeniería ya utilizaron avanzadas plataformas BIM, con positivos resultados.

2. Potencialidades y beneficios del uso de BIM

La tecnología BIM representa una extraordinaria oportunidad para mejorar la calidad de los entregables en un proyecto, puesto que definitivamente permitirá tener menos errores y alcanzar una mejor precisión en los planos que se generan a partir del modelo. La información es unificada y consistente. La herramienta, en todo momento del desarrollo del modelo, permite visualizaciones en 3D y 2D, muy precisas para analizar, revisar y validar los diseños, detectar interferencias, conflictos y problemas. Así también permite validar, con el concurso de personas con experiencia, la constructibilidad de las soluciones diseñadas. De esta manera es posible anticiparse a muchas dificultades y problemas, al ser detectados tempranamente en el proceso del diseño. Así como también permite adoptar decisiones basadas en información clara y respaldada. Y esto es válido durante todo el ciclo de vida del proyecto.

En particular en la fase de construcción del proyecto su utilidad es muy apreciada, en especial en obras industriales complejas. Pues en el terreno, durante la construcción, los ingenieros, los jefes de terreno, jefes de especialidades y capataces todos tienen acceso, en general, a los planos, documentos y todo tipo de información asociada a las estructuras, equipos, tuberías, redes eléctricas y otros, tales como, volúmenes y cubicaciones, especificaciones y características técnicas, o bien, cuando debe ser instalado, su costo y cualquier otra información necesaria, integrada y disponible en el modelo. Todo ello es posible utilizando simples Tablets o Smartphones.

La herramienta, en sus versiones más avanzadas, también permite incorporar la variable tiempo, integrando los programas de construcción al modelo, lo que se ha denominado BIM4D. De manera similar se puede incorporar información sobre los costos asociados, conocido como el BIM5D. Y así se abren muchas e insospechadas oportunidades y posibilidades para su utilización.

3. Los Conceptos de: Nivel de Madurez y Nivel de Desarrollo de BIM

Para concluir esta breve descripción de las características y potencialidades del BIM, cuyo empleo extendido e intensivo en la industria definitivamente permitirá mejorar la calidad de las ingenierías, a continuación, se presenta y describe dos conceptos que es necesario tener presente para mejor entender cómo se debe emplear esta poderosa herramienta digital.

i. El “Nivel de Madurez” en el BIM

Bajo este concepto se define el nivel de complejidad y completitud del BIM a utilizar en un proyecto, en una organización o en la industria, donde los ingredientes principales que definen el “nivel de madurez” son:

- *La colaboración*; medida como el nivel de conectividad y de intercambio de datos e información entre las personas y las organizaciones que participan.
- *La administración y gestión de los datos*; el nivel en el cual los modelos BIM son utilizados para crear, visualizar y administrar información digital de los proyectos, a través de su ciclo de vida.
- *Integración en el Ciclo de Vida*; el nivel en el cual los datos e información BIM son integrados a lo largo de las etapas (diseño, construcción, operación, y mantención) del ciclo de vida del proyecto.

Los “niveles de madurez” son 4, desde el nivel cero, hasta el nivel 3.

Nivel 0:

Baja colaboración. La organización no está usando BIM. La información es producida en 2D empleando CAD y producción manual y los archivos se comparten digitalmente como fuentes de información aisladas. No hay una representación digital de lo proyectado, como tampoco base de datos centralizada ni para intercambio. En este nivel, los errores son frecuentes y difíciles de detectar sin revisiones sistemáticas, detalladas y bien ejecutadas.

Nivel 1:

Colaboración parcial, los equipos del proyecto emplean un ambiente digital común, para recopilar, administrar y compartir toda la información del proyecto. Los diseños son desarrollados y visualizados mediante CAD 3D y 2D. Pero los modelos no están centralmente coordinados ni ligados. Existe una mínima integración entre las fases del proyecto.

Nivel 2:

Colaboración total, todos los participantes en el proyecto utilizan modelaciones 3D para generar la información. Los modelos 3D se comparten utilizando un sistema común de archivos, como por ejemplo el conocido como IFC. Construyéndose de esta forma un modelo BIM unificado, que permite a cualquier participante acceder al modelo para trabajar en él o para actualizarlo, en tiempo real. La incorporación de la dimensión de tiempo (4D) es posible, así como la dimensión de costos (5D).

Nivel 3:

Integración completa (Full BIM). Un modelo BIM unificado se desarrolla en un ambiente basado en la “nube”. Los que participan en el proyecto pueden trabajar simultáneamente en el modelo compartido. Como resultado de ello los equipos que participan en el proyecto quedan completamente integrados, en tiempo real. En este nivel, la información contenida en el modelo es utilizada para la operación, mantenciones futuras, expansiones o remodelaciones. La total interoperabilidad permite integrar la secuencia de; proyecto, construcción y operación, con la sustentabilidad (6D) y la llamada “facility management data” (7D), todo enfocado al ciclo de vida completo del proyecto.

ii. El Nivel de Desarrollo, “Level of Development” (LOD)

El LOD es un estándar internacional de la industria que define los niveles de refinamiento que pueden alcanzar las representaciones del modelo 3D.

En un proyecto, las representaciones 3D tienen propósitos diversos, tales como; visualizaciones, secuencias de construcción, cubicaciones, especificaciones de materiales, programación, etc.

Por consiguiente, la definición del LOD es fundamental y ella debe ser acorde al nivel de ingeniería que se desea alcanzar.

A continuación, una breve descripción de lo que cada nivel LOD involucra y significa para el modelo. Se aprecia una cierta correspondencia con las etapas FEL del desarrollo de un proyecto.

LOD 100-

Diseño Conceptual. El modelo 3D es desarrollado para representar información a un nivel básico.

LOD 200-

Diseño Básico. El modelo no está completamente desarrollado, pero incluye información adicional a la puramente geométrica, como especificaciones de materiales, identificaciones de otros elementos.

LOD 300-

Diseño de Detalle. El modelo es a nivel de ingeniería de detalles, incluye toda la información necesaria para construir, incluyendo todas las definiciones geométricas, volúmenes, cantidades, ubicación y orientación de partes o piezas.

Contiene información no gráfica, como especificaciones técnicas, identificaciones TAG de los equipos, número de línea de tuberías, materialidad, etc.

LOD 350-

Documentos para la construcción. Incluye detalles del modelo y sus elementos. Se representan todos los elementos y otras piezas constructivas en el modelo (cañerías, cables eléctricos o ductos de aire, por ejemplo) que tienen interfaces o están ligados a las estructuras u otros elementos. Todo esto de manera gráfica y con especificaciones técnicas e instrucciones para construir, en textos incorporados.

LOD 400-

Fabricación y Montaje. Los distintos elementos son modelados con todos los detalles para su fabricación y posterior montaje (por ejemplo, fabricación de estructuras metálicas, isométricos de cañerías y otros). Contiene también las cubicaciones, listas de materiales e información sobre materiales, especificaciones y cualquier otra información necesaria.

LOD 500-

Modelo “As- Built”. El modelo refleja fielmente lo construido, con todos sus ajustes efectuados durante la construcción, los detalles, especificaciones, datos y características de los equipos, etc., para su posterior empleo durante la operación y mantención del proyecto, a lo largo de su vida útil.

4. Las Tareas pendientes y en desarrollo para BIM

Sin embargo, a pesar de las evidentes ventajas y beneficios que trae el uso de **BIM** en los proyectos, aún existen algunos escollos importantes que resolver antes de lograr un uso extendido y habitual del **BIM** en los proyectos en el país.

Las siguientes son las dificultades y brechas más relevantes:

- Desconocimiento de los mandantes (un escollo fundamental)
- Dificultades para alcanzar un trabajo colaborativo (un problema cultural)
- Carencias en metodologías y estándares (se trabaja en ello, pero aún falta)
- Incompatibilidades en los softwares en uso (resolverlo, tiene costos no menores)
- Dificultades de plataformas colaborativas (existen varias, pero no todas aptas)
- La usual resistencia al cambio y los costos asociados.
- Temas de regulaciones y leyes. (Tema importante, que requiere estudio y definiciones)
- Implementación en las Direcciones de Obras Municipales (un gran paso pendiente – se ha planteado como límite el año 2025 para implementar en DOM)

Para resolver la mayor parte de estas dificultades, se trabaja en distintos frentes en el país. Así, desde 2016, se trabajaba en el “Plan **BIM**”, programa impulsado por el gobierno y coordinado por Corfo, como parte del Programa “Construye 2025”, y que contaba con la participación de los ministerios de Obras Públicas (MOP), Vivienda, Economía y Hacienda. Lamentablemente esta iniciativa ha sido suspendida recientemente.

El Plan **BIM** tenía por finalidad mejorar la calidad de la edificación y la infraestructura del país, al implementar un estándar técnico de alto nivel, mediante el uso extendido e intenso del **BIM**.

