



Universidad Nacional Autónoma de México
Posgrado en Ciencias de la Administración
Facultad de Química

La Constructabilidad en los Proyectos Industriales

Trabajo Escrito Profesional

Que para optar por el grado de:

Maestro en Administración / Administración Industrial

Presenta:

Luis Gerardo Becerra Nava

Tutor:

M.A.I. Arturo Rubén Valles Terrazas
Facultad de Química

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Octubre 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Dedicatorias

Con todo mi amor a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias mamá, gracias papá, por creer en mí, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por haberme hecho una persona de bien, pero más que nada, por su amor.

Claudia, amor mío, quiero darte las gracias por tu amor, por apoyarme, por tu confianza, por creer en mí, por exigirme y por ser la compañera de vida que Dios ha puesto en mi camino. Te dedico este trabajo como signo de mi admiración y mi respeto para una persona profesional y perseverante, de la cual he aprendido y has dejado huella en mí. Gracias amor mío, Te Amo.

A mis hijos Paola y Gerardo, fruto de un amor inmenso, por ser la razón de mí existir, por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más, gracias por todo su apoyo, pero sobre todo gracias por haber llegado a mi vida, los amo mis enanos.

A mis hermanos Jaime, José Antonio, Héctor Hugo, Alejandro Francisco y Moisés Arturo, les dedico este trabajo con amor, afecto y cariño; recuerden que siempre los tengo en mi pensamiento, a todos, gracias.



A mis niños que son la alegría de casa; Alejandro, Arturo, Cano, Alan, Axel, Daniela, Andrea, Camila, Romina, Nicolás, Tania, Jair, Abril y Sofía, gracias mis niños por sus sonrisas y su amor.

Y de manera muy especial a un ser maravilloso que siempre creyó en mí y que siempre me apoyo incondicionalmente en todo momento, gracias por cuidarme, por apoyarme, por guiarme y por quererme tanto, donde quiera que te encuentres sé que siempre cuidarás de nosotros, gracias por todo abuelita Lulu†



Agradecimientos

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr uno más de mis objetivos, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, además de su infinita bondad y amor.

A mi querida Universidad Nacional Autónoma de México y en especial a la Facultad de Química que me dieron la oportunidad de formar parte de ellas.

A mi tutor M.A.I. Arturo Valles Terrazas por su apoyo para la realización de este trabajo.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional a las que me encantaría agradecerles su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía. Algunas siguen aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO I.....	10
1.1 Antecedentes de la Constructabilidad.....	10
CAPÍTULO II.....	21
2.1 La Constructabilidad.....	21
2.2 Objetivos de la Constructabilidad.....	23
2.3 Beneficios de la Constructabilidad.....	26
2.4 Características de los proyectos que utilizan la Constructabilidad.....	30
CAPÍTULO III.....	31
3.1 Principios de la Constructabilidad.....	31
3.1.1 Etapa de la planeación conceptual	32
3.1.2 Etapa de diseño y procuración.....	37
3.1.3 Etapa de construcción	42
CAPÍTULO IV	43
4.1 Barreras de la Constructabilidad	43
4.1.1 Participación temprana del personal de construcción	43
4.1.2 Utilización de programas de proyecto con el proceso de construcción	44
4.1.3 Modulación y pre-ensamblaje.....	45



4.1.4 Estandarización	46
4.1.5 Los diseños permiten una construcción eficiente	46
4.1.6 El uso de métodos de construcción innovadores	47
4.1.7 Tecnología computacional avanzada	48
4.2 Rompedores de barreras	51
4.3 La Constructabilidad y el grupo de trabajo	53
CAPÍTULO V	54
5.1 Programa de la Constructabilidad	54
5.2 Enfoque de los programas de Constructabilidad	58
5.3 Evaluación del programa de Constructabilidad.....	59
CAPÍTULO VI	61
6.1 Implementación de la Constructabilidad.....	61
6.2 Factores que dificultan la implementación de la Constructabilidad.....	62
6.2.1 Relacionados con la administración del proyecto	63
6.2.2 Relacionados con los empleados	64
6.2.3 Relacionada con las relaciones y comunicaciones.....	64
6.2.4 Relacionado con el conocimiento y la experiencia	64
6.2.5 Relacionada con el proceso de ejecución del proyecto	64
6.2.6 Relacionado con la naturaleza del proyecto	65



6.2.7	Relacionadas con cuestiones financieras.....	65
6.2.8	Relacionadas con cuestiones políticas	65
6.2.9	Relacionada con otros asuntos diversos.....	65
6.3	Guía de implementación de la Constructabilidad.....	65
6.4	Plan de trabajo para implementar un programa de Constructabilidad.....	69
6.4.1	Programa de Constructabilidad a nivel corporativo.....	69
6.4.2	Programa de Constructabilidad a nivel de proyecto	79
6.4.3	Actualización periódica del programa corporativo	108
CAPÍTULO VII		111
7.1	Temas de Constructabilidad de alto impacto.....	111
7.1.1	Seguridad en el diseño y en la ejecución.....	111
7.1.2	Aportación temprana de información, minimiza revisiones	112
7.1.3	Mejora de la productividad en sitio.....	112
7.1.4	Trabajar con mayor inteligencia en lugar de más duro.....	113
7.1.5	Modularización y pre-ensamble	113
7.1.6	Minimizar el alcance de las plantas en operación	113
7.1.7	Terminación y entrega de sistemas	114
7.1.8	Minimizar las excavaciones.....	114
7.1.9	Estandarizar los materiales y los detalles de fabricación.....	115



7.1.10 Sistemas automatizados para la comunicación	115
CAPÍTULO VIII	117
8.1 Casos de éxito	117
8.2 Planta hidrodesulfuradora de diesel.....	118
8.2.1 Antecedentes	118
8.2.2 Malla de ingeniería de acero.....	119
8.2.3 Excavaciones para las cimentaciones en el rack	124
8.2.4 Modularización de los puentes del rack de tuberías	131
8.3 Estación de regulación y monitoreo	138
8.3.1 Antecedentes	138
8.3.2 Terracerías para la formación de plataformas	138
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	147
BIBLIOGRAFÍA	153



INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción hoy en día es uno de los motores de nuestra economía y siempre está innovando e incorporando nuevos sistemas y herramientas para buscar mejorar en sus diversas áreas de trabajo, ya sea en productividad, calidad, eficiencia y rentabilidad; sin embargo tiene serios problemas, tales como retrasos, re-trabajos, incompatibilidad entre documentos, entrega tardía de equipos y/o materiales. Varios de estos problemas se deben muchas veces a la falta de integración que existe en las etapas de planeación, diseño, adquisiciones, construcción, pruebas, arranque y puesta en operación de un proyecto.

La industria de la construcción no ha quedado excluida de la realidad actual: la globalización, la competencia entre empresas regionales, nacionales e internacionales, de la comparación del desempeño, de la expansión de los mercados y de las actividades económicas mundiales, es por ello que los distintos profesionales que laboran en las áreas del proyecto de la construcción, las empresas y las organizaciones deben enfrentarse a continuos cambios y desafíos para lograr mejores resultados. Para lograr mayor éxito en los proyectos, las organizaciones deben adaptarse a los cambios y pautas del mercado, adaptarse a los nuevos conocimientos, tecnologías y métodos que le ofrezcan una optimización de sus procesos con la meta de aumentar la productividad y un mejoramiento sustancial y continuo en la administración de la construcción.

Debido al permanente cambio que está sufriendo la industria de la construcción, es necesario empezar a implementar herramientas que permitan el desarrollo óptimo en cuanto a diseño y construcción, pues día a día se desarrollan proyectos mucho más complejos y es imprescindible contar con herramientas que permitan optimizar la utilización de recursos a través de actividades de planeación y planificación de estrategias que ayuden a alcanzar las metas proyectadas en cuanto a costo, mano de obra, tiempo de ejecución, reducción en accidentes, construcción con calidad, utilización de material con poco desperdicio y uso de herramientas y maquinaria.



Las más grandes oportunidades de mejorar la productividad de una obra, no se dan durante la etapa de construcción, es un primer paradigma que debemos de romper; estas oportunidades se dan mucho antes, se dan en la etapa de diseño; que es donde quedan definidos hasta el 70% de los costos de un proyecto; en la etapa de planificación y más importante aún en las etapas de anteproyecto y factibilidad.

En el mundo ideal, un proyecto de construcción debe ser diseñado y construido de manera integrada, Ahuja, et al. (1994) y Gao, et al. (2006), han señalado que lo ideal sería que el contratista del área de construcción participe desde las etapas tempranas del proyecto, ya que la construcción es un proceso muy complejo y resultaría conveniente aprovechar el conocimiento y la experiencia de los constructores en el ahorro de costos y tiempos de ejecución, que es el resultado de una cuidadosa interacción de la planeación, el diseño y la ingeniería con la construcción.

En el transcurso de los años 70's, se empiezan a conocer nuevos conceptos que buscan mejorar la producción de la industria de la construcción, incorporando sistemas de integración entre las distintas etapas de un proyecto, para lograr unir al equipo de trabajo y lograr perseguir objetivos comunes, una de las maneras de obtener mejores resultados es integrando las partes que lo conforman. La Constructabilidad es una práctica que integra estas partes y se transforma en una de las herramientas más útiles para los dueños del proyecto. La Constructabilidad busca realizar planes de trabajo para cada una de las áreas de la construcción, para que logren ajustarse entre sí como un sistema de engranes, trabajando todas con un objetivo común, para finalmente alcanzar el resultado que se busca, disminuyendo tiempo, costo y lograr una mejor producción y utilidad.

El proceso de Constructabilidad ha sido estudiado por el CII (Construction Industry Institute) aproximadamente desde el año de 1984, y ha generado conceptos que aportan mejoras en todas las etapas de la gestión de proyectos constructivos, así como también una metodología para la implementación exitosa de la Constructabilidad en las empresas motivadas a hacerlo.



Como se muestra en muchos casos estudiados por el CII (Construction Industry Institute), al aplicar metódicamente la Constructabilidad, se recibe un retorno sustancial de la inversión sumando otras gratificaciones. En el año del 2006 el CII (Construction Industry Institute), tras una serie de comparaciones de distintas técnicas, coloca a la Constructabilidad en segundo lugar de acuerdo a la gestión de materiales e impacto positivo de acuerdo al tiempo y costos de construcción de un proyecto, solo por debajo de la gestión del cambio (CII, 2006).

La Constructabilidad se ejecuta en países desarrollados, contratándose a consultores privados para que revisen los diseños con una visión constructiva, buscando la factibilidad de realizarlos en el menor tiempo y costo.

Así mismo, cada proyecto debe ser elaborado bajo una política de calidad que permita cuantificar el comportamiento de la mano de obra, mejorar los procesos en las diferentes etapas de la construcción, utilizar el tiempo y recursos justos sin desperdicio, cumplir con el programa de la obra sin retrasos, integrar adecuadamente la procura, la ejecución de construcción, el uso de herramientas y maquinarias, los horarios y la mano de obra capacitada; y tener una mejor interrelación entre ingenieros, proveedores y constructores.

La Constructabilidad no es más que un programa de mejoramiento continuo en el área de la construcción y tiene como finalidad integrar el diseño con la construcción como tal, incorporando la experiencia y el conocimiento constructivo en etapas tempranas como la planificación y el diseño, haciendo más factible su ejecución, es decir hacer el proyecto mejor “construible”.

Independientemente de que la Constructabilidad no es un concepto nuevo y de que la literatura reporta que se obtienen beneficios al aplicarla, es un hecho de que existe un desconocimiento sobre su implementación en los proyectos industriales.



Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es difundir el concepto de Constructabilidad, resaltar los beneficios que se consiguen al implementar un programa de Constructabilidad en los proyectos y demostrar que se obtienen esos beneficios apoyándonos en los casos de éxito que se exponen en el capítulo ocho.

Este trabajo se divide en ocho capítulos de tal manera que se facilite la comprensión del concepto de Constructabilidad y los beneficios que se obtienen al implementarla.

En el primer capítulo se presenta una revisión completa de la literatura, cómo nace el término Constructabilidad así como su evolución a través de los años, hasta llegar a la definición de la Constructabilidad según el CII (Construction Industry Institute).

En el segundo capítulo se indican los objetivos y los beneficios que consiguen cuando usamos la Constructabilidad, así como las características que presentan los proyectos que la utilizan.

En el capítulo tres se describen los diecisiete principios desarrollados por el CII (Construction Industry Institute) en los cuales se basa la Constructabilidad, estos principios están divididos en las tres principales etapas del ciclo de vida de un proyecto; etapa de planificación la cual cuenta con ocho principios, etapa de diseño y procuración la cual presenta otros ocho principios y la etapa de construcción con un solo principio.

En el capítulo cuatro se muestran las barreras que se presentan cuando se pretende implementar un programa de Constructabilidad en los proyectos, un listado que proporciona una idea del porque surgen estas barreras y las recomendaciones para poder superarlas o mitigarlas con estrategias y/o planes de acción, llamados rompedores de barreras.

El capítulo cinco detalla las ventajas que se obtienen al contar con un programa de Constructabilidad, sus características, los tipos de programa que existen, el tipo de enfoque que se le pueda dar y los puntos clave para poder hacer una evaluación.



En el capítulo seis se describen los factores que dificultan la implementación de la Constructabilidad y un plan de trabajo con veinte herramientas para implementar un programa de Constructabilidad tanto a nivel corporativo como a nivel proyecto.

En el capítulo siete se presenta una lista de los objetivos y/o metas más comunes que se logran a través de un programa de Constructabilidad, estos objetivos y/o metas han logrado resaltar por su potencial impacto en los proyectos.

El capítulo ocho incluye cuatro casos de éxito de la Constructabilidad, aplicados a proyectos industriales demostrando que si se puede integrar el diseño con la construcción, incorporando la experiencia y el conocimiento constructivo en etapas tempranas del proyecto.

Por último se presentan las conclusiones y recomendaciones a las que se llegaron en base a la información obtenida y a los casos de éxito.



CAPÍTULO I

1.1 Antecedentes de la Constructabilidad

El diseño es la etapa de un proyecto de construcción en la que las ideas, deseos y necesidades del cliente son conceptualizados en un modelo físico que precisa las especificaciones del proyecto (Freire y Alarcón, 2002), Ahuja et al. (1994), Fayek y Sun (2001) señalan que es también en esta etapa cuando los cambios y modificaciones en un proyecto implican un menor esfuerzo e impacto en su costo, por lo que resulta de vital importancia dedicarle un tiempo suficiente a su desarrollo. Chua et al. (2003) señala que el éxito en la gestión del diseño es fundamental para la rentabilidad, la calidad y el tiempo de entrega de un proyecto.

La etapa de diseño interactúa con todas las otras etapas del ciclo de vida de un proyecto, pero es en la etapa de la construcción donde las deficiencias del diseño se comienzan a manifestar, dando esto lugar a diversas discrepancias entre estas dos etapas. En Latinoamérica se ha estimado que entre un 20% y un 25% de la duración total de la construcción se pierden debido a las deficiencias encontradas en el diseño (Undurraga, 1996).

Otro estudio sugiere que alrededor del 78% de los problemas con la calidad en la construcción están relacionados con el diseño (Koskela, 1992). En cuanto al costo, Josephson et al. (1996) identificó que los re trabajos causados por el diseño generan los principales sobrecostos del proyecto y estos a su vez pueden impactar la rentabilidad final del proyecto.

Dentro de la literatura se han reportado las quejas de los ingenieros de construcción; principalmente el personal que se encuentra en el sitio de trabajo, que tienen sobre los diseños que complican las tareas de construcción (Loyola, 2008), así como la mala calidad de los planos y detalles constructivos (Gao, et al. 2006).



Una de las posibles causas de esto es que, tal como lo ha manifestado Nuñez (2008), los diseñadores más experimentados se concentran en el diseño conceptual y dejan gran parte de la responsabilidad de especificar y revisar el diseño en manos de personas con muy poca experiencia en el proceso constructivo.

Por otra parte, el aumento en la complejidad y tecnología de los proyectos de construcción han hecho más segmentada y más interdependiente su realización, pues han dado lugar a una mayor especialización (Song y Chua, 2002). Hoy en día, la separación de las labores de administrar, diseñar, calcular, y construir han llegado al punto de convertirse en disciplinas distintas; tal es así, que el diseño actualmente se enfoca principalmente en la estética, configuración espacial, funcionalidad y seguridad estructural, mientras que se ha asumido que todas las responsabilidades del proceso constructivo le competen únicamente al personal de construcción (Loyola, 2008). Esta especialización sin duda ha significado un gran avance en términos de productividad y eficiencia, aunque resultaría conveniente utilizar el conocimiento y la experiencia de los constructores desde las etapas tempranas del proyecto (Ahuja, et al., 1994).

Al procurar la interacción de la planeación, el diseño y la ingeniería con la construcción, se aprovecharían oportunidades de ahorro significativos en el costo y tiempo de realización del proyecto (Tatum, et al., 1986), y se tendría una comunicación eficiente con los contratistas en la medida en que los diseñadores establecieran un flujo de trabajo apegado al proceso constructivo (Gao, et al., 2006).

La industria de la construcción siempre ha buscado nuevas formas para mejorar la capacidad constructiva, con una reducción de riesgos económicos, materiales, humanos, etc. o bien, reducción del tiempo de construcción del proyecto, para poder desarrollarse con integridad y lograr un mayor margen de ganancias, ya sean monetarias, de posicionamiento en el mercado o de experiencia profesional. La herramienta que nos ayuda a integrar todos estos conceptos es la Constructabilidad.



La Constructabilidad tiene sus orígenes ya hace muchos, muchos años; el Comité de Construcción y Administración de la ASCE (American Society of Civil Engineering) escribió en una de sus revistas, una leyenda sobre la Constructabilidad, cuenta que Hamid uno de los supervisores a cargo de la construcción de las Pirámides de Egipto, fue a protestar ante el faraón de que los bloques que llegaban para la construcción estaban mal diseñados, estaban muy grandes, que instalarlos en su posición final era muy difícil, que requería demasiados hombres y el tiempo de ejecución aumentaba considerablemente. También se quejó de que los bloques no venían en buena forma desde las canteras, en geometría y rugosidad de las caras, haciéndolos demasiado ásperos y con mucha dificultad para su colocación.

El faraón, como resultado de estas quejas, insistió en un programa de *“Constructabilidad”*. Trajo a Hamid a sentarse con los diseñadores y proveedores de los bloques para llegar a un acuerdo y conseguir una mayor factibilidad de trabajo para obtener una mayor producción total. Los diseñadores se vieron obligados a considerar las restricciones de aparejos y mano de obra y en consecuencia redujeron el tamaño de los bloques. La cantera tuvo que mejorar su control de calidad y el periodo de tiempo de distribución del material. En consecuencia a la molestia de Hamid, se creó un sistema de productividad que consiguió posteriormente acelerar la construcción de las pirámides en un 13.5 % y un ahorro de material de un 23.8 % (ASCE, 1991).

A mediados de los setentas del siglo pasado aparece en el Reino Unido el término Constructabilidad, el cual, a pesar de haber sido estudiado exhaustivamente por al menos una década, su potencial no fue explotado al máximo en ese entonces. El primer enfoque tomado por la CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) y otros investigadores en el Reino Unido, se consideró que los problemas con la Constructabilidad de los proyectos de construcción surgieron simplemente por la división entre los diseñadores y los constructores, lo cual llevó a los investigadores a enfocarse hacia los problemas técnicos como el diseño de detalle y la planeación de la construcción.



La discusión predominante en ese entonces se centraba sobre todo en la búsqueda de las causas de los problemas de la Constructabilidad y en encontrar a los responsables. La mayor parte de los expertos de la industria así como las investigaciones veían a la Constructabilidad como una función que está dentro de la influencia o control de los diseñadores.

El concepto “Constructabilidad” nace a través de la creación de la gestión integral que genera una serie de técnicas y disciplinas que tienen por objetivo facilitar y mejorar la industria de la construcción en todo ámbito. La Constructabilidad fue reconocida a nivel mundial a mediados de los años setenta, cuando apareció por primera vez en *“Construcción y Boletín de Tecnología”* y *“Constructabilidad-Funciona”* (Procter and Gamble, 1976 y 1977). Dos años más tarde, la NSF-ASCE (National Science Foundation - American Society of Civil Engineers) estudió e identificó a la Constructabilidad, como una necesidad de investigación específica para la ingeniería. El estudio señaló que faltaba una correcta comunicación entre ingenieros y constructores, siendo esta la causa para no lograr lo requerido, trayendo todas las consecuencias que la Constructabilidad busca solucionar.

En 1983, el CICE (Construction Industry Cost Effectiveness), realizó un estudio con el objetivo de promover la calidad, eficiencia, productividad y rentabilidad en la industria de la construcción. Uno de los objetivos es la integración de la Constructabilidad. En ese mismo año la CIRIA (Construction Industry Research and Information Association), cuya sede está en el Reino Unido y la cual es la encargada de la investigación basada en los miembros y la organización de la información, y está dedicada a la mejora en todos los aspectos de la industria de la construcción; definió a la Constructabilidad como *“La metodología que proporciona al diseño del edificio facilidad de construcción, estando sujeta a todos los requerimientos necesarios para llevarla a cabo.”* Esta es una relación entre el diseño y la construcción que reconoce la importancia que hay en la toma de decisiones en esta etapa.



Casi simultáneamente y desde entonces, la Universidad de Texas, creó el CII (Construction Industry Institute) como centro de coordinación de la investigación sobre nuevos métodos de gestión y técnicas para mejorar la industria de la construcción, creando programas de mejora de la Constructabilidad, trayendo beneficios que incluyen mejoras en la calidad y fiabilidad, así como ahorro de tiempo y costos. También propusieron una definición al concepto con un ámbito de aplicación mucho más amplio al que da la CIRIA (Construction Industry Research and Information Association); el CII (Construction Industry Institute) define a la Constructabilidad como “Un sistema para conseguir una óptima integración del conocimiento y la experiencia en la construcción, en la planeación, ingeniería, procura y operaciones en campo, con la finalidad de alcanzar los objetivos globales del proyecto”.