Afortunadamente, existen otras iniciativas privadas como “BIM Forum Chile”, cuya misión es definir, proponer y publicar estándares, así como promover la difusión de la información

relativa al BIM. Para ello se trabaja con entidades académicas y se vincula con otras entidades nacionales e internacionales que promueven el conocimiento y uso del BIM. Entre estas, trabaja con la CDT (Corporación de Desarrollo Tecnológico) de la Cámara Chilena de la Construcción (CChC) en el proyecto Librería Nacional BIM. Proyecto que consiste en la estandarización y publicación de productos genéricos a través de una plataforma en línea, gratuita y de libre acceso. Sus mandantes son la CChC y el MOP.

Sin embargo, en la actualidad, a pesar de quedar algunos cabos sueltos y escollos que salvar, estos no son obstáculo para que, en el presente en el país, se pueda emplear el BIM con todas sus potencialidades. Es una herramienta que permite una mejoría sustantiva en todos los desarrollos de las ingenierías y en particular también en las ingenierías de detalle, así como durante la construcción de las obras, donde su uso aporta enormes beneficios y genera aumentos de productividad notables.

4.5. LAS LECCIONES APRENDIDAS Y SU EMPLEO EN EL MEJORAMIENTO CONTINUO DE LA CALIDAD EN LAS INGENIERÍAS

Realizar “Talleres de Lecciones Aprendidas” es una práctica generalizada en proyectos y contratos importantes. En general esta actividad se desarrolla como parte de los procedimientos de cierre técnico y administrativo del proyecto o contrato. Aunque en proyectos importantes y de largo aliento, esta práctica también se desarrolla, al término de etapas intermedias. Por ejemplo, al término de la factibilidad (FEL3).

Los objetivos de esta actividad son claros, se trata de examinar y comprender qué factores, procesos o decisiones no resultaron según lo esperado y produjeron impactos negativos en el proyecto y cuales resultaron exitosos o positivos para el proyecto.

En estos talleres, luego de identificar y jerarquizar los factores positivos y negativos para el proyecto, estos son analizados para entender cómo sería posible replicar los positivos en otros proyectos, y como evitar repetir aquellos que fueron negativos.

La clave para obtener un resultado positivo y útil del Taller es una discusión informada, amplia y franca para determinar las causas raíz de los impactos tanto negativos como positivos.

Esta misma técnica y procedimientos, con ligeras variaciones, pueden ser utilizados para el mejoramiento continuo de la calidad de las ingenierías de detalle en las empresas de ingeniería de proyectos.

El punto de partida será el resultado de la revisión final realizada a los entregables, previo a su emisión para construcción, por los diseñadores y el equipo de revisores.

También puede ser el punto de partida, el resultado de la aplicación de las herramientas DDQA y CDDC, descritas en el Anexo N°2 de este informe.

Con estos antecedentes se desarrollará el Taller de Lecciones Aprendidas, en el cual deben participar: el Gerente del Proyecto, el jefe de ingeniería y los jefes de disciplina, los consultores y especialistas, quienes se abocarán a determinar las causas raíz de los errores detectados y la mejor manera de evitarlos o detectarlos tempranamente en futuros proyectos.

El desarrollo de estos Talleres constituye, por si solos, una formidable instancia de aprendizaje para los ingenieros y diseñadores que participan en él.

Ahora bien, estas “Lecciones”, como es lógico, no deben archivarse, sino que deben difundirse y quedar disponibles para ser consultadas y usadas en cualquier momento y por cualquiera que lo requiera, y ciertamente de manera planificada en futuros proyectos. Su registro, archivo y difusión es responsabilidad de los equipos de calidad de la empresa, y su utilización eficaz y oportuna es responsabilidad de los proyectos en particular.

Cabe especular que, al aplicar estas herramientas durante un cierto tiempo más bien largo, y en sucesivos proyectos, será posible para el equipo de Calidad identificar aquellos errores u omisiones que ocurren con mayor frecuencia, y también detectar el patrón de aquellos que representan mayores riesgos, o que su corrección durante la construcción tiene importantes impactos en costos y plazos. Y con ello, el equipo de diseño, en los futuros proyectos, pondrá especial atención para evitarlos, o bien, pondrá atención en las revisiones para detectarlos. Alcanzando con ello un ciclo virtuoso de mejoramiento continuo.

5

RECOMENDACIONES DE INSTITUCIONES INTERNACIONALES PARA ASEGURAR LA CALIDAD DE LAS INGENIERÍAS

5.1. INTRODUCCIÓN

La globalmente extendida preocupación por la calidad de las ingenierías se refleja en una serie de publicaciones efectuadas por diversas instituciones internacionales, ligadas al desarrollo de proyectos de ingeniería y su construcción, que entregan recomendaciones para asegurar la calidad de los diseños y la seguridad de las obras. En general, estas instituciones están dedicadas a regular y/o normar el diseño y construcción de proyectos y obras de ingeniería.

En lo que sigue, a modo ejemplar y por considerar que contienen aportes de especial interés, y porque confirman gran parte de lo analizado y propuesto en el informe, se presentan algunos ejemplos, donde se identifica el documento de origen y se resumen y comentan las principales ideas y recomendaciones contenidas en ellos.

También se incluye referencias a recomendaciones específicas y buenas prácticas de ciertas especialidades de ingeniería, que complementan lo analizado y aportan al objetivo perseguido por el informe.

5.2. NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM

5.2.1. “Mejores Prácticas en Aseguramiento y Control de la Calidad en Diseños”

Basado en el Documento: “Best Practices in Quality Control and Assurance in Design”, NCHRP Project 20-68A, July 2011.

Como consecuencia del colapso de un puente de la carretera I-35W, sobre el río Mississippi, en la ciudad de Minneapolis en Minnesota, el 01 de agosto de 2007, que significó la caída de un tramo de unos 300 m del citado puente, el National Transportation Safety Board (NTSB) realizó una investigación para determinar las causas de la falla. La investigación determinó que el colapso se inició con la falla de los “gussets” (elementos estructurales de conexión) en ciertos nodos de la estructura metálica enrejada del puente.

La causa raíz determinada por la investigación fue resumida así:

“Insuficientes procedimientos de control de calidad del diseño por la firma de ingeniería que diseñó el puente, e insuficientes procedimientos de revisión y aprobación de los cálculos y planos de diseño del puente, por las autoridades estatales y federales”.

Estos hallazgos dieron origen a recomendaciones para que la Federal Highway Administration (FHWA) y la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) trabajasen en conjunto para desarrollar mejores procedimientos de control y aseguramiento de la calidad en el diseño de puentes, incluyendo procedimientos para detectar y corregir errores de diseño antes de la aprobación final para construcción.

Dada su relevancia el alcance del estudio fue extendido para incluir el diseño de carreteras, puentes y los proyectos globales de carreteras, y en particular, las exigencias de QA/QC a tener presente en contratos Diseño-Construcción. (DB)

El estudio incluyó, revisiones de los programas de QA/QC de gran parte de los Estados de la nación, así como diversas encuestas que pretendían entender cómo se desarrollaban y luego aplicaban los procedimientos QA/QC, y las premisas empleadas en su desarrollo.

A continuación, un resumen de las recomendaciones que propone el informe:

1. La investigación concluye que es importante el apoyo de la administración superior en el desarrollo y uso de planes de QA/QC. Sin embargo, hace presente que la documentación y herramientas de un plan QA/QC serán en gran medida eficaces sólo si a cargo de los diseños hay profesionales de calidad y experimentados.
2. Un programa de calidad exitoso debe ser capaz de demostrar que una mejor calidad en los diseños representa una vida útil más larga y ahorros en el proyecto.
3. Los Estados que reportan mejores resultados en la calidad de sus proyectos, utilizan exigentes procesos de selección de las firmas consultoras y buenos canales de comunicación. En muchas ocasiones se efectúan procesos de precalificación, antes de invitar a propuestas. En ellas se solicitan planes de QA/QC específicos.
4. Una forma de asegurar diseños de calidad en los equipos de los mandantes es incorporar un entrenamiento rotativo de sus cuadros profesionales jóvenes o sin experiencia. Para ello, los ingenieros jóvenes o inexpertos primero son asignados a diseñar y luego deben ir al terreno para ver cómo se construye lo diseñado, volviendo luego a las oficinas. Esta experiencia práctica constituye un gran aporte a su formación y experiencia.
5. Una buena y permanente comunicación entre consultores y mandantes es importante para mantener buenos resultados en QA/QC. Reuniones anuales para revisar lecciones aprendidas son de alto beneficio, así como reuniones con sociedades profesionales del rubro.
6. El uso de listas de chequeo, manuales de diseño, detalles estándar y planos tipo son una práctica extendida y útil. Sin embargo, estas herramientas deben ser permanentemente actualizadas.
7. Algunos Estados utilizan “entrenamiento para revisores”, para aquellos ingenieros que harán revisiones y QC de los planos y especificaciones, donde se les enseña las mejores formas de identificar errores y omisiones, y como interactuar con el diseñador para su adecuada corrección.
8. Otra estrategia que se reporta exitosa ha sido el involucramiento temprano de constructores en los proyectos. Se evitan modificaciones de diseño tardías, y/o costosas, cuando ellas se realizan durante la construcción, por condiciones de constructibilidad. También resulta importante recoger experiencias y retroalimentación de la fase de construcción, para los futuros diseños.

5.2.2. Aseguramiento de la Calidad en Contratos Design-Build (DB o EPC)

Basado en el documento: “Quality Assurance in Design-Build Projects”, A Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board, 2008.

La forma tradicional de construir los proyectos es siguiendo la secuencia: Diseño, Licitación, Construcción, donde el dueño del proyecto desarrolla la ingeniería, por sí mismo o con el concurso de empresas de ingeniería, luego invita a empresas constructoras a presentar propuestas por la construcción, adjudica el contrato y supervisa la construcción. (En inglés; design, bid, build, que usualmente se denomina DBB).

Sin embargo, en la actualidad y con el objetivo de acortar los plazos totales, en muchas ocasiones se recurre al sistema contractual donde se licita el diseño y la construcción bajo un solo contrato. Situación en la cual el contratista adjudicado es responsable por desarrollar la ingeniería de detalle y luego construir. (En inglés: design, build, designado con el acrónimo DB). En proyectos industriales normalmente los contratos de esta naturaleza (DB) también incluyen las compras de equipos y otros. (Engineering, Procurement and Construction, EPC).

El Sistema contractual designado como DB / EPC ha ganado cierta popularidad, pero dada su estructura contractual, el dueño pierde en cierta medida el control de la fase de diseño y de su calidad. El asunto entonces es como garantizar el mismo nivel de calidad de la ingeniería que el que se obtiene en los proyectos DBB, ya que la responsabilidad de la calidad de la ingeniería en el caso DB, reside básicamente en el contratista. Este es precisamente el propósito del documento en comento.

Algunas de las medidas que se recomienda para garantizar una adecuada calidad del proyecto y de sus etapas, en contratos del tipo DB/EPC, son las siguientes:

- A. Precalificación de los proponentes al DB o EPC, basado en la experiencia en proyectos similares, capacidad y calidad demostrada, y los planes de QA/QC que emplean, la experiencia y calificaciones del equipo profesional de diseño, el de construcción y el plan y el equipo de aseguramiento de la calidad y sus calificaciones y experiencia.
- B. Exigencias específicas de experiencias y competencias de los equipos de diseño y de construcción, incluidas en los Términos de Referencia de las licitaciones.
- C. Para asegurar que los licitantes interpretan y entienden correctamente el nivel de calidad requerido para los diseños y la construcción, los documentos y diseños de ingeniería básica incluidos en las bases de licitación, deben explicitar de manera clara; los criterios de diseño a ser utilizados, las especificaciones y las normas a cumplir, tanto en los diseños, como en la construcción.
- D. No obstante, se debe permitir al proponente que, cumpliendo las exigencias normativas y los criterios de diseño, optimice los diseños y la construcción basado en su experiencia y la experticia de sus colaboradores.
- E. La adjudicación de las propuestas: se recomienda que sea al “mejor valor”, no al menor precio. Con fuerte ponderación de la experiencia previa, de los planes de calidad ofrecidos y también de las competencias y experiencia de los equipos, tanto de diseño como de construcción.
- F. En la fase de diseño, en general el dueño ejerce el derecho de supervisar y aprobar la QA/QC de la ingeniería desarrollada por el Contratista y su equipo de diseño. Lo puede hacer por sus propios medios o bien subcontratando una empresa especialista que lo represente y ejecute la labor de QA y de revisiones QC. Si el proyecto no está sujeto a plazos perentorios, el dueño, si lo estima necesario, puede extender el plazo para revisiones adicionales.
- G. En la Construcción, lo usual es que el dueño, con el objeto de supervisar y controlar la calidad y el avance de la construcción, contrate una empresa de inspección técnica, que realice estas labores. Aunque en ocasiones, se confía en el llamado autocontrol, donde la función de QC la efectúa el propio contratista, basado en planes y procedimientos previamente aprobados.

Como es posible apreciar, el citado documento es muy completo y útil, entregando recomendaciones bien fundadas basadas en una amplia experiencia.

5.3. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL ¹⁰

Basado en el documento: “Quality Assurance for Estructural Engineering Firms”, por Clifford Schwinger, American Institute of Steel Construction. 2008/03 y Structure Magazine, junio 2009.

Las grandes transformaciones que ha experimentado la ingeniería estructural en los últimos 35 años, junto a los cada vez más estrechos plazos para desarrollar los proyectos, con programas de construcción acelerados, con normas y códigos de diseño que se han tornado más complejos y con una fuerte dependencia en cálculos y diseños efectuados por computador mediante softwares especializados. Todo ello unido a la participación de ingenieros y diseñadores en la fuerza de trabajo actual, con menos experiencia y conocimientos en el arte del diseño estructural, constituyen las razones por las cuales la implementación y uso de programas y metodologías de aseguramiento de la calidad, y su control (QA/QC), resultan cada vez más necesarios en la práctica actual de la ingeniería estructural, así como en todas las demás disciplinas y especialidades.

En este escenario, la implementación de sólidos y completos programas de aseguramiento de la calidad en las firmas de Ingeniería Estructural, así como en otras disciplinas, significa, o se traduce, en:

- Mejores diseños.
- Mejor calidad de planos y especificaciones.
- Procesos de diseño más eficientes.
- Menos errores.
- Menos solicitudes de información (SDI/RFI) y órdenes de cambio durante la construcción.
- Mayores niveles de satisfacción de los clientes.
- Mayor reputación y éxito de las empresas.

Ahora bien, un adecuado y efectivo modelo de QA para ingeniería estructural debe tener al menos los siguientes componentes, los que en seguida se analizan y comentan:

- Entrenamiento de ingenieros jóvenes
- Estándares de diseño
- Estándares de presentación de los diseños
- “Project delivery system” (como se organiza, administra y entrega el proyecto)
- Bases del Conocimiento (Knowledge Base)
- Involucramiento del Administrador de Calidad (QA)
- Revisiones de aseguramiento de la calidad (QA) y sus enfoques específicos

5.3.1. Entrenamiento de Ingenieros jóvenes

En cierta forma el computador ha alterado la fase de aprendizaje “en el trabajo” de los ingenieros jóvenes, y estos deben asumir responsabilidades más temprano y con menos entrenamiento en el arte de la ingeniería estructural. Con el desafío adicional que implica la complejidad de los modernos códigos y normas de diseño, que son actualizados periódicamente y cuyos detalles y sutilezas, en general, no son cubiertos en profundidad en los cursos formales,

¹⁰ **Nota:** Si bien los documentos que se comentan a continuación ha sido desarrollado para la práctica de la ingeniería estructural, muchos de los conceptos y metodologías que se exponen y recomiendan, son ciertamente de aplicación universal a todas las ingenierías de diseño.

unido a una escasa o nula experiencia en el arte del diseño estructural y su detallamiento, que constituyen competencias imprescindibles para el adecuado y correcto desempeño del ingeniero estructural.

Una manera de superar estas falencias es mediante programas de entrenamiento y seminarios, cubriendo el completo espectro de temas y competencias que deben dominar los ingenieros estructurales. Cabe tener presente que transmitir conocimiento y experiencia, además de los aspectos teóricos, debe incluir discusiones y aplicaciones prácticas de los códigos, las lecciones aprendidas, y los errores más frecuentes cometidos. Explicaciones de las limitaciones de los softwares, con énfasis en que los programas constituyen herramientas que deben ser utilizadas de manera informada y responsable. Las soluciones y la creatividad provienen del ingenio, la experiencia y la inteligencia del ingeniero, no del computador.

Estos seminarios deben tener una frecuencia de una vez por semana, como mínimo. Ejemplos de su contenido se puede encontrar en el informe referido al inicio

5.3.2. Estándares de Diseño

Empresas de ingeniería, tanto medianas como grandes, deben tener procedimientos de diseño, estándares y metodologías formales y por escrito, para poder producir diseños de calidad de manera consistente y reducir el riesgo de errores, debido a desinformación o fallas en las comunicaciones.

El objetivo de los estándares de diseño es que todos los que participan empleen los mismos criterios y procedimientos, además de reunir en un solo documento, normas, códigos y estándares de diseño, prácticas locales o propias y lecciones aprendidas, a ser aplicadas en todos los diseños que realicen.

Además, incluyen completas listas de chequeos, que sirven como ayuda de memoria a principiantes y experimentados.

5.3.3. Estándares de Presentación de los Diseños

El dibujo correcto y consistente de los planos estructurales (en dos o tres dimensiones) es esencial para transmitir la intención del diseño a otros involucrados en un proyecto o construcción. Hoy en día esta consideración debe extenderse a las modelaciones en BIM (y CAD) y todos sus protocolos.

La documentación sobre estándares de diseño incluye: Procedimientos de dibujo y detallamiento, Procedimientos de modelación en BIM, Listas de chequeo BIM y/o CAD, Biblioteca de detalles típicos o comunes, e instrucciones, “como usar” los dibujos y los modelos BIM.