A través de los años el término Constructabilidad ha sido definido por muchas organizaciones a nivel mundial, así como por diversos autores que han investigado sobre el tema, algunas de estas definiciones, se presentan a continuación:

Glavinich (1995) indica que se refiere a la facilidad con la cual las materias primas de un proceso constructivo pueden ser combinadas por el constructor para completar el proyecto en una manera económica y breve.

El CIIA (Construction Industry Institute of Australia) la define como la integración del conocimiento de construcción en el proceso de gestación del proyecto equilibrando las restricciones ambientales (externas) y del proyecto (internas) para cumplir los objetivos y obtener un rendimiento de edificio de óptimo nivel (CIIA, 1996).

Jergeas y Van der Put (2001) dicen que la Constructabilidad se define como la habilidad de las condiciones del proyecto para permitir que se utilicen los recursos de manera óptima.

La BCA (Building Code of Australia) la define como la manera en la cual un diseño facilita su construcción (BCA, 2005).



D. McGeorge (2002) la define como una técnica de gestión de proyecto para revisar los procesos de construcción de principio a fin durante la etapa previa a la construcción. Sirve para identificar los obstáculos antes de que el proyecto esté construido para reducir o prevenir errores, retrasos y sobrecostos.

La AACE International (Association for the Advancement of Cost Engineering, 2009), la define como la integración de la experiencia en construcción en todas las etapas del proyecto para obtener beneficios en costos, programación, calidad y en los objetivos generales del proyecto. El uso exitoso de los conocimientos y la experiencia de la construcción aumenta la probabilidad de éxito del proyecto.

En general todos estos conceptos se centran en mejorar la productividad, enfocándose en todos los ámbitos a la planificación de un proyecto de construcción, ya sea en la programación de obras, en la adquisición de equipo y/o materiales, en la innovación tecnológica, etc.

En el presente trabajo nos enfocamos con la definición dada por el CII (Construction Industry Institute) debido a que varios autores la consideran la más completa y también porque es la que se encuentra referenciada en la mayoría de las fuentes consultadas sobre el tema, para el CII (Construction Industry Institute) la ***Constructabilidad es un sistema para conseguir una óptima integración del conocimiento y la experiencia en la construcción, en la planeación, ingeniería, procura y operaciones en campo, con la finalidad de alcanzar los objetivos globales del proyecto.***

Desde la formalización de la Constructabilidad, esta ha sido un proceso de trabajo en evolución. La Figura 1.1 presenta la evolución de los métodos utilizados en la industria de la construcción de EE.UU. que participan en la construcción durante las actividades del proyecto antes del inicio de la construcción (Gugel, 1992).

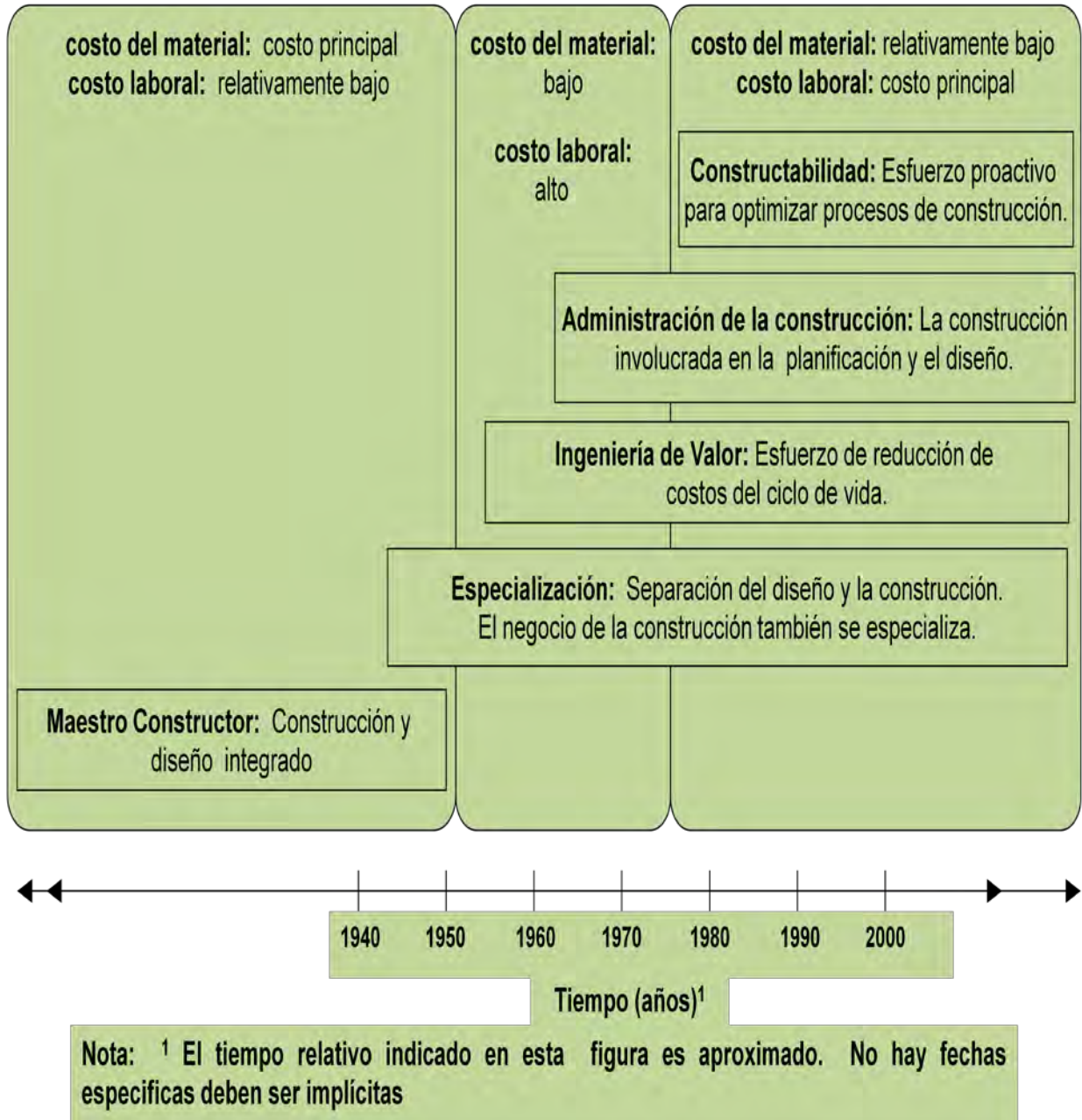


Figura 1.1. Evolución de acontecimientos que llevaron a formalizar la Constructabilidad.¹

¹ Evolution of Events Leading to Formalized Constructability, by Jeffrey S. Russell Associate Member ASCE, Kevin E. Swiggum, Jeffrey M. Shapiro and Achmad F. Alaydrus, 2002.



Los administradores fueron los responsables de todas las actividades del proyecto necesarias para planificar, diseñar y construir una instalación. Durante las etapas de planificación y diseño se centraron en el proyecto y consideraron que el impacto de las primeras decisiones realizadas en el proceso de construcción era importante.

En cierto sentido, el nivel de integración de diseño y construcción que lograron dentro de estas organizaciones sirve hoy como modelo para los programas de Constructabilidad. Los programas de Constructabilidad recientemente se han desarrollado en un intento de llevar el diseño y la construcción más cerca del nivel de integración.

El enfoque de la Constructabilidad de las empresas está basado en las investigaciones, recomendaciones y conclusiones publicadas por el CII (Construction Industry Institute) y en la implementación de la Constructabilidad en muchos proyectos alrededor del mundo. La Constructabilidad es un proceso cuyo objetivo principal es ocasionar un impacto en la etapa de construcción para mejorar los costos y programas de entrega globales del proyecto. Dentro de la organización además de este proceso se deben de adicionar conceptos de mantenimiento y operatividad, incluyendo la efectiva integración de las ideas y experiencias en construcción, mantenimiento y operación en los proyectos, dando como resultado una reducción de costos en el ciclo de vida de las instalaciones.

Este proceso es implementado a través del equipo del proyecto del cliente, el contratista de ingeniería y el de construcción (incluidos los proveedores y subcontratistas), quienes trabajan con metas en común para producir servicios de mejor calidad para el cliente, disminuir los costos y entregar instalaciones seguras en el tiempo estipulado.



El CII (Construction Industry Institute) ha documentado las ventajas del uso de la Constructabilidad cuando se aplica en la fase temprana de los proyectos. En la figura 1.2 se ilustra la importancia de la Constructabilidad en las etapas tempranas del proyecto.

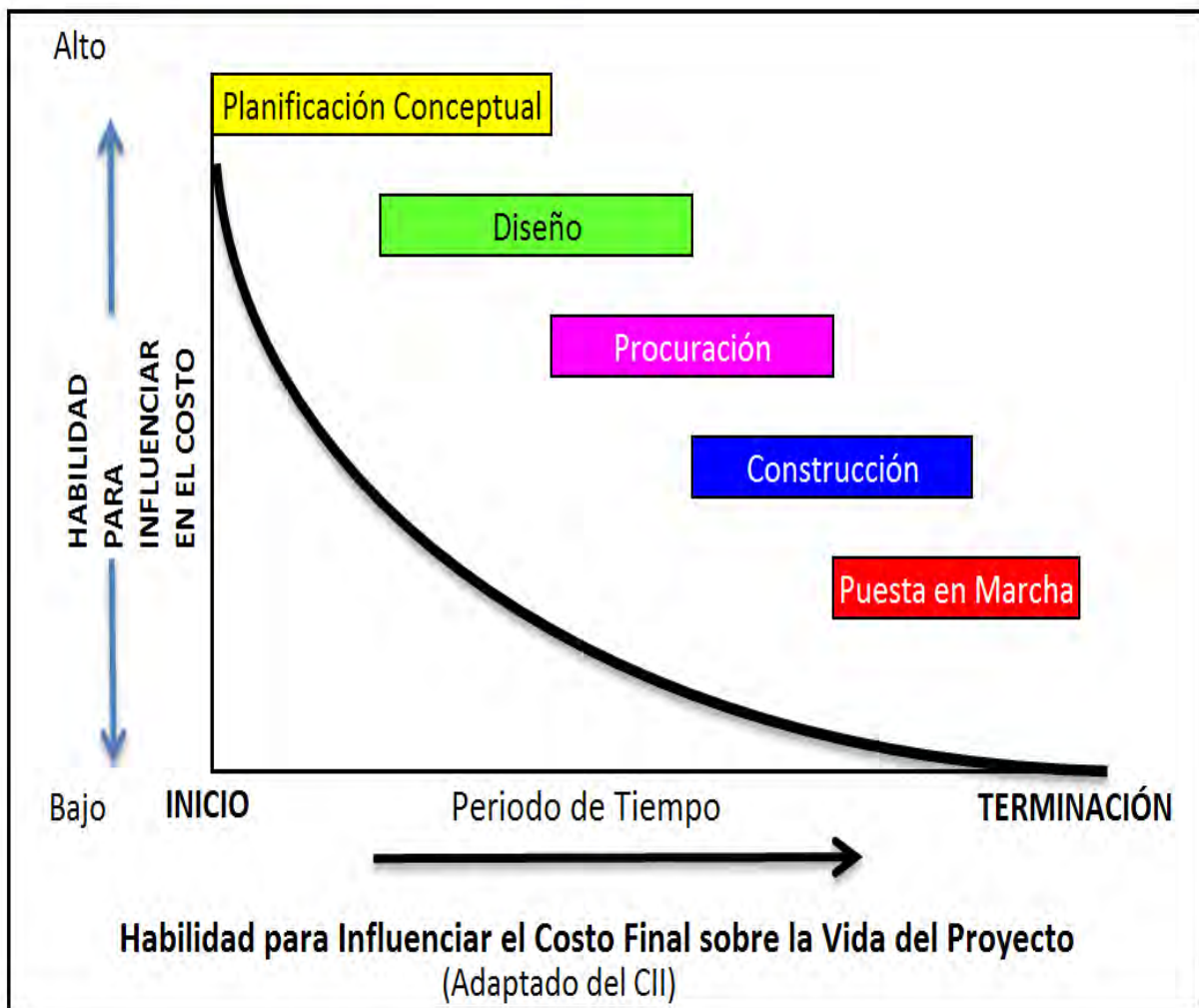


Figura 1.2. Habilidad para influenciar el costo final sobre la vida del proyecto ²

² Adaptado del Preview of Constructability Implementation, Construction Industry Institute



La figura 1.3 representa los ahorros cuantificados y documentados por el equipo del CII (Construction Industry Institute). El 73% de los ahorros de la Constructabilidad fueron obtenidos aproximadamente al 20% de avance de la ingeniería. El 91% del ahorro se logró cuando la ingeniería estaba a un 50%. El ahorro más grande se originó de las aportaciones de construcción durante las fases del diseño siendo de mayor impacto lo relacionado con la estrategia de procuración, los métodos y secuencias de construcción.

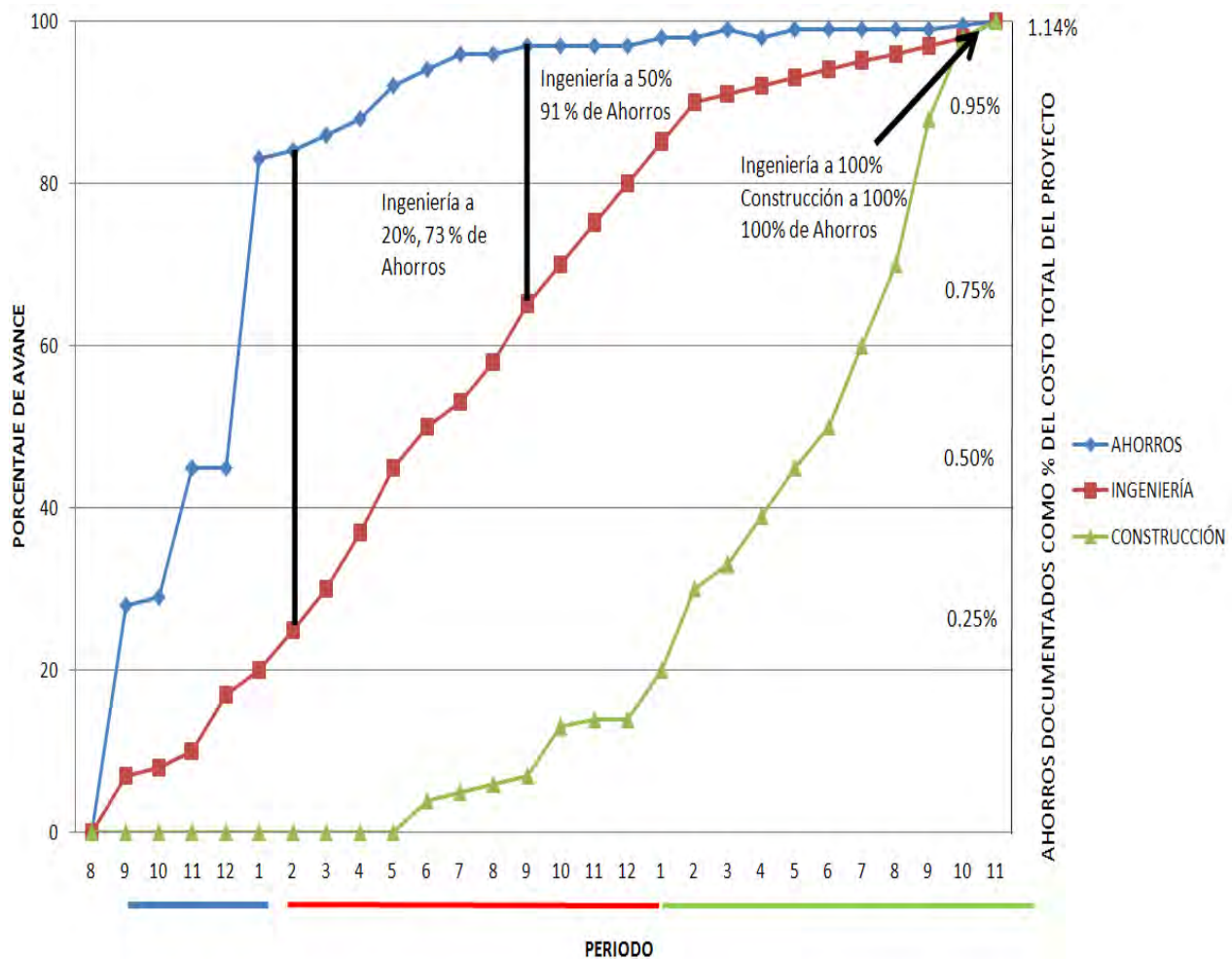


Figura 1.3. Ahorro documentado de la Constructabilidad (CII) ³

³ Guía de Implementación de Constructabilidad, ICA Fluor



Por lo que la Constructabilidad es más que:

- ✓ Establecer los métodos más eficaces de construcción
- ✓ Revisión de documentos de ingeniería durante la etapa de diseño por parte de construcción
- ✓ Asignación de personal de construcción (ingenieros especialistas con muchos años de experiencia) en las oficinas de ingeniería durante la etapa del diseño
- ✓ Un programa de modularización y prefabricación, utilizando modelos electrónicos

Aunque las actividades anteriores son una parte de la Constructabilidad, solo se lograrán sus beneficios a través de la integración oportuna de las sugerencias de construcción en la planificación, el diseño, así como en las operaciones de campo.

En la realidad la industria en general tiende a desarrollar las funciones individuales por área en los proyectos; la ingeniería de diseño tiende a enfatizar la minimización de sus costos, construcción se enfoca en minimizar los costos de campo, sin embargo afinar las partes individuales no da al proyecto beneficios adicionales sustanciales, no obstante esto si se puede lograr con el uso de la Constructabilidad ya que esta integra a las partes volviéndose así una de las herramientas más poderosas que las empresas pueden aplicar en sus proyectos.

Una de las problemáticas que enfrenta la construcción hoy en día es la falta de integración que existe entre las etapas de definición, adquisición, diseño y construcción de un proyecto, cada una de las cuales es ejecutada por distintas entidades. El mejoramiento individual de estas etapas no promueve necesariamente los mejores resultados de una obra. La Constructabilidad integra estas partes y las transforma en una de las herramientas más útiles para los dueños del proyecto.



CAPÍTULO II

2.1 La Constructabilidad

Comenzaremos este capítulo por recordar la definición de Constructabilidad dada por el CII (Construction Industry Institute) y es con la que se trabaja en el presente trabajo:

La Constructabilidad es un sistema para conseguir una óptima integración del conocimiento y la experiencia en la construcción, en la planeación, ingeniería, procura y operaciones en campo, con la finalidad de alcanzar los objetivos globales del proyecto.

La Constructabilidad es un programa de gestión integral de mejoramiento continuo en el área de la construcción y tiene por finalidad lograr que lo proyectado sea hecho como tal, sin imprevistos, ni fallas, buscando incorporar el conocimiento de la construcción en etapas tempranas del desarrollo del proyecto, como en la planificación, diseño, adquisiciones, innovación y métodos constructivos, haciendo más fácil la construcción y factible su ejecución, en síntesis haciendo más “construible” el proyecto (Giménez y Suárez, 2008).

Constructabilidad es sinónimo de mejores proyectos, menores costos, mayor productividad, terminación temprana del proyecto y de una puesta en servicio a tiempo. El mensaje es asegurarse que los conocimientos de construcción están incorporados en todas las etapas del proyecto, estudios de factibilidad, planificación conceptual, diseño, procuración y construcción.

La Constructabilidad es el uso óptimo de los conocimientos de la construcción y experiencias en la planificación, diseño, procuración y construcción para lograr los objetivos generales del proyecto, los máximos beneficios se obtienen cuando el personal con conocimiento y experiencia en la construcción se involucran desde las fases tempranas del proyecto.



La implementación de la Constructabilidad en los proyectos es responsabilidad de todo el personal del proyecto: dueños, ingenieros, diseñadores y contratistas. Sin embargo, ya que los dueños tienen la mayor autoridad en el cumplimiento de la aplicación de la Constructabilidad, la conciencia de los beneficios de la mejora de la Constructabilidad de los dueños es la más importante y deben ser conscientes de que las decisiones que se toman en las etapas iniciales de la planificación y el diseño son difíciles y costosas de cambiar una vez que comience la construcción.

La Constructabilidad requiere que las empresas (dueños y contratistas) vayan más allá de los enfoques convencionales de ejecución de proyectos; para expandir la planeación inicial e invertir esfuerzos adicionales para anticiparse a los posibles problemas de construcción, pero siempre aplicando por adelantado el conocimiento de construcción y las mejores prácticas en la planeación de los proyectos. Los beneficios completos de la Constructabilidad requieren de un enfoque proactivo por parte de todos los miembros del equipo del proyecto.

La Constructabilidad es implementada a través de los esfuerzos del equipo, incluyendo a los representantes de la empresa (dueños), a ingeniería, a procuración y a los profesionales de la construcción, los cuales trabajan juntos hacia metas en común como la calidad de las instalaciones y la optimización de los costos y programas.

La Constructabilidad principalmente se realiza en países desarrollados, por medio de un contrato a consultores privados para que revisen los diseños de los proyectos, con una perspectiva constructiva, buscando la viabilidad del desarrollo en el menor tiempo y costo posible. A la vez, todos los proyectos deben ser elaborados bajo una política de calidad y seguridad que permita mejorar y acelerar el comportamiento de la mano de obra, mejorar los procesos en las diferentes etapas de la construcción, utilizar el tiempo y recursos sin desperdicios, cumplir con la programación de obras estipulada sin retrasos no previstos, para poder coordinar la obra sin problemas; ya sea por abastecimiento o problemas con los contratistas.