5.3.4. Project Delivery System

Corresponde a todos los procedimientos, manuales y formularios requeridos para administrar un proyecto, desde su concepción hasta su construcción, manteniendo comunicaciones efectivas y eficaces con el cliente y todos los demás involucrados.

5.3.5. Bases del Conocimiento (Knowledge Base)

Corresponde a una base de datos computacional, que contiene guías de diseño, estándares de diseño, normas, códigos, estándares BIM y CAD, lecciones aprendidas y otros como seminarios y tutoriales. Constituye la primera fuente de información para responder consultas relativas a diseño estructural. Cuando la respuesta a una consulta o problema no está en la Base, su tema se agrega.

Así como se incorporan soluciones dadas a problemas prácticos y sus lecciones aprendidas.

5.3.6. Involucramiento del Administrador de Calidad (QA)

El administrador de QA es un ingeniero senior responsable de establecer y mantener estándares de ingeniería y de verificar que todos los diseños ejecutados por la empresa sean desarrollados conforme a tales estándares. Entre otras tiene las siguientes responsabilidades:

- Entrenamiento del personal
- Responder consultas técnicas e incorporarlas en la Base del Conocimiento
- Mantener una supervisión de todos los proyectos en curso
- Proponer y/o aprobar todo aporte o modificación a los estándares
- Efectuar las revisiones de aseguramiento de la calidad en todos los proyectos

5.3.7. Revisiones de Calidad y sus enfoques específicos

Las revisiones de QA tienen más de un objetivo. El primero es una revisión por profesionales experimentados que detecte errores u omisiones y que confirme que las estructuras están correctamente diseñadas y son construibles. El segundo, es verificar que la documentación contractual (planos y especificaciones) está completa, es correcta y esta adecuadamente coordinada. La revisión también permite verificar la efectividad del programa de QA en uso.

La tendencia actual es tener múltiples revisiones de QA, en el transcurso de un proyecto, en determinadas instancias, con el propósito de detectar errores tempranamente, cuando resulta más sencillo corregirlos y causan menores impactos en el programa.

Tales revisiones deben ser realizadas por profesionales senior, con amplia experiencia teórica y práctica, y en su desarrollo es útil utilizar algunas tácticas que permiten advertir distintos tipos de errores o deficiencias en los diseños. A continuación, algunos ejemplos:

- ***Mirar el cuadro completo (Look at the big picture)***
En ocasiones los diseñadores pierden la perspectiva y no advierten detalles o errores que son evidentes para alguien que mira el gran cuadro por primera vez.
Ejemplos:
 - *ubicación de juntas de expansión inexistentes o mal ubicadas.*
 - *equilibrio de fuerzas no investigado.*
 - *aspectos obvios de constructibilidad.*
 - *modelación computacional incorrecta.*
- ***Revisar el diseño de las conexiones y su constructibilidad***
Es una revisión que debe realizar alguien con amplia experiencia en diseño y construcción de estructuras.
- ***Búsqueda de errores sutiles, pero importantes***
Son los errores más difíciles de detectar y en general son detectados por revisores que han cometido o visto errores similares en su vida profesional.

- *Revisar los planos con los ojos de profesionales que no son expertos en diseño estructural. Esta consideración es esencial para evitar omitir detalles simples, obvios o conocidos, pero importantes para claridad y completitud. La pregunta que el diseñador y el revisor deben hacerse: “Lo que muestran y definen los planos es suficiente para que un constructor pueda construir la estructura sin tener que suponer cosas o hacer consultas (RFI/SDI)”.*
- *Una obvia, pero muy relevante, verificar que los planos estructurales son compatibles con los diseños mecánicos y de arquitectura. (Con el uso de modelaciones BIM, esta verificación hoy es parte del proceso de la integración de las especialidades).*

6 CONCLUSIÓN

6.1. SÍNTESIS

Es ampliamente reconocido que entre los elementos que determinan el éxito de un proyecto de inversión se destacan nítidamente, al menos, los siguientes:

- la claridad de los objetivos del negocio o del proyecto,
- la capacidad de gestión del Dueño,
- la correcta y completa definición del proyecto,
- las correctas estimaciones de costos de inversión (capex) y de operación (opex),
- las adecuadas estrategias de contratación y su debida gestión y,
- la calidad de las ingenierías, que sustentan todas las definiciones y decisiones trascendentales en un proyecto de inversión y que permiten su construcción. Aspecto que constituye la razón y motivación del presente informe.

Por otra parte, ya se ha explicado que en los proyectos de inversión se distinguen dos fases, las que están claramente separadas por la decisión de invertir: estas son, la fase de gestación o de preinversión y la fase de implementación o de inversión.

La definición del proyecto se realiza en la fase de preinversión, desarrollando diferentes estudios de ingeniería (preliminar, pre-factibilidad y factibilidad), analizando alternativas y realizando estimaciones de costos, evaluaciones económicas y de riesgos. Donde la **calidad de la ingeniería**, que sustenta la definición del proyecto y sus costos, claramente juega un rol de vital trascendencia.

En la fase de implementación, se desarrollan las ingenierías de detalles de cada uno de los contratos, las que permiten construir y poner en marcha el proyecto. Nuevamente, la **calidad de la ingeniería** desarrollada en esta fase desempeña un papel fundamental, para una satisfactoria construcción y puesta en servicio.

En este sentido, y como ha sido documentado en los capítulos precedentes, en las publicaciones académicas sobre la materia, en la opinión de Instituciones especializadas internacionales y también del país, todos confirman y reafirman la importancia que tiene la calidad de las ingenierías en el resultado de los proyectos, constatándose, en este sentido, un deterioro general de su calidad en las últimas décadas, tanto en el país, como en el mundo.

Los factores de mayor gravitación que actualmente afectan negativamente la calidad de las ingenierías son los siguientes:

- a. Factores del negocio, que procuran acortar los cronogramas de los proyectos a niveles que conllevan altos riesgos para el éxito de los proyectos.
- b. Fuerte competencia en el mercado de las empresas de ingeniería,
- c. “Comoditización de facto” de la ingeniería, con la asignación de los contratos de Ingeniería (y construcción) *“al menor valor”, en lugar de hacerlo “al mejor valor”*.

- d. Mayor nivel de complejidad de los proyectos y excesivos cambios introducidos durante su desarrollo.
- e. Disminución de las capacidades de gestión y supervisión en los equipos del Dueño,
- f. Serios problemas para la conformación de equipos profesionales experimentados y competentes, tanto en las empresas de ingeniería, como en los equipos de los mandantes. Producto, tanto de un déficit de profesionales con experiencia, como también de las bajas tarifas pagadas.
- g. El entrenamiento de profesionales jóvenes y/o sin experiencia, prácticamente no existe a nivel de las empresas de ingeniería de proyectos, con ello no se transmite ni preserva la experiencia. Como paliativos para esta seria deficiencia, se abusa de la copia sin criterio de diseños y especificaciones, y del uso inapropiado de “softwares” de análisis y diseño, por profesionales inexpertos o sin supervisión. Tampoco se estimula ni desarrolla el juicio crítico.
- h. Un escaso o nulo apego a las mejores prácticas y severas carencias en los sistemas QA/QC, los que, en la práctica, en la gran mayoría de las ocasiones, resultan completamente ineficaces.
- i. En muchos proyectos no se consideran adecuadamente en sus diseños factores importantes, tales como la constructibilidad, la mantenibilidad, la posible prefabricación y los requerimientos operacionales específicos o del servicio.

6.2. COMO MEJORAR

Las recomendaciones para asegurar la **Calidad de las Ingenierías** han sido presentadas con cierto nivel de detalle en los Capítulos 4 y 5 del Informe y en los Anexos N° 1 y N° 2.

En particular, las recomendaciones contenidas en el **Capítulo 4**, apuntan, en primer término, a los importantes factores organizacionales y de operación de los equipos del proyecto, tanto del Dueño, como de las empresas de ingeniería, y, a continuación, se describen y comentan algunas herramientas y técnicas probadas, que permiten medir y evaluar la calidad y la completitud de las ingenierías desarrolladas. Entre estas se describe los índices desarrollados, probados y documentados, por instituciones internacionales, tales como el FEL Index, propuesto por el IPA y el índice PDRI, desarrollado por CII. Para este último, su fundamentación y metodología se describe, con algún detalle, en el **Anexo N° 1**. Estos Índices permiten determinar con un alto grado de precisión y certidumbre, el nivel de definición, madurez y completitud que tiene el desarrollo del proyecto al término de las diferentes fases de su estudio (Pre-factibilidad, factibilidad o incluso intermedias) y que permiten adoptar decisiones fundamentadas respecto de cómo mejor continuar desarrollando el proyecto.