Elaborar un programa de adquisiciones, ejecución, uso de herramientas y maquinarias, horarios y mano de obra capacitada para cada partida que sea necesaria. También es importante crear un vínculo más estrecho entre diseñadores y constructores para evitar errores de interpretación u otro factor que pueden llegar a ser trascendentales en el transcurso del proyecto y a la vez hay que lograr una eficiente comunicación entre la gerencia y los trabajadores para tener un grupo de trabajo más unido y generar un buen funcionamiento, todos trabajando para el mismo fin sin interrupciones y problemas mayores (Giménez y Suárez, 2008).

2.2 Objetivos de la Constructabilidad

El objetivo principal del programa de Constructabilidad es apoyar y promover a un equipo para el proyecto, basado en los requerimientos del plan de ejecución del proyecto, además contribuye fuertemente a la filosofía de “*Ser mejores, más rápidos, más seguros y más baratos*” y a la cultura de creación de valor. Además genera una mayor integración en el proyecto y una mejor planeación inicial. Un programa de Constructabilidad ofrece la oportunidad para tener toda la documentación de la construcción y los entregables, los cuales podrán ser compartidos con todos los proyectos presentes y futuros. El equipo de Constructabilidad del proyecto es responsable de trazar las metas y objetivos que ayuden en el proceso de integración del proyecto, tales como:

- ✓ Objetivos de calidad (ser mejores)
- ✓ Objetivos de reducción de costos (ser más baratos)
- ✓ Objetivos de seguridad (ser más seguros)
- ✓ Objetivos de reducción en los tiempos del programa (ser más rápidos)

Los objetivos de la Constructabilidad están limitados por el ámbito que pretende cubrir. En 1983, CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) limitó su ámbito de aplicación a la relación entre diseño y construcción (ver figura 2.1).



Este límite es bastante restrictivo, puesto que considera a la Constructabilidad como una actividad de diseño orientado a la producción. En este sentido no existe consenso en cuanto a los límites de su ámbito de aplicación; si son demasiado amplios, la Constructabilidad se reduce a un conjunto de reglas y consejos con una muy pequeña implementación práctica y si son muy reducidos no se desarrolla el potencial que conlleva una herramienta como esta. (McGeorge y Palmer, 1997)

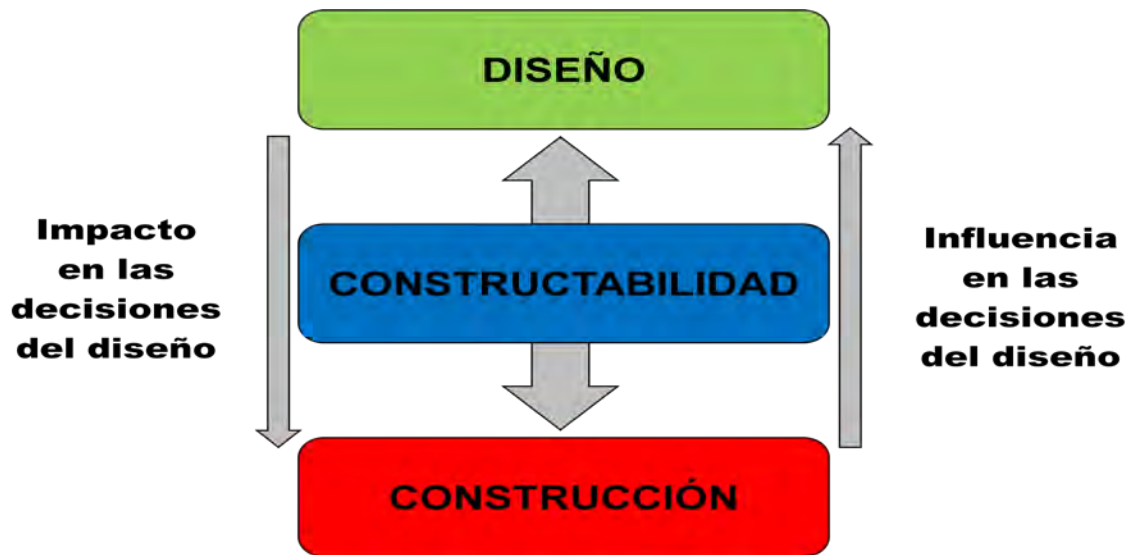


Figura 2.1. Ahorro documentado de la Constructabilidad ⁴

La Constructabilidad desarrolla todo su potencial cuando se reconoce la compleja interacción de los factores que afectan a los procesos de diseño, construcción y mantenimiento en el ámbito del proyecto. Por tanto, su objetivo no está orientado únicamente a la facilidad de construcción del proyecto, sino que intenta ser un sistema por el cual se busca la facilidad constructiva y la calidad del producto resultante en las decisiones acerca de la ejecución de la obra, como respuesta a los factores que influyen en el proyecto y los objetivos del mismo. Por lo tanto, la Constructabilidad no finaliza con la ejecución de la obra, sino que engloba las actividades de mantenimiento (instalaciones, reposición de materiales, acabados etc.).

⁴ Adaptado de Construction Management. New Directions. McGeorge & Palmer (1997)



Por objetivos más específicos podemos mencionar que el trasfondo que persigue la Constructabilidad, es una mejora de la productividad de un proyecto de construcción, ya sea disminuyendo el tiempo de ejecución, consiguiendo un margen de utilidad mayor, por la optimización de las etapas que engloban una obra (como adquisición de materiales, programas de maquinarias, etc.) y así logrando finalmente gratificaciones, satisfacción profesional o una buena reputación de la empresa.

Los objetivos que busca alcanzar la Constructabilidad son:

- ✓ Reducir al mínimo la necesidad de rediseñar durante la construcción
- ✓ Mejorar la productividad de los contratistas
- ✓ Mejorar la calidad del producto final
- ✓ Mejorar la imagen pública
- ✓ Promover la seguridad en la construcción
- ✓ Reducir los conflictos y disputas entre la gente relacionada con el proyecto
- ✓ Implementar la modularización y el pre-ensamble
- ✓ Optimizar las áreas de colocación de materiales
- ✓ Emplear herramientas de visualización CAD 3D para identificar interferencias
- ✓ Mejorar la accesibilidad al sitio de trabajo
- ✓ Desarrollo de especificaciones de construcción
- ✓ Mejoramiento en la comunicación entre ingeniería-construcción-procura
- ✓ Evitar congestiones en el sitio de trabajo
- ✓ Minimizar los cambios de alcance
- ✓ Asegurarse de que el proyecto sea construible
- ✓ Fomentar la estandarización
- ✓ Investigar la secuencia de construcción más rápida
- ✓ Suministrar diseños con información clara y detallada



2.3 Beneficios de la Constructabilidad

Muchas de las decisiones importantes deben hacerse en las primeras fases de un proyecto. Estas decisiones tendrán un gran impacto durante la etapa de construcción del proyecto así como durante la puesta en marcha y la operación de las plantas. Para minimizar el costo total del proyecto y garantizar el buen funcionamiento de las instalaciones según lo previsto, la Constructabilidad debe ser considerada dentro de estas decisiones tempranas. La experiencia nos ha mostrado que el personal capacitado y experimentado de construcción puede trabajar efectivamente con el grupo de trabajo de las oficinas para evaluar al proyecto globalmente, reconocer y seleccionar las mejores alternativas disponibles que tienen efecto en la construcción del proyecto. Una buena planeación y ejecución del programa de Constructabilidad puede generar significantes oportunidades de reducción de costos.

El CII (Construction Industry Institute) ha estudiado y documentado métodos de mejora de costos con gran efectividad dentro de la industria de la construcción por más de 30 años. Los resultados de los estudios llevados a cabo por el CII, indican que un programa de Constructabilidad apoyado con fundamentos sólidos, puede beneficiar al proyecto en los siguientes aspectos:

- ✓ Reducción de costos
- ✓ Programas más cortos
- ✓ Mejoras en la calidad y en la seguridad
- ✓ Incorporación de ideas innovadoras
- ✓ Mejoras en el manejo de riesgos

Gibson et al. (1996) sugirió que, los beneficios que se derivan de la aplicación de la Constructabilidad durante la planeación del proyecto incluyen reducción de costos, programas más cortos, una mejor calidad, una mayor seguridad, un mejor control de los riesgos, un menor número de órdenes de cambio y un menor número de reclamaciones.



Gransberg y Douglas (2005) señalaron que, la implementación de revisiones formales de Constructabilidad lo antes posible en el ciclo de vida de un proyecto es de beneficio para los diseñadores así como para los constructores y dueños, en la reducción del esfuerzo de diseño perdido debido a los cambios requeridos identificados durante la construcción y la mejor coordinación entre las disciplinas del proyecto. La Constructabilidad es una potente herramienta que trabaja para el beneficio de todas las partes en el proceso de ejecución de los proyectos de construcción.

Son innumerables los beneficios que se tienen al trabajar con la Constructabilidad, aquí mostramos aquellos con mayor impacto en la industria de la construcción:

- ✓ Las relaciones iterativas entre la construcción y el diseño, en varias etapas del proyecto, conlleva beneficios tangibles en cuanto al ahorro de costos, tiempo y facilidad de construcción
- ✓ La contribución del personal de construcción en el diseño de los proyectos es significativa
- ✓ La racionalización del diseño, la estandarización y repetición de diseños detallados es esencial para alcanzar la Constructabilidad

Los beneficios se pueden medir a través de las ideas documentadas de la Constructabilidad que se aplican en la práctica. Es relativamente sencillo realizar el seguimiento del costo de diseño, mano de obra y materiales usados para completar una alternativa de diseño determinado. Sin embargo la Constructabilidad, implica la generación de ideas que optimicen el proceso de construcción. Los beneficios derivados de la aplicación de la Constructabilidad pueden ser cuantitativos o cualitativos (Russell et al, 1992a).

Los beneficios cuantitativos son:

- ✓ Reducción en los costos de ingeniería
- ✓ Reducción en los costos de construcción
- ✓ Reducción en la duración del programa



La reducción de los costos en la ingeniería puede ocurrir a través de la utilización de elementos de construcción estándar y del uso del diseño detallado. Los costos de construcción se pueden reducir mediante el uso de mano de obra de manera más eficiente a través de la prefabricación, montaje previo, las técnicas modulares, y el uso eficiente de materiales de construcción, equipo mecanizado y herramientas de mano.

Los factores clave que deben considerarse para el diseño, los costos de construcción y la duración programada del proyecto, incluyen la estrategia de contratación, los métodos y las técnicas utilizadas en construcción y la secuencia de actividades.

Los beneficios cuantitativos se pueden estimar mediante la evaluación de los ahorros de costos, comparándolos con la práctica habitual, para cada idea generada a través de la Constructabilidad. La implementación de la Constructabilidad a menudo resulta en la disminución de la duración del programa. El ahorro directo puede provenir de lo siguiente:

- ✓ Utilización de menos material
- ✓ Disminución de las horas de trabajo
- ✓ Disminución del alquiler del equipo y/o la operación
- ✓ Disminución de gastos generales
- ✓ El logro de incentivos en el contrato, si es viable

Para el cálculo de los beneficios cuantitativos totales, se estiman los beneficios para cada idea de la Constructabilidad, se suman para cada proyecto y al final se realiza una comparativa con los costos de Constructabilidad. Esta relación costo/beneficio puede ser una medida de la eficacia y/o el vencimiento del programa de Constructabilidad. Los estudios de casos de proyectos pasados hablando de proyectos de la industria petroquímicas y construcción en general han demostrado la relación costo/beneficio superior a 1:10 (Russell et al. 1992).



Cuantificar con precisión los beneficios atribuibles a la Constructabilidad no es posible, especialmente cuando se consideran los beneficios cualitativos que se muestran a continuación:

- ✓ Disminución de problemas
- ✓ Mejora en la accesibilidad al sitio
- ✓ Mejora de la seguridad
- ✓ Reducción de la cantidad de correcciones
- ✓ Mejora en la centralización hacia objetivos comunes
- ✓ Mejora de la comprensión del propósito/efecto de la participación individual
- ✓ Mayor compromiso de los miembros del equipo
- ✓ Aumento de la comunicación entre el grupo de trabajo y los altos mandos
- ✓ Aumento de la flexibilidad de la construcción
- ✓ Una puesta en marcha en tiempo y sin muchas complicaciones
- ✓ Reducción de los costos de mantenimiento
- ✓ Mejora en la eficacia de la producción

Entre los más importantes beneficios cualitativos tenemos la disminución de los problemas a través de una mayor comunicación, cooperación y respeto entre los participantes y el trabajo en equipo. Disminuir los problemas es difícil de medir debido a que existen muchos factores interrelacionados que contribuyen a disminuirlos. Es difícil identificar y separar el impacto de cada factor; por lo tanto, el valor económico de disminuir los problemas es difícil de cuantificar (Russell et al, 1992a).

La seguridad y la calidad están relacionadas con los objetivos del proyecto. La implementación de la Constructabilidad puede mejorar el rendimiento de la seguridad en un proyecto a través de utilizar técnicas como el montaje, la prefabricación y la modularización, reduciendo así la cantidad de trabajo a través de andamios (Russell et al. 1992).



Siempre se han generado problemas a la hora de estimar el valor o beneficios que con lleva aplicar distintas metodologías hacia la construcción. Los beneficios acumulados a través de la aplicación de Constructabilidad son a menudo difíciles de cuantificar.

En resumen, dentro de los beneficios que se obtiene al utilizar la Constructabilidad se pueden enumerar los siguientes: la reducción en costos, la reducción en tiempos de entrega, una construcción con mejor calidad, un mejor control de riesgos, mayor seguridad en obra, menos órdenes de cambio y disminución de reclamos.

2.4 Características de los proyectos que utilizan la Constructabilidad

El CII (Construction Industry Institute), indica que los proyectos que promueven y apoyan el uso de la Constructabilidad tienen cuatro características en común:

1. Los dueños y gerentes (diseño y construcción), están comprometidos con la rentabilidad del proyecto y la eficacia del costo durante el ciclo de vida del proyecto y reconocen que los costos totales se pueden disminuir si el compromiso de alcanzar los menores costos toma influencia en las etapas iniciales de los proyectos, no al final cuando ya se ven ajustados de acuerdo a las ganancias esperadas
2. Los administradores del proyecto, utilizan la Constructabilidad como una herramienta clave, para alcanzar el cumplimiento de los objetivos que impactan al costo y al programa del proyecto.
3. Los administradores del proyecto involucran la experiencia de construcción de forma temprana, es decir, asignan al personal de construcción adecuado con experiencia y una alta comprensión de cómo aplicar y ejecutar las actividades de construcción y así tener un proyecto planeado, diseñado y construido.
4. Los diseñadores son conscientes de aplicar la Constructabilidad, aceptando lo valioso de las iniciativas y aportaciones de construcción.



CAPÍTULO III

3.1 Principios de la Constructabilidad

La Constructabilidad se basa en diecisiete principios desarrollados por el CII (Construction Industry Institute) los cuales están agrupados en las tres principales etapas del ciclo de vida de un proyecto y en este capítulo se presentan en forma detallada. Los primeros ocho principios están relacionados con la etapa de planificación conceptual de un proyecto. Los siguientes ocho se relacionan con la etapa de diseño y procuración, y el último se relaciona con la etapa de construcción.

Estos principios se basan en la experiencia de los dueños y contratistas representados por el grupo de trabajo de la Constructabilidad del CII (Construction Industry Institute). El objetivo principal de estos principios es estimular el uso de la Constructabilidad y cómo hacer que funcione (Russell et al. 1992). Los diecisiete principios son los siguientes y se agrupan en tres etapas de la siguiente manera:

Etapas de la planeación conceptual

1. El programa de Constructabilidad es parte integral del plan de ejecución del proyecto
2. La planificación del proyecto involucra el conocimiento y la experiencia en construcción
3. La participación del personal con conocimiento y experiencia en construcción se considera en el desarrollo de la estrategia de contratación
4. El programa del proyecto es coherente con el proceso de construcción
5. Las soluciones de diseño consideran los principales métodos de construcción
6. La configuración del sitio promueve una construcción eficiente
7. Identificación de los responsables de la Constructabilidad desde el inicio del proyecto
8. Aplicación de tecnologías de la información avanzadas durante todo el proyecto



Etapas de diseño y procuración

1. Los programas de diseño y procuración son coherentes con el proceso de construcción
2. Los diseños permiten una construcción eficiente
3. Estandarización de los elementos del diseño
4. El desarrollo de las especificaciones considera la eficiencia de la construcción
5. El diseño de módulos y pre-ensamblados facilitan su fabricación, transporte e instalación
6. El diseño accesible al sitio para el personal, material y equipo de construcción
7. Los diseños facilitan la construcción en condiciones meteorológicas adversas
8. La secuencia entre el diseño y la construcción facilita la entrega y puesta en marcha de la obra

Etapas de Construcción

1. La Constructabilidad mejora cuando se utilizan métodos innovadores de construcción

A continuación se describen de manera detallada los diecisiete principios de la Constructabilidad desarrollados por el CII (Construction Industry Institute) tal y como aparecen en la *Herramienta 17: Sumario de conceptos de Constructabilidad* que forma parte del documento titulado “*Guía de implementación de la Constructabilidad*”, emitido por el CII (Construction Industry Institute, 1993).

3.1.1 Etapas de la planeación conceptual

Los ocho conceptos básicos de Constructabilidad aplicables en la etapa de planificación conceptual de cualquier proyecto son:



3.1.1.1 El programa de Constructabilidad es parte integral del plan de ejecución del proyecto

Para lograr aplicar la Constructabilidad en un proyecto es necesario planear su implementación como parte del plan de ejecución. En la mayoría de los casos, este plan es realizado por el gerente del proyecto que representa al cliente desde la etapa inicial. El programa de Constructabilidad debe ser una parte integral del proceso de planeación para el proyecto. Este programa puede contribuir de muchas maneras en la ejecución eficaz del proyecto, tales como:

- ✓ Ayudar en el establecimiento de las metas y objetivos del proyecto
- ✓ Proveer una manera lógica y sistemática para integrar el diseño y la construcción
- ✓ Proporcionar un mecanismo para obtener experiencia en el campo de la construcción conforme ésta se va requiriendo
- ✓ Mejorar la comprensión del personal de construcción con respecto a los objetivos del diseño

3.1.1.2 La planificación del proyecto involucra el conocimiento y la experiencia en construcción

Este concepto se refiere al logro de beneficios en el costo y tiempo de ejecución de un proyecto a través de la inclusión del personal de construcción en el equipo de planeación inicial, el cual es responsable de determinar la mejor manera de satisfacer los requerimientos del cliente; por ejemplo, la fabricación de nuevos productos, el aumento de la capacidad existente, la reducción de costos o la mejora de la calidad. El conocimiento y la experiencia en construcción pueden ser útiles en:

- ✓ El establecimiento de los objetivos del proyecto
- ✓ La selección de los métodos principales de construcción
- ✓ La selección del sitio del proyecto



- ✓ El análisis de la viabilidad del programa de obra
- ✓ La creación de supuestos de productividad
- ✓ La preparación de estimaciones y presupuestos
- ✓ La identificación de los proveedores de materiales y equipos

3.1.1.3 La participación del personal con conocimiento y experiencia en construcción se considera en el desarrollo de la estrategia de contratación

La estrategia de contratación tiene una gran influencia en la disponibilidad del personal calificado de construcción que formará parte del equipo de Constructabilidad. En especial, el cliente es el que debe estar consciente de las implicaciones que conllevan aquellas estrategias que limitan la participación del constructor durante las primeras etapas del proyecto. Por ejemplo, si el proyecto se realiza por medio de la estrategia tradicional de contratar por separado al diseñador y al contratista, el cliente será el principal responsable de coordinar la inclusión del conocimiento y experiencia de construcción desde las etapas iniciales del proyecto.

En dicho caso, se podría requerir la contratación de los servicios de consultoría especializada en Constructabilidad con el fin de procurar que este conocimiento y experiencia esté disponible durante las etapas de planeación conceptual y diseño. Independientemente del tipo de contrato utilizado, se debe procurar que el personal de construcción que participe en el proyecto sea el adecuado, y sus competencias deben ser especificadas de manera clara en el contrato.

3.1.1.4 El programa del proyecto es coherente con el proceso de construcción

Este concepto establece el principio de que la fecha de terminación del proyecto y los requisitos de la etapa de construcción deben ser considerados en la optimización del costo y el programa del proyecto. Este concepto se refiere a que la programación global del proyecto debe buscar un equilibrio al asignar las duraciones entre las principales actividades del proyecto.



Para obtener los beneficios de la Constructabilidad, la programación del proyecto no se debe realizar mediante la técnica de cálculo hacia adelante (forward-pass), sino haciendo el cálculo hacia atrás (backward-pass) a partir de la fecha de finalización del proyecto, lo cual implica calcular las últimas fechas de terminación e inicio para las actividades. Así mismo, la programación puede ser realizada a través de un método guiado por el proceso de construcción. La utilización de este método requiere mantener un equilibrio entre los tiempos asignados para la planeación, diseño, procuración y construcción.

3.1.1.5 Las soluciones de diseño consideran los principales métodos de construcción

La realización del diseño debe regirse principalmente en base a los equipos, mano de obra y secuencia del trabajo que serán utilizados en la construcción y que conforman los principales métodos de construcción. Es importante definir dichos métodos desde la planeación conceptual del proyecto y ser tomados en cuenta durante la ingeniería del diseño, ya que si se modifican más adelante durante el proceso de diseño o de construcción, se podría afectar significativamente el costo, el tiempo u otras metas de desempeño del proyecto.

Todos los miembros del equipo del proyecto deben interactuar y llegar a un acuerdo sobre la metodología que se utilizará para medir cuantitativa y cualitativamente los resultados de los principales métodos de construcción y su contribución al logro de los objetivos generales del proyecto.

3.1.1.6 La configuración del sitio promueve una construcción eficiente

Este concepto establece que la eficiencia de la construcción es un criterio importante para distribuir tanto las instalaciones permanentes como temporales en el sitio. La distribución de las instalaciones permanentes en el sitio debe considerar su construcción y planearse de manera coordinada con las instalaciones temporales. Para la construcción se debe procurar lo siguiente:



- ✓ Espacios adecuados para la colocación de materiales y equipos, así como para el armado de estructuras
- ✓ Accesos para los equipos, materiales y personal de construcción
- ✓ Evitar tipos de construcción costosos y problemáticos, tales como los trabajos subterráneos y elevados, cuando existan otras alternativas
- ✓ La utilización de construcciones existentes como instalaciones temporales
- ✓ La planificación del adecuado drenaje del sitio durante la construcción

3.1.1.7 Identificación de los responsables de la Constructabilidad desde el inicio del proyecto

Este concepto se refiere a los atributos que deben tener las personas clave dentro del equipo responsable de la Constructabilidad del proyecto. Estas personas deben ser identificadas tan pronto como lo permita la estrategia de contratación y mantenerse durante todo el desarrollo del proyecto. La experiencia de estas personas, especialmente la adquirida durante la etapa de construcción, en proyectos del mismo tipo, mejora la Constructabilidad. La selección de estas personas debe considerar, además de los conocimientos y la experiencia en construcción, lo siguiente:

- ✓ La habilidad para trabajar en equipo
- ✓ La habilidad para comunicarse
- ✓ La capacidad para evaluar objetivamente las ventajas y desventajas de las posibles soluciones de diseño y construcción
- ✓ La receptividad a nuevas ideas

3.1.1.8 Aplicación de tecnologías de la información avanzadas durante todo el proyecto

Este concepto se refiere a la mejora de la Constructabilidad del proyecto mediante el aprovechamiento de las capacidades y beneficios de las tecnologías de la información de punta. El uso de estas tecnologías puede potencialmente revolucionar los métodos utilizados por la industria de la construcción.



Ejemplos de estas tecnologías incluyen el uso de modelos computarizados en tres dimensiones, sistemas de bases de datos relacionales, sistemas expertos, simulación por computadora, intercambio electrónico de datos, códigos de barras y computadoras portátiles en el campo. Las nuevas tecnologías brindan oportunidades para una mejor aplicación del conocimiento y la experiencia constructiva a través de una interfaz mejorada entre el personal de ingeniería, construcción y mantenimiento del proyecto.

3.1.2 Etapa de diseño y procuración

Los ocho conceptos de Constructabilidad aplicables en la etapa de diseño y procuración de cualquier proyecto son:

3.1.2.1 Los programas de diseño y procuración son coherentes con el proceso de construcción

La construcción generalmente representa la etapa de mayor costo de un proyecto y por tanto representa una gran oportunidad para el ahorro de costos al utilizar la programación “hacia atrás” tanto en la procuración como en el diseño. La procuración, con excepción de los plazos de entrega, tiene una capacidad moderada para ajustarse a las necesidades del programa global de construcción. El diseño es un proceso complejo y exigente, pero con frecuencia es el área más fructífera en la optimización de la programación global del proyecto. Los dueños y los administradores del proyecto deben tener en cuenta el balance entre el costo y el programa durante todo el desarrollo del proyecto.

3.1.2.2 Los diseños permiten una construcción eficiente

Se debe facilitar el intercambio de ideas entre los profesionistas de la construcción y del diseño antes de poner “el lápiz sobre el papel” para comenzar el diseño. En la toma de decisiones sobre la Constructabilidad del proyecto se le debe de dar prioridad a los siguientes factores.



La simplicidad es un elemento deseable en cualquier diseño construible. Es recomendable que el personal en el sitio tenga la flexibilidad para seleccionar métodos alternativos e innovadores de construcción.

La secuencia de las actividades de construcción debe ser considerada tanto en la etapa de diseño, como en la de procuración y la de construcción. Los diseños que demandan mano de obra en grandes cantidades o con habilidades especiales, deben reducirse al mínimo en todos los casos.

3.1.2.3 Estandarización de los elementos del diseño

El costo y el programa del proyecto se pueden beneficiar a través de la estandarización, la cual involucra elementos cuya utilización es tanto regular como extensa en la región donde se desarrolla el proyecto, por lo que están generalmente disponibles y su entrega es expedita.

Por lo general, la disyuntiva es reducir los costos ya sea por medio del ahorro de tiempo en la construcción y descuentos en materiales adquiridos por volumen, o por medio de un mayor uso de materiales estandarizados a través de un diseño más conservador. Las ventajas específicas de la estandarización incluyen:

- ✓ Aumento de la productividad debido al uso de actividades repetitivas en el campo
- ✓ Establecer un programa de adquisiciones con fabricantes de equipo y/o materiales, para permitir coordinar las actividades
- ✓ Descuentos por la adquisición de materiales en volumen
- ✓ Simplificación de la procuración de materiales
- ✓ Simplificación en la administración de los materiales
- ✓ Reducción en el tiempo de realización del diseño
- ✓ Una mayor facilidad para intercambiar piezas de repuesto durante las operaciones y el mantenimiento



3.1.2.4 El desarrollo de los procedimientos considera la eficiencia de la construcción

El conocimiento y la experiencia en construcción pueden contribuir significativamente en el establecimiento de procedimientos que promuevan la eficiencia en las operaciones de construcción. La Constructabilidad se puede mejorar con las siguientes consideraciones: una guía para la realización de procedimientos que ofrezcan opciones claras debe estar disponible en la empresa; el desarrollo de los procedimientos para un proyecto se deben realizar como una actividad del proyecto distinta con la participación temprana y plena de personal adecuado con conocimiento y experiencia en construcción; se debe disponer del tiempo suficiente para el desarrollo de los procedimientos con el fin de que resulten completos, coherentes y libres de errores; se debe buscar la claridad como una de las principales características de un buen procedimiento; un solo procedimiento de construcción debe cubrir todos los aspectos pertinentes de un solo elemento o componente; se debe analizar el uso de procedimientos mediante la comparación de los ahorros potenciales en los costos contra los riesgos implícitos; los procedimientos se deben actualizar constantemente con el fin de que incluyan las técnicas y materiales más innovadores y que ofrezcan una mayor eficiencia sobre los costos.

3.1.2.5 El diseño de módulos y pre-ensamblados facilitan su fabricación, transporte e instalación

Cuando se decide utilizar sistemas modulares, pre-ensamblados o prefabricados, se deben tomar en cuenta ciertos factores durante el diseño y la procuración para garantizar su adecuada implementación. Los diseñadores deben considerar primero en dónde se va a realizar la fabricación, ya que si la planta del proveedor está bajo condiciones controladas las tolerancias pueden ser más estrictas. Los diseños que incluyen sistemas modulares o pre-ensamblados deben considerar los requerimientos



de equipo para su transporte y manejo, ya que su disponibilidad puede implicar restricciones físicas o de programación significativas. Por último, el método de instalación de los módulos debe ser considerado ya que puede afectar el diseño del mismo, la distribución del proyecto y el diseño de servicios subterráneos y cimentaciones.

3.1.2.6 El diseño accesible al sitio para el personal, material y equipo de construcción

Las dificultades de acceso para el personal, material y equipo en el proyecto pueden afectar negativamente el logro de los objetivos del mismo, pues pueden afectar gravemente la productividad. Además, las rutas de difícil acceso con frecuencia presentan condiciones inseguras de trabajo y pueden afectar negativamente los costos y el programa en los casos en los que haya que acarrear grandes volúmenes de materiales.

La necesidad de analizar la manera de introducir los equipos de mayor tamaño y de realizar los accesos temporales, es tan importante como analizar el acceso del personal y los materiales. Las cuestiones específicas que se deben considerar en este caso incluyen:

- ✓ La secuencia del trabajo
- ✓ El programa de entrega de equipos pesados
- ✓ Áreas para el asentamiento de materiales, especialmente en sitios congestionados
- ✓ Rutas de entrega de materiales
- ✓ La instalación y ubicación de los trabajos subterráneos que más tarde serán atravesados por equipo pesado
- ✓ La ubicación, el tipo y el tamaño de las entradas necesarias para los equipos, así como las rutas desde los puntos de origen



3.1.2.7 Los diseños facilitan la construcción en condiciones meteorológicas adversas

Se debe reconocer que las condiciones climáticas adversas pueden tener un impacto significativo en el costo y el programa de construcción. En muchos casos, los efectos del mal tiempo se pueden prevenir si se les toma en cuenta durante el diseño del proyecto. Las actividades en las que se deben considerar las condiciones meteorológicas adversas son las siguientes:

- ✓ La planeación del sitio para hacerlo accesible
- ✓ La provisión de protección al personal
- ✓ La selección de los materiales de construcción
- ✓ El uso de estructuras pre-ensambladas en los talleres del proveedor
- ✓ La programación del diseño
- ✓ La planeación de la iluminación del sitio durante la construcción
- ✓ La procuración de un drenaje adecuado en el sitio
- ✓ La programación y el control de la entrega de equipos y materiales para evitar requisitos de protección innecesarios
- ✓ La provisión de áreas temporales protegidas para el almacenamiento de los materiales

3.1.2.8 La secuencia entre el diseño y la construcción facilita la entrega y puesta en marcha de la obra

En proyectos complejos, el programa global deberá integrar la secuencia de entrega y puesta en marcha de la obra con la del diseño y la construcción. Tomando en cuenta que es costoso implementar cambios en las secuencias de la construcción (con un posible cambio correspondiente en la secuencia del diseño), es importante que el proceso de planeación de la puesta en marcha empiece de manera temprana durante el proceso de entrega de las instalaciones. Mientras más pronto inicie esta planeación, menos probables serán los problemas que resulten en sobrecostos y demoras durante



la etapa de puesta en marcha. Cuanto mayor sea el traslape entre la etapa de construcción y la de puesta en marcha, más necesaria es la temprana integración de la etapa de puesta en marcha en el plan general del proyecto. De igual importancia es la necesidad de identificar los requerimientos de la puesta en marcha que tienen un impacto directo en el diseño, tales como: las conexiones especiales en tuberías, las consideraciones ambientales y los requerimientos de energía eléctrica.

3.1.3 Etapa de construcción

Un elemento central de Constructabilidad es aplicable en la etapa de construcción

3.1.3.1 La Constructabilidad mejora cuando se utilizan métodos innovadores de construcción

Existe una necesidad de aplicar los conocimientos de construcción y la experiencia para mejorar la eficiencia de las operaciones en campo. Los métodos de construcción innovadores son numerosos y suelen ser “pequeños” avances que, sin embargo, no deben pasarse por alto ya que en su conjunto el beneficio puede ser considerable. Algunos conceptos de construcción innovadores pueden involucrar:

- ✓ Secuencia de tareas en el sitio claramente definidas
- ✓ Uso de materiales o sistemas de construcción temporales
- ✓ Uso de herramientas manuales o automáticas de acuerdo al tipo de trabajo
- ✓ Uso de equipo de construcción innovador de acuerdo al tipo de trabajo
- ✓ Pre-ensamblaje de arreglos de tuberías y equipos (patines)
- ✓ Preferencias del constructor seleccionado que son relevantes a la distribución del sitio, el diseño y la selección de materiales

La esencia de este enfoque es que la Constructabilidad puede ser mejor, aprovechando el conocimiento en construcción de los participantes para maximizar oportunidades y desarrollar mejores opciones y así satisfacer los objetivos del proyecto con la coordinación y también adoptando procesos de revisión colectiva.



CAPÍTULO IV

4.1 Barreras de la Constructabilidad

Como todo concepto en auge, se presentan barreras que hacen difícil su implementación, como lo es la Constructabilidad. Una barrera es cualquier inhibidor significativo que evita la efectiva implementación del programa de Constructabilidad. De acuerdo al estudio del CII (Construction Industry Institute) existen barreras que se presentan en el proceso de implementación.

A continuación se enlistan las barreras que se presentan en la implementación de los principios de la Constructabilidad encontradas por los investigadores Jergeas y Van der Put (2001) en la ciudad de Alberta, Canadá. Estas barreras se identificaron y se clasificaron de acuerdo a los diecisiete principios de Constructabilidad estipulados por la CII (1986), las cuales fueron re-agrupadas en las siguientes siete secciones:

4.1.1 Participación temprana del personal de construcción

- ✓ No está disponible cuando el equipo de diseño lo necesita
- ✓ El personal de construcción tiene experiencia práctica, pero por lo general carece de las habilidades técnicas y de comunicación
- ✓ Los clientes son renuentes a invertir dinero durante la etapa inicial del proyecto
- ✓ Los diseñadores solicitan información sobre la construcción demasiado tarde
- ✓ La selección del constructor no se hace de manera oportuna como para obtener el máximo beneficio
- ✓ El cliente no siempre quiere pagar por el tiempo dedicado a la interacción del personal de construcción con el de diseño y el de operación
- ✓ El proyecto obtiene su financiamiento antes de adjudicarlo al equipo encargado de la ingeniería-procura-construcción-pruebas y arranque
- ✓ Las líneas que dividen a los diseñadores del personal de construcción son demasiado rígidas



- ✓ El tipo de contrato elegido para asignar el proyecto limita la participación del personal de construcción, es decir, los contratos por administración permiten que el contratista se integre de manera inmediata al proyecto, mientras que los de precio alzado restringen su participación temprana
- ✓ La desventaja de adjudicar la construcción del proyecto mediante contratos por concurso a precio alzado. En este caso, los licitantes no especifican los métodos que utilizarán para la construcción, además de que este tipo de contratación puede crear rivalidades entre los constructores y los diseñadores
- ✓ La supervisión de las diferentes especialidades de trabajo está en desventaja ya que mientras que los administradores de la construcción del proyecto participan desde el primer día, los supervisores raramente son consultados en la cotidianidad de la obra
- ✓ La participación temprana del personal de construcción es más frecuente en proyectos grandes que en los pequeños; por lo que existe la necesidad de cambiar la mentalidad de los diseñadores para entender que el personal de construcción puede agregar valor al proceso de diseño
- ✓ La estrategia de contratación del proyecto por lo general no está bien pensada o revisada formalmente como para obtener mejores resultados. Si el proyecto es realizado mediante un contrato IPC (Ingeniería-Procurement-Construction), a veces el componente de construcción comienza a participar demasiado tarde como para generar alguna diferencia

4.1.2 Utilización de programas del proyecto con el proceso de construcción

- ✓ Existen demasiadas variables en la etapa de construcción como para considerar todas durante el diseño, de tal manera que los potenciales beneficios no serán logrados o mejorados
- ✓ Los requerimientos del programa están a menudo fuera del control del personal del proyecto



- ✓ Las empresas que realizan proyectos IPC (Ingeniería-Procura-Construcción) comienzan su participación demasiado tarde como para proporcionar la información necesaria al equipo encargado de desarrollar el programa inicial
- ✓ Resulta difícil mantener un flujo de información continuo del diseño hacia la construcción
- ✓ La relación entre la construcción y el diseño se fractura por la mentalidad del diseñador que no acepta que la realización del proyecto debe ser regida por el proceso de construcción. Los programas de construcción son conocidos por realizarse sin considerar los requerimientos del diseño y, viceversa, en los programas de diseño no se consideran las restricciones de la construcción

4.1.3 Modulación y pre-ensamblaje

- ✓ La modulación es aplicable solo para ciertos proyectos
- ✓ La modulación no se presta para ensamblar componentes muy grandes
- ✓ La necesidad de contar con un especialista en transporte que determine de manera previa la ruta adecuada para el tamaño de la pieza, entre otras restricciones
- ✓ La necesidad de que el constructor entienda claramente la pieza pre-ensamblada que va a recibir, ya que de lo contrario puede ser necesario re-trabajar la pieza en el sitio de construcción
- ✓ El problema con este tipo de métodos es que si la calidad del diseño o del proceso de fabricación es pobre, las reparaciones eventualmente necesarias reducen rápidamente sus beneficios
- ✓ Se requiere más desarrollo para crear un cambio de mentalidad y pensar innovadoramente, más allá de la manera en que se está acostumbrado
- ✓ Debe ser un método que se defina desde la etapa de pre-diseño y no hasta que se realiza el diseño detallado
- ✓ Las características de los módulos no se acuerdan con suficiente antelación como para poder ser implementados



4.1.4 Estandarización

- ✓ Con frecuencia se dificulta la obtención de información significativa por parte de los proveedores
- ✓ Una barrera es la tendencia a querer tratar de innovar
- ✓ Las empresas dedicadas a la construcción tienen sus propios estándares y por lo tanto resulta difícil que acepten el uso de los propuestos por los fabricantes
- ✓ Los ingenieros y las operaciones de los clientes no suelen aceptar la estandarización, ya que, en la práctica, cada área operacional tiene diferentes necesidades
- ✓ Los diseñadores a menudo hacen demasiado personalizado el diseño
- ✓ A los clientes les gusta utilizar sus propios estándares
- ✓ Los estándares de los fabricantes normalmente no son aceptados en lugar de los propios estándares y especificaciones del cliente. Por lo tanto, no es posible estandarizar de un proyecto a otro, inclusive aun cuando son muy similares
- ✓ Diferentes empresas tienen diferentes estándares de construcción

4.1.5 Los diseños permiten una construcción eficiente

- ✓ Los diseñadores carecen de experiencia práctica en campo y sus habilidades para comunicarse con otros grupos son limitadas
- ✓ La comunicación entre la construcción y el diseño necesita desarrollarse, ya que el personal de construcción generalmente no sabe cómo manejar diseños innovadores
- ✓ Algunos sitios están extremadamente congestionados
- ✓ Las restricciones impuestas por las operaciones en sitios con instalaciones en funcionamiento no permiten una construcción eficiente
- ✓ Los diseñadores se muestran renuentes a cambiar sus diseños para adaptarlos al sitio



- ✓ Los desarrolladores con falta de visión reducen el presupuesto disponible para los honorarios de los consultores, haciendo que se generen diseños con insuficientes detalles y una pobre documentación sobre el control de calidad y las especificaciones del proyecto
- ✓ Los diseñadores e ingenieros no entienden las metas y los conceptos de la Constructabilidad
- ✓ Los diseños incompletos al momento de su entrega para la construcción y los cambios posteriores afectan la construcción eficiente
- ✓ Es difícil encontrar personas que tengan conocimientos tanto en el campo del diseño como de la construcción
- ✓ En los diseños en los que se hace una revisión formal de la Constructabilidad, primero se busca facilitar las operaciones y después la construcción

4.1.6 El uso de métodos de construcción innovadores

- ✓ Falta de imaginación por parte de los contratistas de la construcción
- ✓ En los últimos años han habido pocos avances en los métodos constructivos
- ✓ Se necesita incorporar estos métodos innovadores desde el proceso de diseño
- ✓ Los desarrolladores y contratistas del diseño y la construcción aprovechan la innovación para ser competitivos y aumentar sus márgenes de ganancia, pero existe una falta de incentivo para que los consultores sean creativos para ahorrar en los costos de construcción
- ✓ Si los diseños se han estancado, resulta imposible la innovación
- ✓ Los contratistas están renuentes a sugerir innovaciones
- ✓ Tendencia a recurrir a métodos ya probados
- ✓ Por lo general, no existe algo realmente innovador, quizá las herramientas hayan mejorado, pero los procedimientos que se siguen para diseñar y construir no han cambiado en las últimas dos décadas



4.1.7 Tecnología computacional avanzada

- ✓ Tal y como sucede en la modulación, solo ciertos proyectos se verían beneficiados por esta tecnología
- ✓ Los numerosos cambios y actualizaciones en los sistemas de software son muy caros. El personal nunca tiene tiempo suficiente para aprender completamente el manejo de estos sistemas antes de que salga uno nuevo
- ✓ Los sistemas CAD deben volverse más amigables con el usuario
- ✓ La tecnología es menos costosa que un modelo físico, pero es difícil visualizar todo el proyecto al mismo tiempo
- ✓ Está limitada a proyectos muy grandes debido a los elevados costos de la tecnología actual
- ✓ No se han promovido los beneficios de estas tecnologías entre los participantes de la construcción, además de que éstos no son suficientemente disciplinados para evitar los problemas generados por “ingresar basura” a los programas
- ✓ Existe la necesidad de invertir tiempo y dinero en el personal de construcción para obtener los beneficios óptimos para crear personas pensantes y no sólo maquiladores
- ✓ Aunque los sistemas informáticos son cada vez mejores, aún no se logra su uso práctico y real
- ✓ El personal del campo todavía se encuentra renuente a utilizar modelos 3D en lugar de representaciones en 2D, pues insisten en utilizar éstas últimas para poder construir

Las barreras de la Constructabilidad son diversas de organización a organización siendo imperativas su identificación y la acción correspondiente para superarlas apropiadamente. Las barreras con más incidencia son:

- ✓ Complacencia con la situación actual
- ✓ Resistencia a invertir dinero y esfuerzos en las fases tempranas del proyecto
- ✓ Limitaciones contractuales y de presupuesto en proyectos a precio alzado



- ✓ Que el personal de ingeniería no tenga experiencia en temas constructivos
- ✓ La percepción de los diseñadores de “nosotros lo hacemos todo”
- ✓ La falta de respeto mutuo entre diseñadores y constructores
- ✓ El apoyo de los constructores es requerido demasiado tarde
- ✓ La creencia de que no existen beneficios comprobados de la Constructabilidad

Las barreras que han sido citadas por aquellos líderes que han conducido programas de Constructabilidad son:

- ✓ Falta de compromiso genuino
- ✓ No se da oportunidad a construcción de aportar sus ideas o iniciativas
- ✓ Falta de conocimiento de los conceptos de Constructabilidad
- ✓ Falta de integración de un equipo de trabajo

Los Contratistas, subcontratistas y diseñadores presentaron diferentes puntos de vista en cuanto a cuales barreras son más significantes:

- ✓ Contrato a precio alzado
- ✓ Falta de experiencia constructiva en la organización de ingeniería
- ✓ Las aportaciones de construcción son de poco valor debido a que son asignados tardíamente al proceso de Constructabilidad
- ✓ Bajas habilidades de comunicación
- ✓ Falta de experiencia en el área de construcción
- ✓ La creencia de que no hay beneficios probados de la Constructabilidad
- ✓ Muy a menudo las personas adecuadas no están disponibles

Una vez que las barreras a la implementación de la Constructabilidad son identificadas dentro de una organización o un equipo de proyecto, éstas pueden ser mitigadas o superadas por medio de ciertas tácticas, conocidas como rompedores de barreras.