Luego en el **Capítulo 5**, como una manera de obtener provecho de la globalmente extendida preocupación por la calidad de las ingenierías en los proyectos de inversión, que se refleja en numerosos estudios y publicaciones de instituciones ligadas al desarrollo de grandes proyectos, (en general disponibles en internet), se ha descrito y comentado, tres interesantes y útiles publicaciones recientes, que entregan claras recomendaciones y cuya aplicación significará importantes mejorías en la **calidad de la ingeniería** en los proyectos.

La primera, publicada por la “National Cooperative Highway Research Program”, entrega recomendaciones sólidamente fundadas para las mejores prácticas en aseguramiento y control de calidad en diseños. La segunda, basada en una publicación del “Transportation Research Board”, propone recomendaciones específicas para asegurar la calidad de los diseños en contratos de construcción, del tipo EPC o DB, donde el constructor es responsable del desarrollo de la

ingeniería de detalles, a partir de las ingenierías básicas desarrolladas en la fase de factibilidad. El último ejemplo comentado en el Capítulo 5, fue especialmente desarrollado para asegurar las buenas prácticas en el diseño estructural, sin embargo, los conceptos y metodología utilizada para alcanzar diseños estructurales de calidad, es de aplicación universal al desarrollo de cualquier ingeniería. Por esta razón se consideró de interés general y se decidió incluir y comentar en detalle en el informe.

6.3. PARA TENER PRESENTE

- La Fase de preinversión, es de la mayor importancia para la definición y éxito del proyecto, en consecuencia, es necesario prestar una fuerte atención a la debida organización del Dueño para enfrentar y dirigir adecuadamente el proyecto en esta fase, y luego, de aprobarse la inversión, también en las siguientes. En esta tarea el rol del Directorio es fundamental, así como el de un eventual Comité Supervisor, como ha sido sugerido.
- Procurar que la organización del Dueño mantenga, en todo momento, una alta capacidad para dirigir y gestionar debidamente el proyecto en todo su desarrollo.
- Aplicar políticas y gestión de la Calidad QA/QC rigurosas, tanto por el Dueño como por las empresas de ingeniería, en todas las fases del desarrollo del proyecto y sus contratos. Se trata de procedimientos validados de aseguramiento de la calidad y sus protocolos de control, con revisiones escalonadas y sucesivas, donde su aplicación es realizada y supervisada por profesionales experimentados.
- Las lecciones aprendidas y su empleo en el mejoramiento continuo de la calidad de las ingenierías y los proyectos debe ser una práctica generalizada en el desarrollo de proyectos de inversión y sus contratos. La realización de Talleres de análisis y sus Informes, “ex –post”, así como talleres al inicio, para refresco y repaso de las lecciones aprendidas, debe ser una práctica acostumbrada y permanente.
- Crear un ambiente colaborativo en el equipo del estudio de preinversión, con la participación temprana en el desarrollo del proyecto, de proveedores y contratistas de construcción, además de la empresa de ingeniería con equipos profesionales de experiencia. La ingeniería de esta fase resultará de mejor calidad.
- En el corto plazo, debe generalizarse el uso de BIM, iniciándose su empleo en la fase de preinversión de los proyectos. Mientras su uso no sea completamente extendido en la industria, se deberá trabajar con el Nivel de Madurez y Nivel de Desarrollo compatibles con la experiencia y competencias del equipo profesional del proyecto. Pero debe procurarse masificar su uso, a la mayor brevedad, puesto que el BIM es una herramienta que permite una mejoría sustantiva en todos los desarrollos de las ingenierías y en particular en las ingenierías de detalle, así como también durante la etapa de construcción de las obras, donde su uso aporta enormes beneficios y genera aumentos de productividad notables.
- Sería de mucho provecho y beneficios, que a nivel académico los egresados de ingeniería tuviesen una mínima experiencia práctica; lo que debería ser considerado en los planes de estudios y definiciones de programas y el perfil de egreso de los profesionales de la ingeniería. Para conseguir este fin, los Talleres de Proyecto son eficaces, así como también lo son, el bien diseñadas y controladas Prácticas de Vacaciones. Las actuales “prácticas de vacaciones” no cumplen cabalmente su objetivo, pues son de mínima duración y básicamente se exigen para cumplir un requisito no bien entendido. Las Prácticas de Vacaciones, bien orientadas, controladas y de duraciones adecuadas,

cumplirían un rol importante, complementando la formación de los profesionales de la Ingeniería, que en el futuro se dedicarán al diseño y la construcción.

- Finalmente, es de suma importancia, no perder de vista que la viabilidad de un proyecto de inversión y su posible éxito estará siempre condicionada a su “sostenibilidad”, la que requiere la correcta, completa y oportuna satisfacción de la totalidad de las exigencias sociales, ambientales, técnicas y económicas del mismo.

ANEXO N° 1

Breve descripción del Índice PDRI¹¹, propuesto por el Construction Industry Institute (CII)

A1.1. PDRI PARA PROYECTOS INDUSTRIALES

La metodología desarrollada por el C.I.I., para proyectos industriales, contempla tres secciones principales de análisis y evaluación, y, a su vez, cada sección contempla varias categorías y dentro de estas categorías hay un número variable de ítems, los que deben ser analizados, evaluados y en base a ello, recibir un puntaje acorde a su grado de definición, su completitud y/o grado de exactitud y desarrollo: Así se tiene:

Sección I: Bases para la Decisión del Proyecto

- A. Objetivos industriales (3 ítems)
- B. Objetivos del negocio (8 ítems)
- C. Datos básicos (del proceso o la tecnología) (2 ítems)
- D. Alcance del Proyecto (6 ítems)
- E. Ingeniería de Valor (3 ítems)

Sección II: Bases de Diseño

- F. Información del Sitio (6 ítems)
- G. Procesos y Mecánica (13 ítems)
- H. Alcance de los equipos (3 ítems)
- I. Civil, Estructural y Arquitectura (2 ítems)
- J. Infraestructura (3 ítems)
- K. Electricidad e Instrumentación (6 ítems)

Sección III: Forma de Ejecución

- L. Estrategias de Contratación y Compras (3 ítems)
- M. Entregables (3 ítems)
- N. Control del Proyecto y Riesgos (3 ítems)
- P. Plan de Ejecución del Proyecto (6 ítems)

A continuación, se presenta la tabla de los elementos a ser evaluados y calificados, con el nivel de desarrollo que han alcanzado. Esta tabla es una traducción de la Tabla 1.1 del documento “Project Definition Rating Index- Industrial Projects, Implementation Resource 113-2, second edition. C.I.I.,2006.

¹¹ PDRI = Project Development Rating Index = Índice del nivel de Desarrollo del Proyecto.

Secciones, Categorías y Elementos que componen el PDRI¹²

I. Bases de Decisión

- A. Criterios para Objetivos de Producción
 - A1. *Filosofía de Confiabilidad*
 - A2. *Filosofía de Mantenimiento*
 - A3. *Filosofía de Operación*
- B. Objetivos del Negocio
 - B1. *Productos*
 - B2. *Estrategia de Mercado*
 - B3. *Estrategia del Proyecto*
 - B4. *Es Financiable / Es Factible*
 - B5. *Capacidades*
 - B6. *Consideraciones para futuras expansiones*
 - B7. *Ciclo de Vida esperado del Proyecto*
 - B8. *Problemática Social*
- C. Datos Básicos de Investigación y Desarrollo
 - C1. *Tecnología*
 - C2. *Procesos*
- D. Alcance del Proyecto
 - D1. *Declaración de los Objetivos del Proyecto*
 - D2. *Criterios de Diseño del Proyecto*
 - D3. *Características del emplazamiento; disponible v/s requerido*
 - D4. *Requerimientos de desarme y demolición*
 - D5. *Alcance del trabajo de las principales disciplinas*
 - D6. *Programación del Proyecto*
- E. Ingeniería de Valor
 - E1. *Simplificaciones del Proceso*
 - E2. *Alternativas de Diseños y Materiales*
 - E3. *Análisis de Constructibilidad*

II. Bases de Diseño

- F. Información del sitio de Emplazamiento
 - F1. *Ubicación del sitio*
 - F2. *Levantamientos topográficos y exploraciones geotécnicas*
 - F3. *Evaluación Ambiental*
 - F4. *Permisos requeridos*
 - F5. *Disponibilidad de servicios y condiciones para su suministro*
 - F6. *Protección de incendio y consideraciones de seguridad*
- G. Procesos y Mecánica
 - G1. *Diagrama de flujo de procesos*
 - G2. *Balances de materiales y térmico*
 - G3. *Diagrama de cañerías e instrumentación (P&ID)*
 - G4. *Administración de seguridad del proceso*
 - G5. *Diagramas de flujo de los servicios*
 - G6. *Especificaciones*
 - G7. *Requerimientos de los sistemas de cañerías*