Es por ello que es fundamental desarrollar herramientas que permitan que el progreso de un proyecto, desde su concepción hasta su ejecución, sea un proceso fluido, en el



que el diseño y la construcción se complementen e integren. No se debe olvidar que el objetivo final es satisfacer las necesidades del cliente, dentro de las sanas prácticas de ingeniería, buscando que el proceso constructivo se desarrolle de una manera más eficiente y a un menor costo.

La superación de estas barreras implica cambios de procedimientos, cultura de la empresa tanto corporativo como de proyectos (O'Connor y Miller, 1994).

A continuación se indica una lista que proporciona una idea del porque surgen todas las barreras hacia la Constructabilidad, que mayormente se refieren a la falta de comunicación, coordinación y equipo inexpertos (Folk, 2005).

- ✓ Las responsabilidades de cada quien del equipo no están claras y coordinadas
- ✓ Las diferencias con el cliente no se resuelven de inmediato
- ✓ El programa de construcción y el presupuesto no están al alcance
- ✓ El representante del cliente del proyecto es inexperto
- ✓ El cliente tiene dificultad para tomar decisiones
- ✓ Las formas de trabajo clave son resueltas después de la firma del contrato
- ✓ La empresa tiene una alta tasa de rotación de personal profesional y no se alcanza a lograr consolidar el equipo de trabajo
- ✓ El personal de los consultores del proyecto no tiene experiencia
- ✓ No figuran en el contrato la construcción de programas de administración
- ✓ Los acuerdos del proyecto no están bien definidos ni coordinados
- ✓ El presupuesto de construcción es inflexible



4.2 Rompedores de Barreras

Las barreras de la Constructabilidad presentan un ciclo de tres fases que son: identificación, mitigación y revisión. Una vez que las barreras de la Constructabilidad son identificadas dentro de una organización o de un equipo de proyecto, deben ser tratadas de una manera deliberada y decidida.

Las barreras de la Constructabilidad pueden ser mitigadas o superadas con ciertas estrategias, planes de acción y/o tácticas para eliminar o reducir el impacto, las cuales son conocidos como rompedores de barreras. Los rompedores de barreras deben ser eficaces en la lucha contra las barreras y deberán ser implementados o relativamente fáciles de aplicar.

A continuación se presenta una lista de los rompedores de barreras para cada uno de los siete obstáculos más comunes a la Constructabilidad previamente identificados. Los rompedores de barreras más frecuentes son presentados en la siguiente tabla, se basan en las características de las barreras y en los conocimientos y la experiencia de los investigadores.

Barrera	Recomendación para la barrera
1. Complacencia con la situación actual	Designar un promotor del programa con un fuerte liderazgo
2. Resistencia a invertir dinero adicional y esfuerzos en las fases tempranas del proyecto	Promover los beneficios y ahorros en costo que se logran aplicando la Constructabilidad para que sea vista inversión con alta rentabilidad
	Implementar la Constructabilidad como proceso de trabajo en las ofertas



Barrera	Recomendación para la barrera
3. Limitaciones contractuales y de presupuesto en proyectos a precio alzado	Lograr la asignación en oficina matriz de personal experimentado de construcción para participar durante el diseño
	Elaborar una lista de subcontratistas con capacidad para aportar al proceso Constructabilidad y obtener presupuestos competitivos
4. Que el personal de ingeniería no tenga experiencia en temas constructivos	Hacer un programa de difusión intensivo sobre los temas de Construcción/Constructabilidad tanto en sitio como en oficina matriz complementado con visitas y asignaciones de personal de ingeniería a sitio
	Obtener retroalimentación de los temas de Constructabilidad del sitio en forma periódica y dar seguimiento de las lecciones aprendidas como práctica normal
	Incluir los temas de Constructabilidad dentro de las prácticas de Ingeniería
5- Percepción de los diseñadores de “nosotros lo hacemos todo”	Entender lo que es la Constructabilidad antes de comenzar los diseños
6- Falta de respeto mutuo entre diseñadores y constructores	Fomentar de forma efectiva el trabajo en equipo entre el personal del proyecto
	Establecer la práctica de la presencia de construcción en el proceso de diseño
	Mantener al equipo del proyecto centrado en los objetivos comunes
7- Las aportaciones de construcción son de poco valor debido a que son asignados tardíamente al proceso de Constructabilidad	Resaltar los beneficios de la participación de construcción en forma temprana
	Implementar la Constructabilidad como una actividad inicial en los proyectos
	Asegurar la asignación desde el inicio del proyecto del personal con experiencia en construcción



4.3 La Constructabilidad y el grupo de trabajo

La aplicación de los principios de la Constructabilidad en un proyecto es un esfuerzo que depende en gran medida de la integración de muchas organizaciones y personas hacia los objetivos principales del proyecto. Para cumplir y superar las expectativas de los involucrados claves, primero requerimos identificar quienes integran el grupo que interviene en la Constructabilidad:

Cliente. Es el contratante, propietario, dueño o desarrollador del proyecto quien autoriza, define el alcance, establece los lineamientos y criterios de aceptación, además participa con la aportación de sus conocimientos y experiencias en la operación y mantenimiento del proceso.

Ingeniería. Participa con la aportación de sus experiencias en el análisis técnico de los problemas y la metodología para editar los documentos para construcción, control de calidad, entre otros. En este grupo participan diferentes disciplinas como proceso, tuberías, instrumentación, civil, mecánica, arquitectura, eléctrica, seguridad, comunicaciones, entre otras.

Procuración. Participa con su experiencia en la realización de cotizaciones de equipo y materiales así como en la compra nacional o importada de éstos, inspección, expeditación, tráfico de productos, materiales y equipo ya sea de importación o exportación, realización de estimados, subcontratos, entre otros.

Construcción. Participa con su experiencia en el conocimiento de diversos métodos constructivos, selección de mano de obra calificada, combinación y adaptación de materiales, maniobras de montaje, fletes, uso de maquinarias de construcción, pruebas, arranque y puesta en servicio, aseguramiento de la calidad y subcontratos.



CAPÍTULO V

5.1 Programa de la Constructabilidad

ASCE (American Society of Civil Engineers, 1991) define a un programa de Constructabilidad como “la aplicación sistemática de los aspectos relacionados con la construcción de un proyecto durante la planificación, el diseño, el suministro, la construcción, las pruebas y la puesta en marcha del proyecto por el personal experto y con experiencia en la construcción y quienes forman parte del equipo de trabajo”. El propósito del programa es mejorar los objetivos generales del proyecto. Estos objetivos constituyen el sistema general de todo el proyecto y deben ser tomados en cuenta por todos los miembros del equipo de proyectos en la evaluación de cada uno de los diversos factores de la Constructabilidad.

Un programa de Constructabilidad sirve para encontrar las principales fuentes de errores en especial durante la construcción y la instalación y después de reconocer las formas de minimizar estos problemas y sus influencias negativas sobre los objetivos del proyecto (Ugwu, Anumba, y Thorpeb, 2004).

Una herramienta útil en el proceso de ejecución de los programas de Constructabilidad es el esquema de implementación desarrollado por el CII (Construction Industry Institute, 1993). Este esquema ofrece una guía en la planificación, desarrollo y ejecución para el programa y está destinado a ser utilizado por los dueños, diseñadores y contratistas. El programa de Constructabilidad debe adecuarse a las necesidades y requerimientos del cliente. Diferentes programas pueden ser enfocados de acuerdo a la función del usuario y a los conceptos de Constructabilidad que se desean impulsar. El cliente puede tener recursos propios de construcción dentro de su organización; a un consultor de Constructabilidad para que contribuya con su experiencia o a un contratista de diseño/construcción, arquitecto/ingeniero, un gerente de construcción o un contratista de construcción para proporcionar la experiencia y el conocimiento de la construcción.



En cualquiera de los casos, las relaciones deben de especificar los objetivos de Constructabilidad del proyecto, los roles de los participantes, mientras que los programas y aspectos contractuales varían de una compañía a otra.

Un programa de Constructabilidad debe tener ciertas características fundamentales, las cuales se enlistan a continuación:

- ✓ Comunicar claramente el compromiso de los altos directivos con la Constructabilidad para generar un compromiso igual en todos los participantes del proyecto
- ✓ Fomentar el trabajo en equipo, la creatividad, nuevas ideas y perspectivas
- ✓ Asignar a una persona que posea liderazgo, habilidades de comunicación y un conocimiento del funcionamiento de la organización como director del programa
- ✓ Enfocar las actividades de Constructabilidad desde el inicio
- ✓ Enfatizar la integración total del proyecto y la optimización individual en las diferentes etapas del proyecto
- ✓ Evaluar los avances y los resultados

El tema de los proyectos construibles y los costos asociados a la resolución de los problemas en campo se ha discutido en muchas ocasiones. El problema radica en conseguir que los profesionistas, tanto diseñadores como constructores, provenientes de diversas culturas y con objetivos que creen, potencialmente diferentes, puedan trabajar juntos de manera efectiva, es decir como un solo equipo. Un programa de Constructabilidad puede proporcionar el mecanismo para integrar un "sentido común", en el diseño y en la construcción de un proyecto. Esta es la necesidad que ha sido reconocida durante mucho tiempo.

La base de este concepto es que el personal experimentado en construcción debe participar en el proyecto, desde las primeras etapas, para garantizar que el enfoque de la construcción y su experiencia puede influir en los dueños, los planificadores y diseñadores, así como proveedores de materiales. Esto no significa necesariamente



que los objetivos del diseño o del proyecto se deban cambiar para satisfacer el concepto de la Constructabilidad, desde el punto de vista de costos. El programa de Constructabilidad debe ser utilizado como una consideración de diseño, de modo que los mejores resultados ofrezcan lo mejor de ambos.

La Constructabilidad requiere que las empresas (dueños y contratistas) vayan más allá de los enfoques convencionales de ejecución de proyectos, para expandir la planeación inicial e invertir esfuerzos adicionales para anticiparse a posibles problemas de construcción, pero siempre aplicando por adelantado el conocimiento de construcción y las mejores prácticas en la planeación de los proyectos. Los beneficios completos de la Constructabilidad requieren de un enfoque proactivo por parte de todos los miembros del equipo del proyecto.

La Constructabilidad es implementada a través de los esfuerzos del equipo, incluyendo a los representantes del dueño, a ingeniería, a procuración y a los profesionales de la construcción, los cuales trabajan juntos hacia metas en común como la calidad de las instalaciones y la optimización de los costos y programas.

El programa de Constructabilidad se debe hacer para determinar los tiempos y la incorporación de las actividades clave dentro de todas las etapas del proyecto. El programa de actividades será usado para incorporar los conceptos de Constructabilidad dentro de las etapas del proyecto.

Los dueños o contratistas pueden optar por implementar programas a nivel corporativo y/o a nivel de proyectos, esto dependiendo de varios factores, como el compromiso, el apoyo de la gerencia, el presupuesto, etc.

Establecer una estrategia y la asignación de un líder de Constructabilidad facilitará la implementación del programa de Constructabilidad, el cual se divide en dos partes, a nivel corporativo y a nivel de proyecto.



Es recomendable que un programa sólido de Constructabilidad se establezca a nivel corporativo antes de iniciar un programa a nivel de proyecto. Este enfoque garantiza que todas las ayudas que se requieran se han definido y establecido de acuerdo a las necesidades.

Programa a nivel corporativo

Estos programas abarcan a las grandes empresas que se dan cuenta de los beneficios de un alto nivel de Constructabilidad y cuentan con recursos suficientes pueden optar por implementar un programa a nivel corporativo. Para poder implementar un programa se deben desarrollar los siguientes pasos: auto-evaluación, una política corporativa, organización y procedimientos con capacitación y evaluación y desarrollar una base de datos de Constructabilidad.

La implementación y aplicación del programa de Constructabilidad debe ser guiado por un individuo responsable y experto en la construcción para que se pueda desenvolver sin problemas. La idea de implementar programas de Constructabilidad a nivel corporativo es mejorar la capacidad de construcción de la empresa en general, para lograr mayores beneficios, ya sea en ganancias y en reputación (Construction Industry Institute, 1987).

Programa a nivel de proyectos

Un programa a nivel de proyecto puede ser resultado de dos situaciones. Uno de ellos podría ser que una empresa tome medida con respecto a un proyecto individual aplicándole un programa de Constructabilidad, ya sea por medio de una consultora o por el contrato de un experto en la aplicación de este tema. El otro caso es que el dueño (ya sea privado como gubernamental) encuentre que esta es una herramienta útil para el desarrollo del proyecto y exija en las bases, previas a la licitación que este cuente con un programa de Constructabilidad para el desarrollo de este (Construction Industry Institute, 1987).



5.2 Enfoque de los programas de Constructabilidad

Los programas de Constructabilidad pueden ser implementados con dos tipos de enfoque, el formal y el informal. El enfoque informal suele ser distinguible de otras actividades de gestión de la construcción como incluir revisiones de diseño y coordinar la construcción. El enfoque formal, por lo general tiene una filosofía corporativa y documentada, que puede implementar las experiencias y capacidades aprendidas de programas realizados en proyectos anteriores, como ejercicios del trabajo en equipo, el personal, ya sea mano de obra u oficina técnica. Un enfoque de Constructabilidad formal, puede producir mayores beneficios que los métodos informales (Russell et al, 1994). La decisión sobre que método implementar, depende de varios factores, incluyendo las características del proyecto y el dueño de este, entre otras.

Gugel y Russell (1994) presentan un modelo de selección de enfoque de la Constructabilidad, que ayuda a los propietarios en forma eficiente a determinar los medios apropiados, que permitan incorporar a la construcción el conocimiento y la experiencia en el diseño de sus proyectos. En base a esta investigación, se presentan tres enfoques del programa de Constructabilidad, uno informal y dos formales, estos han sido identificados de la siguiente manera:

- ✓ Programa informal del proyecto
- ✓ Programa formal del proyecto
- ✓ Programa formal integral del proyecto

El modelo consta de una jerarquía de niveles de decisión. Dentro de estos niveles, existen tres pasos:

1. La evaluación individual de las características del propietario y el proyecto resultante en una sola conclusión de un enfoque formal o informal
2. La combinación de la evaluación del propietario y las características del proyecto en una sola conclusión de un enfoque formal o informal



3. Si se concluye un enfoque formal, se necesita una decisión en cuanto a si es a nivel de proyecto formal o seguimiento integral.

Estos modelos pueden ayudar a los propietarios en forma eficiente para determinar los medios apropiados que permitan incorporar la construcción del conocimiento y experiencia en el diseño de sus proyectos (Gugel y Russell, 1994).

5.3 Evaluación del programa de Constructabilidad

Siendo la Constructabilidad un proceso de mejora continua las actividades, esfuerzos y resultados son continuamente evaluados. Este proceso de evaluación considera el establecimiento de los objetivos, autoevaluación, comparación contra programas exitosos en su clase y la medición del avance.

Los resultados de un programa de autoevaluación de Constructabilidad pueden ser medidos en los siguientes casos:

- ✓ Establecer y clarificar de forma realista los objetivos del programa de Constructabilidad
- ✓ Identificar los beneficios actuales del programa
- ✓ Identificar las necesidades para mejorar el programa

Se tienen identificados quince parámetros clave que impactan la efectividad en la aplicación de la Constructabilidad. Estos quince parámetros están clasificados en cuatro grupos y se describen a continuación:

Grupo 1. Cultura Corporativa

- ✓ Reconocimiento y designación oficial de la gerencia a las actividades de Constructabilidad
- ✓ Establecimiento de una política escrita y promoviendo el compromiso de la organización ante la Constructabilidad
- ✓ Sensibilización de la gerencia para el apoyo a la Constructabilidad



- ✓ Realización de actividades enfocadas a identificar y superar las barreras de la Constructabilidad
- ✓ Sesiones de capacitación periódica y de información para la orientación, reforzamiento de los objetivos y sobre las metodologías de Constructabilidad

Grupo 2. Personal

- ✓ Designación de un ejecutivo responsable para la Constructabilidad
- ✓ Contar con una organización corporativa efectiva que de soporte a la Constructabilidad
- ✓ Definición de los roles y responsabilidades de la Constructabilidad en proyectos específicos

Grupo 3. Documentación y seguimiento

- ✓ Actividades de documentación de los procedimientos de Constructabilidad en los niveles corporativo y de proyecto
- ✓ Captura y difusión de las lecciones aprendidas de Constructabilidad
- ✓ Seguimiento a la implementación de tecnologías avanzadas de construcción y su difusión
- ✓ Hacer referencia en los documentos contractuales los conceptos de Constructabilidad
- ✓ Seguimiento y difusión de los impactos significantes de las buenas ideas implementadas en la Constructabilidad

Grupo 4. Implementación

- ✓ Conocer la naturaleza del proyecto para la implementación de las actividades
- ✓ Aplicación de los conceptos de Constructabilidad del CII (Construction Industry Institute)



CAPÍTULO VI

6.1 Implementación de la Constructabilidad

Para implementar con éxito la Constructabilidad el cliente debe dejar en claro los objetivos prioritarios del proyecto y permitir que la Constructabilidad sea valorada como un atributo del rendimiento del mismo. Dichos objetivos deben ser claramente identificados por los miembros del proyecto para conseguir un buen desarrollo de esta metodología, pero también es muy importante tener en cuenta la idea que las decisiones tomadas en las primeras etapas del ciclo de la vida del proyecto, tienen un potencial de influencia sobre el resultado final del mismo, mayor al de las tomadas en las últimas etapas de este. Por lo tanto, es de vital importancia la toma de decisión en la factibilidad, diseño, adquisiciones y construcción desde el primer momento, como se muestra la figura 6.1 (McGeorge y Palmer, 1997).

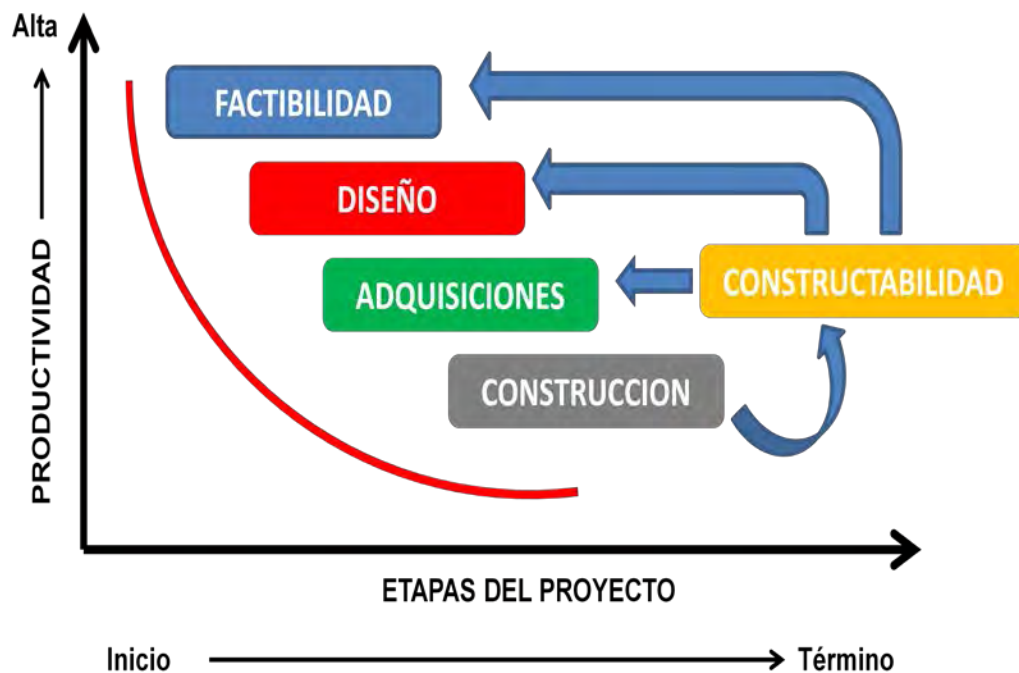


Figura 6.1. Ahorro documentado de la Constructabilidad



La clave para conseguir una implementación de la Constructabilidad con éxito radica en una comunicación efectiva entre los miembros del equipo, donde el diseño, la forma de construir y el compromiso con esta metodología facilitan la interrelación de estos, en un contexto de trabajo de equipo multidisciplinario.

La implementación de la Constructabilidad requiere la inclusión del personal de construcción sin ningún tipo de barrera en el proceso de ingeniería, diseño y planificación, todo esto para garantizar la aportación de su experiencia y conocimiento de construcción. La Constructabilidad es benéfica durante las primeras fases del proyecto cuando la sensibilidad del costo se maximiza. Las oportunidades de ahorro de costos son más altas durante las etapas del diseño conceptual y de detalle, y disminuyen a medida que se avanza en el programa del proyecto. Maximizar el ahorro de costos y mejoras al programa debido a la Constructabilidad soportaran los objetivos de costos y de programa a lo largo de la duración del proyecto.

En el plan de implementación se incluyen los presupuestos para el programa de Constructabilidad. Estos estimados se pueden volver parte de los estimados de la ingeniería total del proyecto, diseño, procuración, soporte y costos indirectos. El enfoque y las ideas de Constructabilidad deben ser mencionadas dentro de las reuniones durante todas las etapas del proyecto por los miembros principales, los cuales deben ser cuidadosos de sus responsabilidades para dar los mejores resultados, y dar seguimiento para maximizar los beneficios de la Constructabilidad en el proyecto.

6.2 Factores que dificultan la implementación de la Constructabilidad

Una revisión de la literatura se llevó a cabo para identificar los factores que obstaculizan la implementación de la Constructabilidad. Mediante la combinación de esta revisión de la literatura, así como la experiencia de ingenieros y contratistas, los principales factores que obstaculizan la implementación de la Constructabilidad fueron identificados.



Se clasifican en nueve factores principales que cubren las principales fases en el ciclo de vida del proyecto, y cada factor se divide en sub factores como se muestra a continuación:

6.2.1 Relacionados con la administración del proyecto

- ✓ El dueño no está comprometido y no está apoyando el proyecto
- ✓ Las fases de construcción no están analizadas por el consultor
- ✓ Las etapas de diseño no están revisadas por el consultor
- ✓ El contratista no está involucrado en la preparación y el diseño del proyecto
- ✓ La ambigüedad o contradicción en los documentos del proyecto
- ✓ El proyecto no se ejecuta de acuerdo al programa
- ✓ No se aplican las lecciones aprendidas de proyectos anteriores
- ✓ El contratista no tiene ningún objetivo en el proyecto o se limita a la obtención de beneficios
- ✓ El contratista no está interesado en la calidad durante la ejecución del proyecto
- ✓ No se siguen las medidas de seguridad
- ✓ La falta o ausencia de apoyo a la administración de proyectos de los contratistas
- ✓ La falta o ausencia de entrenamiento a los trabajadores
- ✓ Los subcontratistas de acabados no están involucrados desde el inicio del proyecto
- ✓ La última tecnología no se está utilizando en el proyecto
- ✓ La administración del proyecto no está dispuesta a aceptar cualquier riesgo relacionado con los trabajadores
- ✓ La ausencia de motivación para los empleados del proyecto
- ✓ La falta o ausencia de control de los riesgos del proyecto por parte del contratista
- ✓ Insuficiente número de empleados necesarios en las actividades del proyecto



6.2.2 Relacionados con los empleados

- ✓ La falta de experiencia de los empleados en el proyecto
- ✓ La falta de habilidades de los empleados en el proyecto

6.2.3 Relacionada con las relaciones y comunicaciones

- ✓ Las malas relaciones entre una de las disciplinas o más en el proyecto
- ✓ La falta de comunicación entre una de las disciplinas o más en el proyecto
- ✓ Existencia de reclamaciones entre las disciplinas del proyecto
- ✓ La existencia de conflictos entre una de las disciplinas o más en el proyecto
- ✓ Falta de confianza mutua entre las disciplinas en el proyecto
- ✓ Mala relación entre los empleados del proyecto

6.2.4 Relacionado con el conocimiento y la experiencia

- ✓ La falta de experiencia y la práctica del dueño o su representante
- ✓ La ignorancia de la última tecnología
- ✓ La falta de experiencia y la práctica del contratista
- ✓ La falta de experiencia y la eficiencia del equipo que participa en el proyecto

6.2.5 Relacionada con el proceso de ejecución del proyecto

- ✓ La falta de conocimiento de los códigos y las especificaciones utilizadas
- ✓ La ausencia de pre montaje antes de la ejecución del proyecto
- ✓ La ausencia o falta del proceso de ejecución del proyecto
- ✓ La ausencia de evaluación y documentación del proyecto
- ✓ Malos métodos de adquisición
- ✓ Exceso de tiempo en las órdenes de cambio
- ✓ La ausencia o no seguir el plan de ejecución del proyecto
- ✓ Las prioridades no son aplicadas en el proyecto
- ✓ Los re trabajos de algunas actividades del proyecto
- ✓ La interrupción de las actividades del proyecto



6.2.6 Relacionado con la naturaleza del proyecto

- ✓ Dificultades y complejidades del proyecto
- ✓ La lejanía del proyecto y la falta de servicios públicos

6.2.7 Relacionadas con cuestiones financieras

- ✓ El presupuesto del proyecto está limitado
- ✓ No hay una revisión del costo del proyecto antes de la ejecución
- ✓ Estimaciones incorrectas del proyecto
- ✓ Un inadecuado sistema de pagos intermedios y finales
- ✓ Existencia de daños en el proyecto

6.2.8 Relacionadas con cuestiones políticas

- ✓ Cierre recurrente de cruces
- ✓ Existencia de conflictos políticos

6.2.9 Relacionada con otros asuntos diversos

- ✓ El tipo de contrato
- ✓ La falta de equipo para uso del proyecto
- ✓ Existencia de las cuestiones ambientales y el mal tiempo
- ✓ La baja productividad en el proyecto
- ✓ Extensas regulaciones, legislaciones y licencias requeridas

6.3 Guía de implementación de la Constructabilidad

Como todo proceso de mejoramiento, la planificación detallada durante la implementación es la clave del éxito. En el caso particular de la Constructabilidad, es muy importante diseñar los pasos a seguir y planificar todos los detalles necesarios para la implementación de la estrategia en el proyecto. El plan de ejecución deberá definir claramente los objetivos y explicar en detalle cómo funcionará el equipo de



Constructabilidad. La definición de los procedimientos y otros detalles operativos son importantes, ya que de otra forma, la interacción, entre el equipo de ingeniería conceptual y el equipo de construcción puede verse en dificultades.

Por otra parte, una planificación inadecuada de la implementación podría desencadenar lo siguiente:

- ✓ Actividades de construcción en secuencias incorrectas
- ✓ Altas concentraciones de personal en determinadas actividades
- ✓ Paquetes para licitación incompletos
- ✓ Pedidos de materiales insuficientes
- ✓ Diseño acelerado, el cual puede conducir a rehacer trabajos

Algunos puntos que se deben de abordar en el plan de implementación del programa de Constructabilidad son:

- ✓ Alcances del proyecto
- ✓ Organización del proyecto
- ✓ Procedimientos operacionales
- ✓ Presupuesto
- ✓ Plan de diseño
- ✓ Cronograma del proyecto
- ✓ Plan de contratación / subcontratación
- ✓ Sistemas constructivos propuestos
- ✓ Plan de instalación en sitio

La Constructabilidad debe de implementarse desde el inicio del proyecto, es decir a partir de la propuesta, durante el desarrollo del proyecto y termina con el arranque y puesta en marcha de la planta.

La implementación de la Constructabilidad se efectúa a través de la realización de programas sólidos. La Constructabilidad como programa no se refiere a un conjunto de



actividades representadas con barras en un periodo de tiempo; si no al conjunto de esfuerzos, sistema o metodología para el logro eficiente del diseño, la ingeniería y construcción mediante la integración adecuada de los proyectos.

El diagrama de flujo para la implementación de la Constructabilidad se muestra en la figura 6.2 y fue desarrollado para orientar las actividades de planificación, desarrollo e implementación de los programas tanto a nivel corporativo como a nivel proyecto.

Existen veinte herramientas que ayudan en la implementación de un programa de Constructabilidad. Estas herramientas direccionan el diagrama de flujo, la terminología, la evaluación del programa, la documentación del programa y la aplicación de los conceptos de Constructabilidad, y nos da un panorama general del proceso, resaltando las siguientes seis etapas:

1. Compromiso para implementar la Constructabilidad
2. Establecer un programa de Constructabilidad
3. Obtener los recursos necesarios para la Constructabilidad
4. Plan para la implementación de la Constructabilidad
5. Implementación de la Constructabilidad
6. Actualización periódica del programa corporativo

El diagrama de flujo es de utilidad para los dueños, diseñadores y contratistas ya que direcciona los programas tanto a nivel corporativo como a nivel proyecto. El diagrama de flujo representa como idealmente una empresa deberá implementar su programa de Constructabilidad a nivel corporativo y a nivel proyecto centrándose en las acciones listadas en los acuerdos para implementar la Constructabilidad.

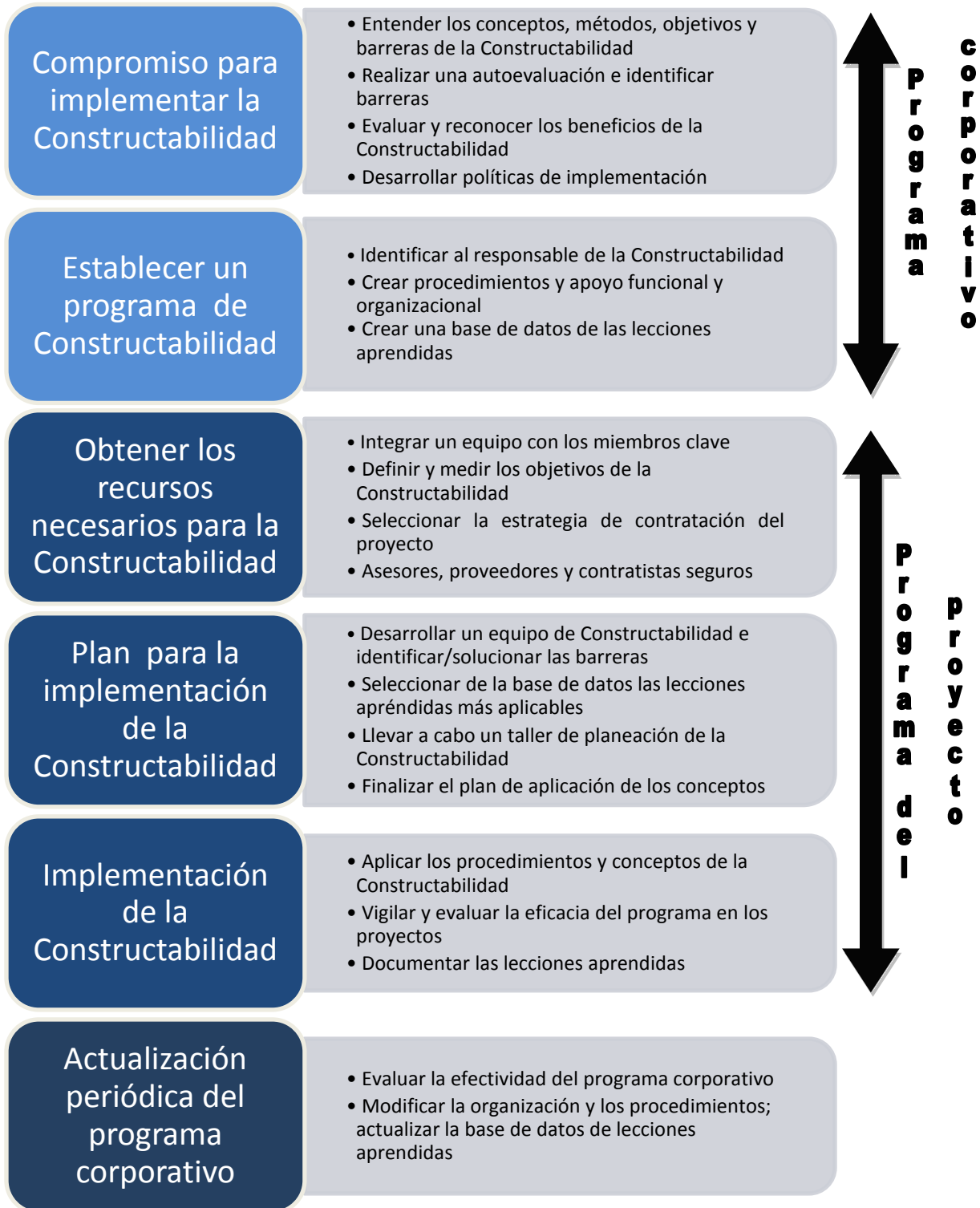


Figura 6.2. Diagrama de flujo para la implementación de la Constructabilidad



6.4 Plan de trabajo para implementar un programa de Constructabilidad

El plan de trabajo para implementar un programa de Constructabilidad se divide en dos partes, una a nivel corporativo y otra a nivel de proyecto. La figura 6.2 muestra las etapas y las actividades que se involucran en el desarrollo del programa corporativo:

1. Compromiso para implementar la Constructabilidad
2. Establecer un programa de Constructabilidad

El proceso de Constructabilidad a nivel de proyecto se compone de 3 etapas:

1. Obtener los recursos necesarios para la Constructabilidad
2. Elaborar el plan de implementación de la Constructabilidad
3. Implementación de la Constructabilidad

Estas etapas y los pasos a seguir están mostrados en la Figura 6.2 y se describen a continuación:

6.4.1 Programa de Constructabilidad a nivel corporativo

Es recomendable que un programa sólido de Constructabilidad se establezca a nivel corporativo antes de iniciar un programa a nivel de proyecto. Este enfoque garantiza que todas las ayudas que se requieran se han definido y establecido de acuerdo a las necesidades. Establecer una estrategia y la asignación de un líder fuerte de Constructabilidad facilitará la implementación del programa.

6.4.1.1 Compromiso para implementar la Constructabilidad

Lo primero que debe hacerse para lograr la implementación de la Constructabilidad es comprometerse, es muy importante que el compromiso este bien desarrollado, claro y sobre todo totalmente comprensivo desde el administrador principal de la organización hasta todo aquel individuo que participe en los proyectos, a fin de asegurar un alto nivel de entendimiento y compromiso para obtener como resultado un programa exitoso.



El programa de Constructabilidad será efectivo si se logra un buen entendimiento de los acuerdos y el desarrollo de las actividades. Los pasos a seguir en esta etapa se describen a continuación:

6.4.1.1.1 Entender los conceptos, métodos, objetivos y barreras de la Constructabilidad

Para reforzar el compromiso organizacional de la Constructabilidad, el personal de la empresa en todos los niveles debe estar familiarizado con los conceptos, métodos y objetivos del programa de Constructabilidad. Las primeras actividades deben ser enfocadas a asegurar un alto nivel de comprensión y compromiso por parte del nivel gerencial de la empresa. Deben impartirse a todos los niveles de la empresa seminarios y cursos de capacitación para dar a conocer este proceso. Los cursos de formación y actualización deben ser parte del programa general obligatorio de la empresa para que tanto los nuevos empleados como el personal actual se familiaricen con el programa de Constructabilidad. La educación y sensibilización de los esfuerzos de Constructabilidad deben cubrir los siguientes puntos:

- ✓ Las metas deben ser claras y bien definidas en el programa de Constructabilidad
- ✓ Los métodos principales de Constructabilidad promueven discusiones sobre las inquietudes y expectativas del proceso de Constructabilidad
- ✓ Explicar y difundir los Conceptos de Constructabilidad y su aplicación
- ✓ Explicar detalladamente los beneficios de los hitos y actividades de la Constructabilidad
- ✓ Hacer distinción entre los procedimientos tradicionales y los métodos de Constructabilidad (ingeniería de valor)
- ✓ Tener una perspectiva clara de los roles y actividades del nivel corporativo y del nivel de proyecto en la aplicación de la Constructabilidad
- ✓ Análisis y discusión de los problemas y las barreras que se pueden encontrar
- ✓ Distribución de la guía de implementación y cualquier otro documento relacionado



6.4.1.1.2 Realizar una autoevaluación e identificar barreras

Se requiere llevar a cabo una evaluación interna de las prácticas y competencias actuales sobre la Constructabilidad. La evaluación determina el grado de desempeño de las prácticas en uso identificándose así las necesidades de mejora y capacitación.

Los resultados en la autoevaluación permiten consolidar lo siguiente:

- ✓ Clarificar los objetivos del programa de Constructabilidad
- ✓ Identificar los beneficios actuales y futuros del programa
- ✓ Definir e identificar las áreas de mejora en los programas
- ✓ Estado actual del “benchmarking” de la Constructabilidad de la empresa para futuras referencias

La autoevaluación periódica se enlaza con la mejora continua en los programas de “benchmarking” de la empresa, en el establecimiento de los objetivos, en la medición del avance, así como en la identificación de barreras. Las metas de la autoevaluación de la Constructabilidad son para ponderar el alcance de las necesidades del programa (requerimientos), y su eficacia aplicando parámetros de desempeño (resultados).

Los requerimientos incluyen todas las actividades de implementación, tanto a nivel de proyecto como a nivel corporativo. Estos esfuerzos incluyen elementos tales como la designación y documentación del programa, aplicación de los conceptos de Constructabilidad y de las lecciones aprendidas, identificación de las barreras, etcétera. Algunos de los requerimientos están directamente ligados a la medición de resultados específicos tal como dar seguimiento a la Constructabilidad. Esto demuestra que la retroalimentación continua y la evaluación son parte integral del proceso de Constructabilidad. El desempeño del programa es medido con parámetros cualitativos y cuantitativos (efectividad con la que se llevan a cabo las actividades). Las condiciones a nivel de proyecto son evaluadas con la medición cuantitativa; la valoración de estos parámetros es tomada en cuenta a nivel corporativo para ayudar al seguimiento efectivo del programa global.



6.4.1.1.3 Evaluar y reconocer los beneficios de la Constructabilidad

Es recomendable establecer las metas antes de implementar la estrategia para el programa de Constructabilidad. Algunas de las metas pueden ser:

- ✓ Promover y difundir una visión única del programa
- ✓ Transmitir y promover el entusiasmo dentro de la organización
- ✓ Ser la fuente de motivación para las actividades de Constructabilidad

Los objetivos deben ser descritos por los beneficios cuantitativos del programa. Tales objetivos son específicos por proyecto y de alto valor agregado (ahorro en los costos, reducción de horas de trabajo, reducción de los re-trabajos y minimización de los retrasos debidos a la procuración). Estos mismos parámetros son monitoreados globalmente para verificar la efectividad del programa y los resultados contra las metas establecidas.

Los beneficios intangibles de la Constructabilidad son tan importantes como los cuantitativos y deben ser valorados debidamente. Tales como; estimados y programas más precisos, arreglos de sitio mejorados, mejores relaciones en el equipo de trabajo, mejoras en la seguridad y repetir trabajos con el mismo cliente.

Los beneficios cuantitativos de la aplicación efectiva de la Constructabilidad incluyen:

- ✓ Reducción del costo total del proyecto en un rango del 1% al 11%
- ✓ Reducción total del programa en un rango del 5% al 10%
- ✓ Relación de la consistencia, documentación, beneficios cuantificados entre los costos de 10:1

Cuando el seguimiento en los proyectos es deficiente sucede que algunos de los beneficios van más allá de lo que quedo documentado, esto puede ocasionar que la valoración de los resultados se subestime no siendo reconocidos los beneficios reales, igualmente sucede cuando se trata de las mejoras en seguridad, protección, programación, costo, y calidad.



Una vez identificadas la metodología para lograr los resultados esperados se deben integrar en el plan de ejecución de la Constructabilidad a la par de incorporar estos en los procedimientos de evaluación y medición para valorarlos correctamente.

6.4.1.1.4 Desarrollar políticas de implementación

La adopción e incorporación de la política de Constructabilidad le da alta visibilidad al plan y programa, advierte del compromiso de la alta dirección y gerencia, y dimensiona el nivel de recursos requeridos por el programa. Esta política contiene necesariamente los siguientes elementos clave:

- ✓ Declaración de las objetivos de la Constructabilidad de la organización
- ✓ Indica el grado de compromiso de la alta gerencia
- ✓ Identifica al responsable funcional de la Constructabilidad
- ✓ Vincula al proyecto con el grado de implementación

El programa de Constructabilidad requiere de un alto compromiso empresarial que permita maximizar una implementación efectiva y consistente. Idealmente la Constructabilidad debe ser parte de la cultura empresarial y estar integrada en los procedimientos de aplicación diaria. Para lograr esta meta la política de implementación debe ser difundida en todos los niveles de la organización. La implementación va de la mano con la impartición de seminarios y capacitación, así como ser parte de otros programas de mejora continua. Como resultado y expectativa final la Constructabilidad debe ser consistente y compatible con otras actividades, y hacer sinergia con el proceso global de mejora.

6.4.1.2 Establecer un programa de Constructabilidad

En esta etapa se muestran los pasos para establecer el programa de Constructabilidad a nivel empresarial para el cliente, el diseño y los subcontratistas. La Figura 6.2 ilustra las tres actividades básicas (eventos clave) para establecer un programa de Constructabilidad.



6.4.1.2.1 Identificar al responsable de la Constructabilidad

Para que el programa de Constructabilidad resulte exitoso se requiere contar con un responsable a nivel directivo que desempeñe sus actividades consistentes a mantener la visión, así como un alto nivel de aceptación y conocimiento sobre el programa de Constructabilidad. Más que promover la Constructabilidad, el responsable debe ser el catalizador del cambio y nuevas ideas, soportando por medio de apoyos selectivos los esfuerzos y actividades de la implementación en los niveles bajos de la organización.

El responsable del programa debe ser alguien reconocido ampliamente como un líder con una amplia experiencia en la administración de proyectos y con las competencias requeridas para asegurar que los recursos se están aplicando correctamente. En otras palabras el responsable es el directivo capaz de conducir el programa y obtener buenos resultados. Es de suma importancia entender que las calificaciones que debe tener el responsable son claves para obtener resultados exitosos, tales como:

- ✓ Alto nivel de autoridad e influencia
- ✓ Dedicado y enfocado a la Constructabilidad
- ✓ Disponibilidad de tiempo para ejercer el liderazgo
- ✓ Capacidad de sensibilizar y dar retroalimentación con habilidades interpersonales efectivas
- ✓ Capacidad y experiencia para desempeñar efectivamente el puesto

Una vez seleccionado, se le debe otorgar las facultades necesarias para ejercer y dar soporte total al equipo funcional de Constructabilidad.