- G8. *Plano de disposición general (Plot Plan)*
- G9. *Listado de equipos mecánicos*
- G10. *Listado de líneas*
- G11. *Lista de Tie-in*
- G12. *Listado de ítems especiales de cañerías*
- G13. *Índice/listado de instrumentos*
- H. Alcance del Equipamiento
 - H1. *“Status” del equipamiento (definido, adquirido, etc)*
 - H2. *Planos de ubicación de equipos*
 - H3. *Requerimientos de servicios para los equipos*
- I. Arquitectura, Civil, Estructural
 - I1. *Requisitos y criterios para Obras civiles y estructuras*
 - I2. *Requisitos de Arquitectura*
- J. Infraestructura
 - J1. *Requisitos de tratamiento de aguas (servidas, lluvia, procesos)*
 - J2. *Requerimientos para carga, descarga, almacenamiento*
 - J3. *Requerimientos de transporte y logística*
- K. Electricidad e Instrumentación
 - K1. *Filosofía de Control*
 - K2. *Diagramas lógicos*
 - K3. *Clasificaciones de áreas eléctricas*
 - K4. *Fuentes de energía y requisitos para las SSEE*
 - K5. *Diagramas unilineales*
 - K6. *Especificaciones de electricidad e instrumentación*

III. Enfoque para la Ejecución

- L. Estrategias para las Adquisiciones
 - L1. *Identificación de equipos y materiales críticos, y/o larga entrega*
 - L2. *Procedimientos y planificación de las adquisiciones*
 - L3. *Matriz de responsabilidad de las adquisiciones*
- M. Entregables (planos y documentos)
 - M1. *BIM/ Requerimientos de los modelos*
 - M2. *Definición de todos los entregables*
 - M3. *Matriz de distribución*
- N. Control del Proyecto
 - N1. *Requerimientos para el control del proyecto*
 - N2. *Requerimientos contables del proyecto*
 - N3. *Análisis de riesgos*
- P. Plan de Ejecución del Proyecto
 - P1. *Requerimientos de aprobación por el dueño*
 - P2. *Estrategias y planes para la Ing. y la Construcción*
 - P3. *Requisitos para paralizaciones previstas y otras interferencias.*
 - P4. *Requisitos para pre-comisionamiento y entrega*
 - P5. *Requerimientos para inicio de operaciones*
 - P6. *Requerimientos de entrenamiento*

En un extenso anexo en el citado documento del CII, cada uno de los 70 elementos que componen la base de análisis y evaluación del PDRI, tiene una clara explicación y ejemplificación, de lo que se debe incluir, considerar e interpretar para su correcta ponderación.

En resumen:

Se dispone de una lista de 70 ítems, (que han sido listados en las páginas precedentes) que definen y caracterizan un proyecto industrial, los que deben ser evaluados y ponderados para obtener el índice que mide el grado de completitud y madurez del grado de desarrollo alcanzado por el proyecto. El puntaje que recibe cada elemento depende del nivel de desarrollo y precisión que ha alcanzado y está definido en una escala que va desde 0 hasta 5. Donde, 0 significa que no aplica, 1 significa que está completamente definido, y el valor 5, indica que está incompleto o pobremente definido. Los valores intermedios pretenden medir o cuantificar, el grado de mayor definición, trabajo o esfuerzo, requeridos para alcanzar un desarrollo satisfactorio, existiendo descripciones que ayudan al proceso de evaluación, el cual se efectúa en un Taller, como se explica más adelante.

Cabe destacar que no todos los ítems, o elementos de la evaluación, tienen la misma ponderación. Lo que es comprensible, puesto que, por ejemplo, una pobre definición en el P&ID es mucho más gravitante que en el listado de líneas. Las ponderaciones relativas de los diferentes ítems/elementos fueron determinadas mediante encuestas realizadas a expertos de la industria. Las ponderaciones asignadas a los diferentes ítems a evaluar en las Bases de Diseño, que se muestran en la tabla de la página siguiente, reflejan claramente lo señalado.

Paradojalmente, pero correctamente, algunas de las mayores ponderaciones corresponden a elementos que tienen relación con requisitos propios del proyecto en cuestión, como, por ejemplo, con el sitio de emplazamiento, o con estrategias y datos fundamentales para el desarrollo del proyecto, y no tanto con elementos propios del diseño. La razón es que, rara vez un proyecto fracasa por causa de diseños de ingeniería deficientes, pero si existen muchos casos de fracasos donde se escogió, o diseñó, la solución incorrecta, o porque la geotecnia del sitio resultó ser diferente a la prevista, o el emplazamiento del proyecto no era el adecuado para los fines perseguidos.

¿Cómo se determina el valor del Índice PDRI?

El índice PDRI se determina en un Taller de evaluación, donde en general deben participar al menos, las siguientes personas:

- El Gerente o Jefe del Proyecto
- Los Jefes de Disciplina y los ingenieros de Control del Proyecto y de apoyo
- El equipo gestor del proyecto del dueño y su equipo.
- Consultores y especialistas de ambos equipos
- Personal clave en las operaciones del dueño
- Equipo de apoyo y mantenimiento del dueño (Seguridad, Medioambiente, logística, QA/QC, Compras)
- Contratistas, y proveedores (“vendors”) principales, en lo posible.

Lo deseable es que todos los participantes lleguen al Taller con una adecuada preparación y buen conocimiento del proyecto.

El taller debe ser dirigido por un moderador que posea un cabal conocimiento del proyecto y una adecuada experiencia en la dirección y desarrollo de proyectos similares. Aunque algunas empresas que utilizan esta metodología sugieren que se utilice un moderador, con experiencia en grandes proyectos, pero que sea externo al proyecto.

Las puntuaciones de cada ítem se determinan durante el Taller y por consenso. Para ello se emplean Tablas de Ponderaciones, específicamente desarrolladas por un panel de expertos convocado por el C.I.I.

A modo de ejemplo, se incluye a continuación la **Tabla de ponderaciones desarrollada para la Sección II, Bases de Diseño**, de proyectos industriales. En esta tabla es posible apreciar que hay claras diferencias de puntuaciones posibles, entre algunas de las variables.

Así como también, como los menores grados de definición son fuertemente castigados con puntuaciones más altas.

TABLA DE PONDERACIONES PARA LA SECCIÓN II. BASES DE DISEÑO

Sección 2 - Base de Datos							
Categoría	Nivel de Definición						Puntaje
Elemento	0	1	2	3	4	5	
F. Información del Sitio (puntaje máximo = 104)							
F1. Ubicación	0	2	10	18	26	32	
F2. Topografía y Ensayos de Suelos	0	1	4	7	10	13	
F3. Evaluación Ambiental Preliminar	0	2	5	10	15	21	
F4. Permisos Requeridos	0	1	3	5	9	12	
F5. Suministro de Servicios de Util. Pública	0	1	4	8	12	18	
F6. Protec. de Incendio y Condic. de Seguridad	0	1	2	4	5	8	
Total Categoría F =							
G. Mecánica/Procesos (puntaje máximo = 196)							
G1. Diagramas de Flujo de Procesos	0	2	8	17	26	36	
G2. Balances de Materiales y Calor	0	1	5	10	17	23	
G3. P&ID's	0	2	8	15	23	31	
G4. Administración de Seguridad de Procesos	0	1	2	4	6	8	
G5. Diagramas de Flujo de Utilities	0	1	3	6	9	12	
G6. Especificaciones	0	1	4	8	12	17	
G7. Requisitos de los Sistemas de Piping	0	1	2	4	6	8	
G8. Plano Disposición General (Plot Plan)	0	1	4	8	13	17	
G9. Listado de Equipos Mecánicos	0	1	4	9	13	18	
G10. Listado de Líneas	0	1	2	4	6	8	
G11. Listado de Tie-in	0	1	2	3	4	6	
G12. Listado de Piezas Especiales Piping	0	1	1	2	3	4	
G13. Índice de Instrumentos	0	1	2	4	5	8	
Total Categoría G =							
H. Alcance del Equipamiento							
H1. Status de los Equipos	0	1	4	8	12	16	
H2. Planos de Ubicación de Equipos	0	1	2	5	7	10	
H3. Reqs. de Servicios de Utilidad para Equipos	0	1	2	3	5	7	
Total Categoría H =							
I. Civil, Estructural y Arquitectura							
I1. Requerimientos Civil/Estructural	0	1	3	6	9	12	
I2. Requerimientos Arquitectura	0	1	2	4	5	7	
Total Categoría I =							

NOTA: Traducida de la Tabla correspondiente del Apéndice B, del Documento Project Definition Rating Index, Implementation Resource 113-2, Second edition. Construction Industry Institute, University of Texas at Austin, 2006.

Significado del Índice PDRI

El resultado de la evaluación de un proyecto, bajo esta metodología, puede variar entre 70 puntos (completamente definido) y 1000 (absolutamente incompleto)¹³.

Un bajo PDRI significa haber alcanzado una buena definición, completitud y madurez en el desarrollo del proyecto y de los componentes del proyecto. Por el contrario, un valor alto significa que falta definición, desarrollo, trabajo y precisión. En particular, en los ítems mal evaluados, con ponderaciones sobre 2.