6.4.1.2.2 Crear procedimientos y apoyo funcional y organizacional

Para poder facilitar e implementar la Constructabilidad en los proyectos se requiere contar con personal clave para asegurar la coordinación de proyecto a proyecto. Así como garantizar la vinculación de manera efectiva en cuanto a las necesidades de



información y experiencia que se requiere en los proyectos. Para lo cual son necesarios, un director del programa y un custodio de la base de datos:

El director del programa, tanto como el responsable directivo y los coordinadores de la Constructabilidad del proyecto, deben tener una amplia experiencia en la construcción y en la administración de proyectos, un profundo conocimiento de las necesidades y requerimientos en el diseño y fuertes habilidades de comunicación. En organizaciones pequeñas o proyectos, el director del programa puede también fungir como el coordinador de la Constructabilidad en el proyecto. El director del programa es responsable de lo siguiente:

- ✓ Coordinar diariamente los esfuerzos y actividades relevantes de la Constructabilidad en toda la empresa
- ✓ Seleccionar y mantener informados a los coordinadores del proyecto
- ✓ Los programas de capacitación
- ✓ Seguimiento y evaluación continua de las barreras empresariales
- ✓ Establecer y afinar la base de datos de las lecciones aprendidas
- ✓ Identificación y eliminación de las barreras del programa
- ✓ Seguimiento de los objetivos del programa global
- ✓ Garantizar la comunicación de las buenas ideas y de la historias de éxito a través de los proyectos
- ✓ Soporte y asistencia general a los coordinadores de la Constructabilidad en el proyecto

El custodio de la base de datos es responsable de la documentación, seguimiento y distribución de las ideas y lecciones aprendidas. Esta posición también debe asistir a los coordinadores del proyecto y al gerente del programa (junto con otros especialistas técnicos) en el filtrado y evaluación de las ideas. En adición a la experiencia de construcción y la gestión de proyectos, este puesto por si solo debe poseer fuertes habilidades de comunicación y conocimientos profundos sobre el manejo, almacenamiento y recuperación de datos en forma electrónica.



El equipo funcional (empresarial) de Constructabilidad no es el mismo que funciona a nivel proyecto (uno por proyecto), estos dos equipos deben trabajar cercanamente y con comunicación efectiva.

Para el caso de organizaciones pequeñas a medianas, es factible que una sola persona puede ejecutar tres roles: el de custodio de la base de datos, el del gerente funcional del programa y el de promotor. Para tales organizaciones resulta impráctico que cada rol requiera a alguien de tiempo completo. La organización de la Constructabilidad para el soporte del programa no requiere ser grande o muy costosa, pero si debe establecerse formalmente. El programa de capacitación y orientación de la Constructabilidad para los empleados debe ser parte del programa empresarial con el soporte funcional.

6.4.1.2.3 Crear una base de datos de las lecciones aprendidas

La figura 6.3 muestra como la base de datos de las lecciones aprendidas es uno de los mecanismos para obtener y documentar las ideas. Las ideas también provienen sobre las discusiones de los proyectos sobre los conceptos de Constructabilidad, ya sea a nivel proyecto o a nivel corporativo.



Figura 6.3 Recursos para mejorar la Constructabilidad en el proyecto



La necesidad de la base de datos de las lecciones aprendidas de la Constructabilidad no debe exagerarse. Es suficiente si en la base de datos se pueden encontrar registradas fallas pasadas y factores de éxito que logren aplicarse a los proyectos en ejecución, reforzándose también así la mejora continua de los proyectos.

Las ideas de Constructabilidad provienen de diferentes fuentes y con una variedad de formas. Las fuentes potenciales incluyen al líder de ingeniería, las disciplinas de ingeniería, al personal de procuración, los superintendentes, al sobrestante, al trabajador, a los proveedores, a los inspectores, a los coordinadores de área, personal en campo de la empresa, personal de campo de ingeniería, personal del cliente y otros más durante las diferentes etapas del proyecto. Los medios o mecanismos para recopilar las ideas de Constructabilidad incluyen reportes mensuales de avance, reportes finales (de cierre) del proyecto, entrevistas personales, del buzón de sugerencias, minutas y notas de las reuniones en la planeación del proyecto.

Las ideas deben quedar escritas en un formato, el cual debe contener campos específicos para registrar la información del seguimiento y evaluación de las ideas en su implementación. Esta información debe estar documentada por cada idea o sugerencias. El criterio de evaluación de las ideas debe ser establecido previamente e incluir el impacto estimado del costo, del programa, de la calidad y de la seguridad. Para decidir si un idea se implementa hay que tomar en cuenta en la evaluación si las horas hombre son de ingeniería o construcción, si se requieren recursos u horas hombre de las gerencias o bien hay riesgo o incertidumbre.

Los participantes del equipo funcional y del proyecto pueden sugerir otras alternativas para el diseño o para la construcción, sin embargo es importante reconocer que puede haber propuestas que no mejoren el objetivo original, por lo que probablemente estén presentando problemas de enfoque o aplicabilidad o bien están detectando una situación problemática.



Cuando esta situación se presente es recomendable no desechar estas propuestas de baja aplicabilidad ya si no aplican para este proyecto en específico pueden ser benéficas para otros proyectos. Por esta razón es importante no tener prejuicios sobre las ideas, ya que el resultado podría ser el desalentar al personal en futuras contribuciones.

Esfuerzos previos son realizados para resaltar y dar retroalimentación a los generadores de ideas, con el propósito de que tomen la iniciativa de encontrar "mejores formas de trabajar". Los participantes requieren de una retroalimentación positiva de mérito o valor de sus propuestas. Siendo deseable dar premios o implementar un sistema de reconocimiento con beneficios tales como; premios económicos, comidas de reconocimiento, etiquetas alusivas, privilegios de estacionamiento, inclusive breves reconocimientos públicos tanto en eventos como en publicaciones, con la finalidad de alentar, potenciar más y mantener el interés en la entrega de buenas propuestas de Constructabilidad.

Las ideas recopiladas y documentadas deben estar organizadas o actualizarlas periódicamente por medio de un sistema que facilite el re-uso en los proyectos futuros. Usualmente estos sistemas tienen unas bases de datos electrónicas de las ideas o propuestas ordenadas por área de trabajo o disciplina (ejemplo: civil, tuberías, instrumentación, etc.) y por etapa del proyecto (ejemplo: planeación conceptual, diseño detallado, procuración, construcción y arranque).

Se recomienda para cada registro los siguientes campos en la base de datos:

- ✓ Descripción breve del título de la idea
- ✓ Descripción detallada de la idea
- ✓ Las disciplinas y las áreas de trabajo por categorías y sub-categorías (ejemplo, tuberías: fabricación o eléctrico)
- ✓ Etapa del proyecto (ejemplo: diseño detallado, procuración, construcción, etc.)



- ✓ Los principales impactos en el proyecto (ejemplo: reducir gastos y horas de trabajo, acortar la duración, mejorar la seguridad, eliminar materiales, etc.)
- ✓ Necesidad de actualizar/modificar las especificaciones generales
- ✓ Proyectos en los cuales se ha aplicado la idea
- ✓ Contactos para mayor información
- ✓ Indicar las referencias de la literatura del fabricante

La base de datos debe estar disponible tanto en copia dura como electrónica.

6.4.2 Programa de Constructabilidad a nivel de proyecto

El proceso de Constructabilidad se debe iniciar inmediatamente después de la concepción de proyecto por parte del cliente, o bien durante la preparación de la oferta y en el caso de ganarse el proyecto se debe poner especial énfasis en la continuidad del programa durante la transferencia al equipo del proyecto. Para los casos en que el proyecto fue ganado sin considerar la Constructabilidad, debe evaluarse desde el momento mismo de la adjudicación que alcance de Constructabilidad va aplicarse.

Desde el inicio del proyecto la Constructabilidad debe continuar a través de la planeación del proyecto, el diseño, la procuración, la construcción y el arranque. Como ya hemos mencionado mientras más temprano se inicie el proceso de la Constructabilidad es más grande el potencial de ahorro. Además, la Constructabilidad juega un rol clave en la selección de contratistas, proveedores y consultores.

A continuación se describe cada uno de los pasos a seguir en cada una de las tres etapas del programa a nivel proyecto. Hay que tener en cuenta que el mismo programa aplica a todos los participantes en el proyecto (aunque algunas partes son más relevantes en áreas específicas de proyectos). La información esta presentada como un proceso secuencial siendo el punto de partida para el desarrollo e implementación del programa de Constructabilidad. Las partes relevantes de dicho programa pueden ser integradas al programa de Constructabilidad funcional.



6.4.2.1 Obtener los recursos necesarios para la Constructabilidad

Para obtener las competencias para la Constructabilidad en el proyecto, se deben evaluar la experiencia de sus trabajadores y en dado caso considerar la contratación del experto en la Constructabilidad. Como se muestra en la Figura 6.2, hay cuatro pasos generales para adquirir las capacidades necesarias para la Constructabilidad:

6.4.2.1.1 Integrar un equipo con los miembros clave

El gerente del proyecto y los miembros del equipo tienen una influencia crítica en el éxito de la Constructabilidad en el proyecto. Solo cuando el equipo está completamente comprometido con la planeación y la implementación del programa de Constructabilidad se puede asegurar que se logran beneficios máximos.

Para asegurar las actividades de la Constructabilidad, es conveniente, seleccionar un gerente comprometido con la Constructabilidad y establecer los criterios clave de selección del resto de equipo.

a) Seleccionar un gerente de proyecto comprometido con la Constructabilidad

El rol del gerente de proyecto juega un papel vital en las decisiones para implementar el programa de Constructabilidad en el proyecto. Además la efectividad del programa depende del énfasis que él ponga en los conceptos de la Constructabilidad. Es extremadamente difícil de pensar que sin el compromiso con responsabilidad del gerente, la Constructabilidad pueda ser influenciada de forma positiva. El gerente debe ser capaz de conducir y liderar al equipo en lo siguiente:

- ✓ Establecer un entorno de apoyo en el proyecto. Los roles, responsabilidades, acciones y líneas de comunicación del equipo del proyecto deben facilitar la aportación y retroalimentación de los conocimientos y experiencia temprana y significativa de la construcción



- ✓ Lograr el compromiso de incrementar la rentabilidad. El gerente de proyecto debe insistir en que el personal de construcción aporte las decisiones más importantes. Por lo que deberá hacer hincapié en la importancia e impacto que tiene la toma de decisiones en los costos del proyecto
- ✓ Hacer uso de la Constructabilidad para encontrar objetivos aplicados en otros proyectos. Igualmente respalda objetivos tradicionales de costo, programa, calidad, seguridad y salvaguarda. La Constructabilidad también puede proporcionar ventajas y desventajas cuando existen conflictos entre los objetivos
- ✓ Asegurar el involucramiento de construcción. El equipo del proyecto debe conseguir y retener al personal de construcción que ha estado involucrado en la toma de decisiones gerenciales y técnicas importantes. El cliente y el gerente deberán lograr un balance entre las necesidades de diseño y las de construcción

b) Miembros clave del equipo

Al igual que el gerente de proyecto, los miembros clave del equipo deben estar comprometidos con la Constructabilidad. Si algunos miembros del equipo no están familiarizados con la filosofía de la Constructabilidad, entonces deben ser informados para que conozcan los beneficios que se logran obtener con la aplicación de este concepto. El involucramiento de estos miembros depende del nivel de experiencia de otros participantes y de la estrategia de contratación. Un conjunto de criterios debe ser establecido para la selección de los miembros clave del equipo, tales como:

- ✓ Experiencia en el trabajo
- ✓ Conocimientos en construcción
- ✓ Habilidades de comunicación
- ✓ Habilidades de trabajo en equipo
- ✓ Capacidad para evaluar el diseño contra las ventajas y desventajas en la construcción
- ✓ Ser receptivo a nuevas ideas



6.4.2.1.2 Definir y medir los objetivos de la Constructabilidad

Una vez que los miembros clave del equipo han sido seleccionados, el equipo puede definir los objetivos y la metodología de medición siendo recomendable seguir los siguientes pasos:

a) Establecer los objetivos del proyecto considerando la Constructabilidad

La Constructabilidad juega un rol importante en el cumplimiento de los objetivos y las prioridades del proyecto, por lo que es necesario lograr que queden claros entre ellos. Lo anterior es la primera responsabilidad clave del equipo de la Constructabilidad. Típicamente los objetivos del proyecto son los relacionados con los costos, programa, calidad, salvaguarda y seguridad. Otros proyectos incluyen objetivos tales como: confiabilidad, estética, imagen pública, operatividad y mantenimiento.

Los objetivos tradicionales en los proyectos se muestran en la Figura 6.4. Cada participante debe ser y estar consciente de los objetivos del proyecto y con la intención de cumplirlos, evitando estar únicamente enfocado en los sub-objetivos individuales.

El equipo debe desarrollar una lista detallada de los objetivos y priorizarlos. La asignación de prioridades debe estar basada tanto en criterios cualitativos como cuantitativos como los que reducen los costos y acortan los programas. Todas las implicaciones en el diseño y la construcción deben ser tomadas en cuenta a la hora de priorizar. Las ventajas y desventajas de los objetivos apoyarán más tarde en la evaluación de las alternativas influenciado el diseño y las que impactan a la construcción. Como hay varios participantes en el proyecto los objetivos pueden ser mutuamente acordados.



Figura 6.4 Objetivos tradicionales en los proyectos

b) Establecer los objetivos específicos de la Constructabilidad

Una vez que todos los involucrados en el diseño y la construcción están asignados, se deben desarrollar los objetivos específicos de la Constructabilidad, los cuales permiten evaluar los pros y contras de otros objetivos tales como la seguridad y la salvaguarda.

La lista de los objetivos específicos de la Constructabilidad que pueden ser optimizados se presenta a continuación:



- ✓ Uso de elementos estandarizados
- ✓ Uso de módulos y pre ensamblajes
- ✓ Uso de equipos de izaje
- ✓ Establecer áreas específicas para almacenamiento de materiales
- ✓ Facilidad de fabricación y montaje
- ✓ Uso de modelos físicos o en tres dimensiones (CAD)
- ✓ Cantidad de soldaduras
- ✓ Accesibilidad al sitio de trabajo
- ✓ Desarrollar especificaciones de construcción amigables
- ✓ Mejorar la comunicación entre ingeniería y construcción
- ✓ Minimizar los re trabajos de construcción
- ✓ Minimizar los re trabajos de diseño
- ✓ Minimizar el congestionamiento de áreas en el sitio
- ✓ Minimizar las incidencias de conflictos laborales

En el desarrollo de los objetivos de Constructabilidad, deben darse las consideraciones para su medición para los diversos niveles de personal.

c) Identificar la metodología apropiada de medición de los objetivos

A menudo es más difícil desarrollar la metodología para medir el desempeño de los objetivos establecidos. El desempeño de los costos y programas usualmente son las mediciones más sencillas. La seguridad puede ser medida comparando el índice de tiempo perdido con el índice de empresas de clase mundial, con otros proyectos similares o la media nacional. Algunos ejemplos de las métricas del desempeño en los proyectos son:

- ✓ Capital
- ✓ Dinero empleado en la construcción
- ✓ Mano de obra directa en sitio
- ✓ Productividad (horas-trabajo/unidad)



- ✓ Número de no conformidades
- ✓ Horas-Hombre de rediseño
- ✓ Cantidad de órdenes de cambio
- ✓ Tiempo perdido por incidentes
- ✓ Duración de los paros (horas)
- ✓ Accesibilidad en sitio tanto para los materiales como para el personal (metros/horas/unidad)

La formalización del programa está en base a contar con uno o varios de los factores abajo indicados:

- ✓ Asignar un presupuesto
- ✓ Desarrollar el manual de Constructabilidad
- ✓ Preparar procedimientos para la mayoría de las tareas de Constructabilidad
- ✓ Avance y reportes del estado actual
- ✓ Seguimiento de las aportaciones de Constructabilidad

d) Determinar el grado de formalidad del programa de Constructabilidad

Muchas consideraciones son tomadas en cuenta para establecer el grado de formalidad del programa de Constructabilidad. Las cuales predominantemente tienen que ver con las características del cliente, el programa funcional y del proyecto. Si hacemos referencias a las que tienen que ver con el cliente y/o el programa funcional son tales como; con los objetivos empresariales, la experiencia y los recursos. En cuanto a las características del proyecto nos estamos refiriendo al tipo de construcción, tipo de contrato, el tamaño del proyecto, la dificultad técnica, la localización del sitio y seguramente peculiaridades. El programa formal de Constructabilidad no está determinado por el tamaño del proyecto, ya que es factible contar con un programa formal en un proyecto relativamente pequeño. Usualmente varias de las lecciones aprendidas de los diversos proyectos pueden ser aplicables a proyectos futuros.



6.4.2.1.3 Seleccionar la estrategia de contratación del proyecto

El seguir una estrategia específica de contratación tiene un impacto profundo en los tiempos y en la aplicación de las aportaciones de Constructabilidad. Una estrategia de contratación se compone de dos partes:

- ✓ Acuerdos contractuales. Ejemplo de arreglos contractuales son el diseño y la construcción tradicional y la administración del diseño. Estos acuerdos tienen influencia en las partes involucradas y en sus relaciones
- ✓ Tipo de contrato. Contrariamente el tipo de contrato dicta los términos comerciales en los que las partes están legalmente obligadas y define como es el pago de los servicios. Ejemplos de estos tipos de contratos son a precio fijo o a costos reembolsables

La estrategia de contratación también afecta el grado de formalidad del programa de Constructabilidad. Al seleccionar una estrategia de contratación, se debe de considerar, la disponibilidad de los recursos con experiencia que puedan dirigir o mejorar la Constructabilidad, también es importante reconocer como la selección de la estrategia de contratación puede impactar los resultados el proyecto, así como seleccionar la mejor organización de contratación que sea responsable de la Constructabilidad durante las etapas iniciales de la definición del proyecto.

a) Identificar los recursos disponibles funcionalmente para la Constructabilidad

El equipo del proyecto debe identificar y valorar la existencia de recursos disponibles en la empresa para liderar e impulsar la Constructabilidad. Llevar a cabo una autovaloración ayuda a determinar el grado de experiencia que se requiere. Si se han definido y formalizado previamente las acciones relacionadas con la Constructabilidad, el equipo del proyecto debe tener de primera mano esta información y tiene que hacerse de su conocimiento los éxitos del programa de Constructabilidad en otros proyectos y de las lecciones aprendidas.



El objetivo es asegurar y usar el mayor conocimiento y experiencia del personal sobre la Constructabilidad en la medida de lo posible.

b) La selección de la estrategia de contratación impacta en la Constructabilidad del proyecto

La forma de contratación es variable y depende del tipo de cliente e industria inclusive del país. En el caso de México los proyectos grandes se contratan a precio alzado. Para establecer una estrategia debemos tomar en cuenta que las relaciones contractuales entre los dueños, los diseñadores y el contratista tienen una fuerte influencia en las formas y van desde el involucramiento temprano del área de construcción. Cada empresa selecciona su estrategia de contratación para cada proyecto basados en los parámetros que se percibieron para satisfacer mejor los objetivos del proyecto. La estrategia de contratación pretende regular la ingeniería, construcción y los subcontratistas, por lo que el tipo de contrato usado para cada servicio, podrá ser diverso.

En un acuerdo de contratación de ingeniería y construcción, el cliente debe seleccionar una sola firma que sea responsable, es decir una firma IPC (Ingeniería-Procurement-Construcción). Hay un gran número de variaciones en los tipos de contrato usados bajo este enfoque. Muchos están basados en un precio fijo o llave en mano. En esta estrategia de contratación, la Constructabilidad es implementada por el contratista IPC (Ingeniería-Procurement-Construcción) y los beneficios son mayores, posibilitando substanciales ahorros en los costos del proyecto. Esto alienta a los contratistas IPC (Ingeniería-Procurement-Construcción) a utilizar las herramientas de Constructabilidad tanto como sea posible.

Algunos clientes dan la concesión de un contrato IPC (Ingeniería-Procurement-Construcción) con un precio máximo garantizado que se establece después de que se determina el alcance del proyecto.



c) Seleccionar a una organización responsable de la Constructabilidad

Una vez que la estrategia de contratación se conoce, debe decidirse la organización (cliente, constructor, diseño y las gerencias) responsable de implementar y monitorear el programa de Constructabilidad. Los programas ya implementados usualmente deben mantener sus archivos de lecciones aprendidas las cuales benefician la comunicación de la Constructabilidad entre otros proyectos. La comunicación puede ser particularmente útil si se trata de una construcción con instalaciones similares.

6.4.2.1.4 Asesores, proveedores y contratistas seguros

Una vez que se ha seleccionado la estrategia de contratación el siguiente paso es determinar cómo facilitar la temprana implementación del proceso de Constructabilidad. Cuando la construcción, el subcontratista o la gerencia de construcción no han sido asignados tempranamente como para contribuir en las decisiones sobre el costo durante la planeación de la etapa conceptual, un sustituto del subcontratista y de construcción es requerido para proveer el conocimiento y la experiencia necesarios.

a) Como parte de la precalificación pida al contratista el programa de Constructabilidad aplicable a su alcance

Cuando la estrategia de contratación involucra la selección temprana del contratista o requiere la utilización de ciertos recursos, se debe incluir en el proceso de precalificación del subcontratista criterios que incluyan la utilización y efectividad de un programa. Para el caso de México el Contratista IPC (Ingeniería-Compra-Construcción) debe demostrar que aplica la Constructabilidad, siendo los factores a considerar los siguientes:

- ✓ Programa de Constructabilidad empresarial. Evaluación de la filosofía corporativa y reconocimiento del programa
- ✓ Profundidad en la aplicación de la experiencia en el programa. Evaluación de aplicaciones previas y de los responsables de la implementación



- ✓ Documentación del programa. Evaluación de los manuales y métodos usados para dar seguimiento e incorporación de las lecciones aprendidas
- ✓ Grado del soporte al programa en el proyecto. Evaluación de las herramientas que apoyan la implementación de la Constructabilidad incluyendo como incorporar nuevas tecnologías

Un proceso de precalificación y la evaluación de las fuentes de las aportaciones a Constructabilidad pueden encontrarse en las referencias de Gugel (1992).

b) Con base a la solicitud de cotización del cliente (RFQ) del proyecto identifique las oportunidades de Constructabilidad

Cuando el cliente incluye los requerimientos de Constructabilidad en los documentos de la propuesta, se debe tomar en cuenta que puede venir con diferente amplitud o grado de detalle. Estos requerimientos de Constructabilidad pueden aparecer dentro de las especificaciones del alcance de los servicios. Varios fragmentos de documentos para consulta de ingeniería y construcción se muestran a continuación.