Así, un proyecto evaluado en la etapa final de la fase de Pre-inversión (FEL 3, o factibilidad), previo a su aprobación para inversión, idealmente debiese ponderar entre 150 y 250 puntos, con un objetivo de 200 puntos o menor.

Con ponderaciones por sobre este rango, el desarrollo y completitud del proyecto evaluado tiene deficiencias, las que darán origen a dificultades de variada índole, durante las fases siguientes.

Ahora bien, es importante tener presente que el disponer de un indicador como el PDRI, al término de la etapa de pre-inversión, no será de gran valor si no se adoptan las determinaciones correctas para disminuir las incertidumbres y los riesgos del proyecto, basadas en el resultado de los análisis desarrollados.

También es importante reiterar que este ejercicio, como ya se ha señalado, puede y debería ser realizado al término de cada etapa del proceso preinversional. Esto es, una vez concluidas las etapas: FEL-1, FEL-2 y FEL-3, incluso, si se estima prudente o necesario, más de una vez dentro del desarrollo del FEL-3, o etapa de factibilidad.

A1.2. PDRI PARA PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA/OBRAS CIVILES

Para esta tipología de proyectos, el procedimiento contempla las mismas tres secciones principales, pero obviamente hay diferencias en las definiciones, en el número de categorías y en las definiciones y número de los ítems a evaluar. Y también, de sus ponderaciones.

- Bases para la Decisión del Proyecto: 3 categorías y 18 ítems
- Bases de Diseño: 4 categorías y 32 ítems
- Forma de Ejecución: 4 categorías y 14 ítems
- Con un total de 64 ítems a evaluar.

El proceso de evaluación es completamente similar al ya explicado para los proyectos industriales. Sólo varían algunos de los ítems y las ponderaciones para ellos, las que también fueron definidas por un grupo de expertos, convocados especialmente.

¹³ Recuerde que no todos los ítems evaluados ponderan igual, todos poseen diferentes valores como se aprecia en la tabla mostrada.

ANEXO N° 2

Otras herramientas desarrolladas por el CII para el aseguramiento de la Calidad en las Ingenierías de detalle

A2.1. INTRODUCCIÓN

En este breve anexo se describe, de manera resumida, las herramientas y recomendaciones que ha propuesto el *Construction Industry Institute*, para conseguir mejoras significativas en la calidad de las ingenierías de detalle de un proyecto.

El resumen está basado en el documento: *Research Report 320-11, Definition and Measurement of Engineering/Design Deliverable Quality, Dec 2016, C.I.I. y en el informe complementario para aplicaciones. Tools for Enhancing the Quality of Problematic Design Deliverables, Implementation Resource 320-2. Construction Industry Institute. The University of Texas at Austin, December 2016.*

El objetivo de la investigación presentada en el citado informe, y que dio origen a las propuestas para mejoras en la calidad de los diseños para construcción, expresa:

Desarrollar una metodología para medir la calidad de los entregables (planos y especificaciones) de la ingeniería para construcción, que pueda ser utilizada por todos los participantes de un proyecto, i.e., los ingenieros y diseñadores, el dueño, los contratistas y los proveedores de equipos.

En particular el estudio analizó y ponderó:

- la completitud y corrección de planos y especificaciones para construcción.
- los errores de diseño y las omisiones.
- el comportamiento de los diseños en cuanto a la construcción, al comisionamiento¹⁴ y puesta en marcha y en particular, la constructibilidad y la mantenibilidad.

A2.2. METODOLOGÍA Y ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN DESARROLLADA

Basado en los resultados de trabajos previos desarrollados por el CII y una extensa revisión de la literatura sobre el tema, se identificaron los paquetes de entregables (planos y especificaciones) típicos, o más comunes, que se generan en las ingenierías de detalles de proyectos industriales. Cabe señalar que una revisión de ese listado muestra que comprende prácticamente todos los entregables necesarios para construir y poner en marcha un complejo proyecto industrial.

A continuación de su elaboración, la lista fue sometida a una encuesta entre un número importante y controlado de contratistas y dueños de proyectos, todos con amplia experiencia, para determinar la frecuencia relativa de los distintos defectos de ingeniería y diseño, usualmente encontrados en los paquetes de entregables. Mediante un cruce de los resultados de las encuestas, tanto de contratistas como de dueños de proyectos, se determinó aquellos

¹⁴ Comisionamiento/commissioning. Se refiere al proceso sistemático de verificación, prueba y documentación de todos los sistemas y componentes de una instalación, asegurando que esta funcione conforme a lo proyectado y cumpla con los requisitos operacionales y de seguridad.

entregables más problemáticos. Estos entregables, catalogados como los más problemáticos, resultaron ser un total de 11. Los que se enumeran a continuación:

1. Validación del informe de Factibilidad (FEL 3).
2. Programa Base del Proyecto.
3. Datos de Constructibilidad.
4. P&ID's.
5. Especificaciones de los Equipos principales y sus hojas de datos.
6. Datos de Mantenibilidad.
7. Datos Certificados de Vendors.
8. BIM 3D y Revisiones 3D.
9. Ruteos de Cañerías e Isométricos.
10. Plataformas para estanques y otros.
11. Misceláneos y soportes.

A continuación, mediante otra encuesta, se determinó un universo de 798 defectos, encontrados en los 11 entregables más problemáticos. Los que luego de ser analizados bajo distintos prismas, fueron agrupados y consolidados, por el equipo investigador, en un total de 145 defectos, considerados como los más recurrentes y gravitantes.

El proceso continuó con la refinación del análisis, evaluando la frecuencia relativa de los defectos y la severidad relativa de su impacto en costos y plazos. El resultado de este proceso iterativo permitió identificar los 73 defectos más significativos. Luego el equipo procedió a analizar en detalle estos 73 defectos, para determinar con mayor precisión, el tipo de defecto, el tipo de impacto que genera, así como su relativa frecuencia, la severidad del impacto que produce y sus factores causales (esto último utilizando la técnica de “los 5 por qué”).

Basado en esta extensa investigación y sus procesos estadísticos, se propuso la siguiente metodología.

A2.3. HERRAMIENTAS PROPUESTAS POR EL CII PARA ASEGURAR LA COMPLETITUD Y CALIDAD DE LOS ENTREGABLES EN LAS INGENIERÍAS DE DETALLES

Basado en los resultados de la investigación brevemente relatada, el equipo de investigadores elaboró dos procedimientos o herramientas (tools) que han sido estructuradas en sendas planillas Excel interactivas, cuyo empleo permite ir evaluando la calidad y completitud de los entregables, a medida que se progresa en la ingeniería de detalles.

Estas herramientas son:

Design Deliverable Quality Assessment Tool (DDQA) (Herramienta para la Evaluación de la Calidad de los entregables)

El DDQA es una herramienta que permite evaluar el nivel de calidad alcanzado en los entregables y detectar errores y falencias. Su aplicación debe hacerse de manera sistemática, al alcanzar determinados grados de avance en los diseños de cada uno de los paquetes de entregables (Planos y Especificaciones). Los hitos para su aplicación se han determinado y están definidos en una tabla para los 11 paquetes de entregables más problemáticos.

Así, por ejemplo, todo lo referente a los P&ID debe estar definido y completado al 30% de avance de la ingeniería de detalles y se le aplicarán las dos herramientas en ese momento, para verificar su calidad y completitud.

La herramienta utiliza preguntas sobre métricas pre-definidas para cada uno de los 73 defectos más significativos, en los 11 entregables problemáticos.

El DDQA calcula luego el Design Quality Index (DQI), basado en las respuestas ingresadas por los evaluadores a la planilla Excel. Las posibles respuestas son: SI=1.0; NO= 0.0, y N/A; que no se considera. Y con ello el Índice DQI variará entre 0.0 y 1.0.

Valores del DQI iguales o superiores a 0.95 se estiman aceptables, bajo ese rango se requiere revisiones y/o correcciones. No obstante, es importante tener presente que el predictor DQI, no es absoluto.

Este índice, en conjunto con las respuestas NO, permite advertir o evidenciar las potenciales deficiencias de diseño y los defectos de la ingeniería. Adicionalmente, el DDQA entrega información sobre otros potenciales defectos de diseño y las posibles acciones correctivas.

Los resultados de la aplicación de la herramienta en un determinado Hito, durante el desarrollo de la ingeniería de detalles, pueden ser guardados y luego comparados con una aplicación o evaluación posterior, revelando así las mejoras tenidas con el avance de la ingeniería y las revisiones practicadas.

Completeness of Design Deliverables Check List Tool (CDDC) (Compleitud de los entregables)

Esta herramienta permite evaluar el nivel de completitud de los diseños y antecedentes, alcanzado en cada uno de los 11 paquetes de entregables más problemáticos. Para ello se utiliza un listado de chequeo, pre-determinado, de 266 ítems, que corresponden a: datos, cálculos, diseños u otra información que deben estar contenidos, o ser parte de los 11 entregables problemáticos. Las respuestas a cada ítem de chequeo a ingresar en la planilla Excel es: Si=1.0; NO=0.0; o bien N/A.

Con estos datos se calcula el Índice de Completitud de cada paquete o conjunto de entregables (el que variará entre 0.0 y 1.0) y la planilla Excel resultante, junto con el grado de completitud alcanzado, también proporciona una lista con los ítems incompletos del paquete.

La herramienta permite guardar los resultados de la evaluación para ser comparados con una siguiente medición, y así comprobar el progreso experimentado en la complementación de los antecedentes del proyecto, entre ambas mediciones.

Estas verificaciones deben ir siendo aplicadas, durante el desarrollo de la ingeniería de detalles, en la medida y oportunidad que la experiencia señala, que ciertas etapas o grupos de definiciones y entregables deben estar completas, para no retrasar plazos intermedios y los finales del proyecto, ni la **calidad de la ingeniería**.

Para guiar la aplicación de estas verificaciones, se recomienda que ellas se hagan antes o en los momentos definidos en la siguiente Tabla (Fuente: CII Report 320-11, 2016)

PLAZO RECOMENDADO PARA COMPLETAR LOS ENTREGABLES

N°	Entregable	Progreso en el diseño %				
		V Fact	30	60	90	EPC
1	Validación del FEL3	X				
2	Programa Base nivel 3	X				
3	Datos de Constructibilidad	X	X			
4	P&ID's		X			
5	Especificaciones de Equipos y Data Sh.		X	X		
6	Datos de Mantenibilidad		X	X		
7	Datos Certificados de Vendors			X	X	
8	BIM3D y Revisiones 3D			X	X	
9	Ruteo de Piping e Isométricos			X	X	
10	Plataformas para estanques y otros...			X	X	
11	Misceláneos y soportes				X	

Fuente: CII Report 320-11, 2016.

A2.4. COMENTARIOS

La aplicación de estas herramientas (DDQA y CDDC) debe ser realizada bajo la supervisión del Director de Calidad de la compañía. La responsabilidad de su correcta y oportuna aplicación debe residir en el Gerente de Proyecto o su equivalente. Los jefes de Disciplina junto al Jefe de Ingeniería, serán los encargados de su aplicación práctica. En este ejercicio pueden y deben participar también, cuando corresponda, gerentes de construcción, de operación, de mantenimiento y cualquier otro experto que se estime necesario, para una eficaz y completa evaluación.

Cabe hacer presente que una aplicación correcta y eficaz de estas herramientas requiere de un conocimiento y entrenamiento previo en su uso.

Por otra parte, las herramientas descritas constituyen excelentes indicadores y una gran ayuda para asegurar un adecuado estándar de **calidad de la ingeniería**, pero sus resultados, que dependerán de los datos y respuestas proporcionadas por los especialistas que participen, deben ser evaluados, ponderados y administrados por profesionales con experiencia, quienes arbitrarán las medidas que resulten ser necesarias y adecuadas de aplicar, para alcanzar los niveles de calidad y completitud esperados.

REFERENCIAS

1. “Factores Condicionantes del Éxito en Proyectos de Inversión”, Instituto de Ingenieros de Chile, 2012.
2. Juran, J.M., “Juran on Quality by Design”. The Free Press, New York, 1991.
3. Love, P.E.D., Lopez, R., Edwards, D., and Goh, Y.M., “Error begat error: Design error analysis and prevention in social infrastructure projects”, *Accident Analysis Prevention* 48, (2012)
4. Tilley, P.A., McFallan, S.L., and Tucker, S.N., “Design and Documentation Quality and its Impact on the Construction Process”, CIB W55&W56 Joint Triennial Symposium, Cape Town (1999)
5. Love, P.E.D, Lopez, R., Goh, Y.M., and Davis, P.R., “Systemic Modelling of Design Error Causation in Social Infrastructure Projects”, *Procedia Engineering*, 14 (2011)
6. Love, P.E.D, Li, H., and Mandal, P., “Rework, a symptom of a dysfunctional supply chain”, *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 5, (1999)
7. Akampurira, E. and Windapo, A., “Key Quality Attributes of Design Documentation: South African Perspective”, *Journal of Engineering Design and Technology*, (2019)
8. Andi and Minato, T., “Design Document Quality in the Japanese construction Industry: Factors influencing and Impacts on Construction Process”, *Int. Journal of Project Management*, Vol 21, N°7 (2003)
9. Andi and Minato, T., “Representing causal mechanism of defective designs: exploration through case studies”, *Construction Management and Economics* N°22, (2004)
10. Tuhacek, M. and Svoboda, P., “Quality of project documentation”, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* (2019)
11. Akampurira, E. and Windapo, A., “Factors Influencing the Quality of Design Documentation in South African Civil Engineering Projects”, *Journal of the South African Institution of Civil Engineering*, Vol 60,N°3, Sept. 2018.
12. Love, P.E.D., Edwards, D.J., Irani, Z. “An Exploratory Examination of the Causal Behavior of Design Induced Rework”, *IEEE Transactions on Engineering Management*. Vol 55, N°2, May 2008.
13. Lopez, R. and Love, P.E.D., “Design Error Costs in Construction Projects”, *Journal of Construction Engineering and Management*, ASCE, May 2012.
14. Agbaxode, P, Dlamini, S. and Saghatforoush, E., “Design Documentation Quality Influential Variables in the Construction Sector”, the ASOCSA 14th Built Environment Conference. *IOP, Conf. Series: Earth and Environment Science* 654, 2021.
15. Love, P.E.D., Edwards, D.J., Irani,Z. and Derek,H.T.W., “Project Pathogens: The Anatomy of Omission Errors in Construction and Resource Engineering Projects”, *IEEE Transactions on Engineering Management*, Vol 56, N°3, August 2009.
16. “Mining for Value: Industry Leaders Disclose Lessons learned from the Super cycle”, Spencer Stuart and Centro de Estudios del Cobre (CESCO), 2018.

17. O'Connor, J. and Woo, J., "Study of Engineering/Design Deliverable Quality", Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, Research Report 320-11, December 2016.
18. "Estudio Productividad en el Sector Construcción", Informe de la Comisión Nacional de Evaluación y Productividad, Chile, Octubre, 2020.
19. Gibson, G.E. and Dumont, P.R., "Project Definition Rating Index (PDRI)", Research Report 113-11, Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, June 1996.
20. Project Definition Rating Index, Industrial Projects, Implementation Resource 113-2, Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, July 1996.
21. Project Definition Rating Index, Industrial Projects. 2nd Edition, Construction Industry Institute. The University of Texas at Austin, 2006.
22. Kirkman, P., Creating a Project Definition Rating, <http://pkirkman.github.io/pyrus/basis-for-project-definition-rating>.
23. Tools for Enhancing the Quality of Problematic Design Deliverables, Implementation Resource 320-2. Construction Industry Institute, The University of Texas at Austin, December 2016.
24. "Best Practices in Quality Control and Assurance in Design", NCHRP Project 20-68A, July 2011.
25. "Quality Assurance in Design-Build Projects", A Synthesis of Highway Practice, Transportation Research Board, 2008.
26. "Quality Assurance for Structural Engineering Firms", by Clifford Schwinger. American Institute of Steel Construction. (AISC) 2008/03 y Structure Magazine, June 2009.
27. <https://kaizen.com/es/insights-es/comisionado-proyectos-capital/>

INSTITUTO DE INGENIEROS DE CHILE

Empresas Socias

AGUAS ANDINAS S.A.

ALSTOM CHILE S.A.

ANGLO AMERICAN CHILE LTDA.

ANTOFAGASTA MINERALS S.A.

ASOCIACIÓN DE CANALISTAS SOCIEDAD DEL CANAL DE MAIPO

BESALCO S.A.

CÍA. DE PETRÓLEOS DE CHILE COPEC S.A.

COLBÚN S.A.

CyD INGENIERÍA LTDA.

EMPRESA CONSTRUCTORA BELFI S.A.

GUZMÁN Y LARRAÍN VIVIENDAS ECONÓMICAS SpA

EMPRESA CONSTRUCTORA PRECON S.A.

EMPRESA NACIONAL DE TELECOMUNICACIONES S.A.

EMPRESAS CMPC S.A.

ENAEX S.A.

INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN SIGDO KOPPERS S.A.

SOCIEDAD QUÍMICA Y MINERA DE CHILE S.A.

EMPRESAS DE INGENIERÍA COLABORADORAS

ACTIC CONSULTORES LTDA.

ARCADIS CHILE S.A.

IEC INGENIERÍA S.A.

JRI INGENIERÍA S.A.

LEN Y ASOCIADOS INGENIEROS CONSULTORES LTDA.

SYNEX CONSULTORES LTDA.

ZAÑARTU INGENIEROS CONSULTORES LTDA.



INSTITUTO DE INGENIEROS
C H I L E



Nuestros canales digitales:

Sitio web: www.iing.cl

Linkedin: <https://www.linkedin.com/company/64274333/admin/>

E-mail: iing@iing.cl · secretaria@institutodeingenierosdechile.cl

Nuestros teléfonos:

(+56) 22696 8647 · (+56) 93736 0656