- ✓ Constructabilidad – Asesorar al licitante como va a integrar la Constructabilidad en el proyecto y describir como lo hizo en experiencias anteriores
- ✓ Preparar un plan de construcción, incluyendo a la Constructabilidad, la estrategia contractual, etc., para cada división de trabajo. Este plan debe ser desarrollado por la organización funcional de construcción
- ✓ Proveer un análisis de la Constructabilidad
- ✓ Suministrar personal experimentado de construcción en la oficina matriz de ingeniería para participar en las aportaciones de la Constructabilidad y en la programación de las actividades
- ✓ Los subcontratistas deben ser invitados para revisar el material de planeación durante el desarrollo del proyecto. La participación de los subcontratistas se da durante la reunión de inicio del proyecto, los cuales deben evaluar la información ofrecida y responder con sugerencias a la Constructabilidad



La solicitud de cotización (RFQ) debe incluir un documento que describa la relación entre el cliente y el contratista IPC (Ingeniería-Procurement-Construction). Este documento debe incluir un párrafo como se menciona a continuación: “Normalmente se espera el involucramiento temprano del personal clave del contratista IPC (Ingeniería-Procurement-Construction)”. Por ejemplo, con antelación a los trabajos de movilización cierto personal puede ser asignado para ser entrenados en los procedimientos específicos a ser aplicados, preparar manuales, participar en la integración del equipo de trabajo y en la planeación temprana, también hacer aportaciones efectivas sobre detalles específicos en el diseño y el programa de actividades es desarrollado.

El cliente debe incluir en el alcance una sección titulada, Constructabilidad, que define los requerimientos mínimos de Constructabilidad que serán implementados en el proyecto. La especificación indica que el programa de Constructabilidad esté terminado y aprobado por el cliente en la fase temprana de diseño.

c) Considerar el uso de cláusulas contractuales de incentivos relacionados con el desempeño de la Constructabilidad

Las cláusulas de incentivos bien establecidas ayudan a mejorar la efectividad de la Constructabilidad en los proyectos. Los planes de incentivos para los diseñadores y constructores en ambos casos están relacionados con los hitos, calidad y terminación. El diseñador también puede ganar incentivos por el uso efectivo de las horas-hombre. El constructor tiene incentivos adicionales para la productividad y la seguridad. Necesariamente los beneficios de los incentivos para los diseñadores y los constructores son dependientes el uno del otro, por lo que tienen que trabajar conjuntamente para coordinar sus esfuerzos. En estos proyectos, las metas en común son establecidas entre el diseñador y el constructor. Estas metas aseguran la implementación de la Constructabilidad como un medio para garantizar que los objetivos en común son conocidos. La creación de metas en común también actúa como un medio para contar con un equipo del proyecto integrado y bien informado.



6.4.2.2 Plan para la implementación de la Constructabilidad

La planeación es una actividad crítica para la implementación de la Constructabilidad, debe iniciar lo más pronto posible e incluye los principales participantes del proyecto. Un plan de ejecución del proyecto define los objetivos de Constructabilidad y explica detalladamente cómo funcionan para lograr los objetivos del proyecto, y dependerá del tipo de proyecto y de la estrategia de contratación. Son cuatro los pasos para lograr la efectiva planeación en la implementación de la Constructabilidad:

- ✓ Desarrollar un equipo de Constructabilidad e identificar/solucionar las barreras
- ✓ Seleccionar de la base de datos las lecciones aprendidas
- ✓ Llevar a cabo un taller de planeación de la Constructabilidad
- ✓ Finalizar el plan de aplicación de los conceptos

La planificación oportuna y bien pensada es una acción que es crítica para la efectividad de la implementación de la Constructabilidad. La planeación debe iniciar tan pronto como este formado el equipo del proyecto con el apoyo funcional y el compromiso del cliente. Además, los esfuerzos de planeación oportuna de la Constructabilidad involucran a todos los interesados y a los participantes del equipo, en la cual se pretende obtener el máximo beneficio que pueda impactar positivamente en la toma de decisiones.

La clave para una planeación e implementación de la Constructabilidad sustancial son los diecisiete principios de la Constructabilidad presentados en el capítulo III. Como se presentó en el capítulo III, los primeros ocho principios aplican durante la etapa de planificación conceptual de los proyectos, los siguientes ocho se relacionan con la etapa de diseño detallado y procuración y un principio se relaciona con la etapa de construcción.

Las investigaciones sobre la Constructabilidad del CII (Construction Industry Institute) y la estrategia de implementación, desde el primer momento se han centrado en estos conceptos, los cuales fueron intencionalmente ideados como retos para implementarlos



en las organizaciones. Es decir, en lugar de suministrar un sin número de tácticas detalladas de la Constructabilidad anticuadas o incompletas, el CII (Construction Industry Institute) ha elegido proporcionar una colección de conceptos de alto nivel que pueden y deben ser aplicados de varias maneras de tal forma que respondan a los retos y necesidades de cada proyecto. De esta manera los conceptos son realmente los catalizadores probados en el tiempo, destinados a maximizar los frutos de los talentos analíticos y creativos de los equipos del proyecto.

6.4.2.2.1 Desarrollar un equipo de Constructabilidad e identificar/solucionar las barreras

El equipo de Constructabilidad incluye al personal del cliente, a las organizaciones; de diseño, de construcción y al equipo del proyecto. Además incluye a todos los representantes de los subcontratistas, proveedores, y consultores según aplique. Para asegurar el mutuo interés y para minimizar cualquier relación adversa, las siguientes cuatro tareas deben llevarse a cabo independientemente del tamaño del proyecto.

a) Reunir a los miembros del equipo y organizarlos

Es esencial que los individuos clave seleccionados para liderar los esfuerzos de la Constructabilidad tengan una amplia experiencia en construcción, fuertes habilidades interpersonales y una mente abierta. En la selección de los miembros clave del equipo de Constructabilidad, el gerente de proyecto debe considerar los siguientes principios:

- ✓ Planeación temprana. Esta ayuda en la superación de las barreras, tal como justificar las contrataciones tempranas del personal de construcción, ya que el enfoque es no tener disponible el personal apropiado hasta cuando se necesite
- ✓ Seleccionar miembros del equipo cooperativos. Los miembros clave del equipo deben tener alta disposición para discutir abiertamente los temas con cualquier otro participante del proyecto. Los individuos deben estar dispuestos a aceptar otros puntos de vista del equipo del proyecto



- ✓ Insistir en personas con experiencia. Es esencial tener personal con experiencia participando en la Constructabilidad
- ✓ Minimizar la rotación del equipo del proyecto. Mantener el mismo equipo de trabajo es esencial para lograr los objetivos. Minimizar la rotación del equipo incrementa la probabilidad del éxito en la Constructabilidad

La estructura organizacional del equipo de Constructabilidad puede variar de proyecto en proyecto. Con la excepción del coordinador de la Constructabilidad en el proyecto, los miembros del equipo del proyecto participan en el programa de Constructabilidad a tiempo parcial. El involucramiento del coordinador de la Constructabilidad depende de la formalidad del programa implementado. En los proyectos grandes y con un programa de Constructabilidad formal, el coordinador de la Constructabilidad debe tener una posición de tiempo completo. El coordinador puede residir en las oficinas en donde se lleva a cabo el diseño, coordinando las actividades de Constructabilidad y actuar como enlace con la gerencia funcional de la Constructabilidad. En proyectos pequeños el gerente de construcción u otros miembros del equipo pueden fungir como el coordinador de la Constructabilidad a tiempo parcial.

Si por alguna razón el constructor para el proyecto no ha sido asignado antes de iniciar el diseño, se deben tomar medidas para contar con la experiencia de construcción. Esta puede provenir del cliente, de la organización de diseño, de un profesional de la construcción o de un consultor. Se debe estar consciente que puede haber problemas al usar la experiencia de otro experto de la construcción diferente del actual. La falta de continuidad o el intento de cambiar el enfoque de construcción del proyecto debido a la selección del constructor puede entrar en conflicto con las aportaciones a la Constructabilidad obtenidas previamente.

Los roles y responsabilidades de cada uno de los miembros del equipo de Constructabilidad deben estar claramente definidos, a continuación se describen:



- ✓ **Gerente de proyecto.** El cual debe trabajar con el coordinador de la Constructabilidad en el seguimiento, avance y en la efectividad de los programas. También es responsable de que el personal calificado en campo sea parte del equipo de Constructabilidad. El gerente de proyecto da apoyo al coordinador de la Constructabilidad en la identificación y asignación de los ingenieros especialistas.

- ✓ **Coordinador de la Constructabilidad en el proyecto.** Esta posición interacciona con el equipo del proyecto, enfocándose a supervisar y coordinar las actividades del proyecto de tiempo completo o a medio tiempo. Este coordinador debe estar en oficina matriz durante la planeación conceptual y las etapas de diseño. El Coordinador de la Constructabilidad puede iniciar a instruir en los siguientes temas:
 1. Difundir al equipo del proyecto el programa de Constructabilidad, incluyendo al equipo de construcción
 2. Integrar la Constructabilidad en el plan de ejecución del proyecto
 3. Revisar los archivos de las lecciones aprendidas de Constructabilidad
 4. Asegurarse que se han hecho e implementado las consideraciones en los conceptos de Constructabilidad
 5. Planear y programar los estudios de Constructabilidad
 6. Recopilar las aportaciones de Constructabilidad presentadas por los ingenieros especialistas
 7. Mantener el registro de las sugerencias de Constructabilidad
 8. Evaluar y reportar el progreso de la Constructabilidad
 9. Solicitar la apropiada retroalimentación
 10. Transmitir las nuevas lecciones aprendidas al archivo funcional

Otra responsabilidad clave es asistir en el desarrollo y revisión de las especificaciones del proyecto. El coordinador también maneja temporalmente las actividades y las asignaciones especiales según sea necesario. Como se



observa las habilidades y talentos requeridos del coordinador de la Constructabilidad lo hacen verdaderamente en un recurso único en los proyectos. Sin embargo, el equipo del proyecto no puede y no debe nunca tratar de confiar únicamente en el coordinador de la Constructabilidad para el éxito del programa. Tal éxito se basa en el equipo, siendo el coordinador simplemente el “conductor” de tales esfuerzos.

- ✓ **Equipo base de Constructabilidad.** El equipo clave de Constructabilidad se compone de un gerente de construcción, el cliente y el ingeniero de diseño del proyecto, como mínimo. Estos miembros son asignados al equipo de Constructabilidad durante la planeación conceptual y continua hasta la puesta en marcha. El equipo central de Constructabilidad proporciona aportaciones a la Constructabilidad sobre una base continua, y según proceda.

El equipo es responsable de la aprobación de las propuestas de Constructabilidad. A través del coordinador de Constructabilidad, el equipo central organiza la participación de otros miembros del equipo de Constructabilidad durante las etapas apropiadas del proyecto.

- ✓ **Equipo de Constructabilidad.** El resto del equipo de Constructabilidad es movilizado conforme se requiera para dar las aportaciones dentro de las áreas que requieren conocimientos específicos de la construcción. Los individuos en el equipo de Constructabilidad deben poseer una fuerte comunicación y habilidad de trabajo en equipo, esto adicional a su experiencia técnica.
- ✓ **Ingenieros especialistas.** Estos ingenieros especialistas pueden ser asignados al proyecto o hacer sus aportaciones, aunque estén en otra asignación. El coordinador de la Constructabilidad y los miembros del equipo central definirán los puntos y circunstancias en las que se requiere el apoyo de los ingenieros especialistas.



b) Guiar al equipo y difundir la política

La declaración de la política de Constructabilidad es el medio por el cual se enfatiza la importancia y compromiso con la Constructabilidad. Esta declaración puede ser desarrollada después de que el equipo de Constructabilidad se conformó. Dicha política incluye los siguientes conceptos:

- ✓ Definición de la Constructabilidad
- ✓ La política de la Constructabilidad como una herramienta para mejorar el rendimiento de los objetivos del proyecto
- ✓ Los objetivos del proyecto se verán reforzados con la Constructabilidad
- ✓ El énfasis en el trabajo de equipo

La declaración de la política de los proyectos puede ser desarrollada a partir de una declaración ya existente o como parte de la actividad del equipo.

Los miembros del equipo de Constructabilidad pueden requerir capacitación formal sobre la Constructabilidad y su filosofía. Los temas de orientación concernientes a la Constructabilidad pueden incluir:

- ✓ Definición de la Constructabilidad
- ✓ Política de Constructabilidad
- ✓ Importancia del trabajo en equipo y la comunicación
- ✓ Estatus del proyecto y los objetivos
- ✓ Factores críticos para el éxito del proyecto
- ✓ Visión general de los diecisiete principios de la Constructabilidad
- ✓ Roles y responsabilidades de los miembros del equipo de Constructabilidad
- ✓ Procedimientos generales de la Constructabilidad en el proyecto

Además, el equipo puede usar como referencia los objetivos desarrollados previamente y las métricas que se presentan en el punto 6.4.2.1.2. Esto puede facilitar el que el equipo se comprometa con los objetivos clave del programa.



c) Desarrollar ejercicios de trabajo en equipo

Los programas de Constructabilidad son más exitosos si el equipo de Constructabilidad está alineado y comprometido con los objetivos del proyecto, más aún si mantienen una comunicación abierta. Se debe dar especial atención que el equipo este sólidamente integrado. Sería conveniente llevar acabo ejercicios formales para promover el trabajo en equipo con el apoyo de consultores externos, de tal forma de mejoran y aceleran el proceso de trabajo en equipo. Una vez que el equipo está formado, la efectividad debe ser periódicamente evaluada. En un proyecto grande fue desarrollada una guía para ayudar a desarrollar el trabajo en equipo como parte del manual de Constructabilidad. La guía incluye lo siguiente:

- ✓ Concepto de trabajo en equipo
- ✓ Definición de trabajo en equipo
- ✓ Características de los equipos de alto desempeño
- ✓ Las cuatro etapas naturales en el desarrollo del equipo (ejemplo: orientación insatisfacción, resolución y producción)
- ✓ Habilidades necesarias para ayudar en el desarrollo de los equipos
- ✓ Métodos y herramientas para facilitar el trabajo en equipo
- ✓ Implementar un plan para el trabajo en equipo
- ✓ Recursos adicionales para la formación de equipo de trabajo

Muchas organizaciones se rehúsan a invertir recursos para incrementar aportes de forma temprana a la Constructabilidad durante la planeación conceptual. El equipo de Constructabilidad por lo tanto debe de identificar, las barreras de la Constructabilidad presentes en el proyecto y los medios para superar estas barreras.

d) Identificar las barreras y las estrategias para romperlas

Una amplia variedad de barreras hace más difícil la implementación de la Constructabilidad. Algunas barreras se relacionan con el hecho del compromiso del cliente para iniciar el proceso de Constructabilidad, falta de entendimiento de la



Constructabilidad, resistencia para proporcionar financiamiento desde el inicio hasta el final y la percepción de que la Constructabilidad ya se ha hecho en forma efectiva como proceso natural de trabajo. Otras barreras, sin embargo, están relacionadas con la poca familiaridad de los miembros del equipo a la filosofía de la Constructabilidad y como trabajarla. Algunas de las barreras se listan a continuación:

- ✓ Estar satisfechos con el status quo
- ✓ Resistencia a invertir dinero y esfuerzos adicionales en las etapas tempranas del proyecto
- ✓ Limitaciones contractuales por un contrato a precio alzado
- ✓ Falta de la experiencia de construcción en la organización encargada del diseño
- ✓ Percepción de los diseñadores de ya la hacemos (Constructabilidad)
- ✓ Aportaciones tardías a la Constructabilidad, por lo que pierden valor

Como actividad, cada miembro del equipo de Constructabilidad debe identificar las barreras previamente, de tal forma que se puedan identificar rápidamente y encontrar la manera de superarlas.

6.4.2.2 Seleccionar de la base de datos las lecciones aprendidas más aplicables

Los equipos de Constructabilidad son más efectivos cuando realmente explotan las lecciones aprendidas, las innovaciones y la experiencia de los proyectos pasados. Así, como se vio en el punto 6.4.1.2.3, la base de datos de las lecciones aprendidas puede ser el ingrediente clave para el éxito de la Constructabilidad.

Realmente el programa de Constructabilidad es el medio para compartir el conocimiento y la experiencia de construcción, sin embargo ganar conocimiento de las experiencias previas es esencial para el éxito de cualquier programa de Constructabilidad. A continuación se muestra una lista de lecciones aprendidas:



- ✓ Plan de caminos de acceso para las grúas que serán usadas en construcción y para mantenimiento
- ✓ Maximizar la construcción a nivel de piso
- ✓ Editar los planos de las cimentaciones sin los detalles de los anclas cuando el equipo es tal, que se pueden perforar después de que llegue a sitio
- ✓ Considerar argollas de elevación en los pozos de registro prefabricados
- ✓ Diseñar y armar escaleras permanentes, plataformas y escaleras de mano tan pronto como sea posible
- ✓ Minimizar el uso de refuerzos y elementos de dimensiones pequeñas, tanto como sea posible
- ✓ Establecer criterios de inspección para talleres y en campo para todos los equipos de proceso
- ✓ Especificar las argollas de elevación para los tanques horizontales elevados
- ✓ Para cubrir las necesidades de energía preferentemente usar los sistemas que serán permanentes a los sistemas temporales
- ✓ Mostrar el tamaño de las canalizaciones en los planos
- ✓ Estandarizar para la pintura el primario y el acabado tanto como sea posible

Hay muchas formas en las cuales se transmiten históricamente las “lecciones aprendidas”. Por ejemplo, las lecciones aprendidas son usualmente comunicadas en las reuniones de arranque del proyecto dentro de registros de las reuniones del proyecto, así como durante las reuniones de revisión del proyecto. Idealmente, las lecciones aprendidas son almacenadas en una base de datos de fácil acceso. O bien una copia dura usualmente contiene una colección de los reportes después del proyecto y las minutas de las reuniones.

Por supuesto, una vez que las lecciones aprendidas son registradas, pasan a ser de beneficio en otros proyectos como ideas, por lo que deben ser estudiadas y seleccionadas de forma apropiada y efectiva para su implementación.



De esta forma, el filtrado y estudio de las lecciones aprendidas de la base de datos es un paso importante del equipo de trabajo en la preparación para la implementación de la Constructabilidad. Esta actividad debe ocurrir de forma temprana de tal modo que se maximicen los beneficios de las lecciones aprendidas registradas.

6.4.2.2.3 Llevar a cabo un taller de planeación de la Constructabilidad

a) Preparar y llevar a cabo el taller de planeación

Después de que el equipo de Constructabilidad ha sido orientado en forma efectiva en la Constructabilidad y después de que las barreras han sido identificadas y direccionadas, de igual forma después de la selección preliminar de las lecciones aprendidas de la base de datos de las lecciones aprendidas es termina, es el tiempo más oportuno para impartir y conducir el taller de planificación de Constructabilidad, el cual va dirigido a todos los interesados clave del proyecto y al equipo de trabajo. Los talleres deben ser conducidos tan temprano como sea posible, lo recomendable es inmediatamente después del análisis de factibilidad del proyecto, y cuando la definición del alcance esté concluido y que los participantes clave en el proyecto están ya asignados y en funciones

El principal propósito del taller de planeación de Constructabilidad es confirmar el alcance en el ámbito de la Constructabilidad y asegurar que todos los planes están incluidos y son consistentes con el programa general de ejecución de del proyecto. Por lo que el resultado esperado del taller es tener listos todos los planes que facilitarán la implementación eficaz y a tiempo para la toma de decisiones adecuadas para lograr las metas de la Constructabilidad.

A continuación se describen las once actividades que se deben incluir en el taller. Estas actividades incluyen el desarrollo de los siguientes tópicos:

- ✓ Introducción; reunión informativa de seguridad y revisión de la agenda
- ✓ Reunión para revisión del estado del proyecto



- ✓ Resultados/visión general de la orientación sobre la Constructabilidad y valoración de las barreras y su implementación
- ✓ Dividir las sesiones y formar varios equipos de trabajo para: la identificación de oportunidades y resolver otros asuntos que involucren la Constructabilidad
- ✓ Reportes de las sesiones divididas sobre las oportunidades e inquietudes
- ✓ Priorizar los conceptos y subconceptos de la Constructabilidad
- ✓ Resultados del primer escrutinio de las lecciones aprendidas en la base de datos; planes para seguir con el escrutinio
- ✓ Desarrollo del plan de aplicación de los conceptos por cada uno de los grupos
- ✓ Desarrollo del plan de aplicación para los reportes de los planes de aplicación de los conceptos
- ✓ Actividades planeadas para implementar la aplicación de los conceptos
- ✓ Cierre del taller

Los pasos clave en el taller están dirigidos a la identificación de las inquietudes y oportunidades de la Constructabilidad, la priorización de los conceptos de Constructabilidad para su implementación y los planes preliminares de la aplicación de los conceptos para satisfacer los requerimientos de los entregables que soporten las decisiones críticas. Muchas compañías usan de referencia estos planes y los define como “Estudios de Constructabilidad”.

b) Plan preliminar de aplicación de los conceptos

Como se estableció anteriormente el principal entregable del taller de planeación de la Constructabilidad es la preparación de los planes de aplicación de los conceptos, elaborados con base a los entregables requeridos. El plan de aplicación de los conceptos debe ser estructurado de tal como forma que sean direccionados a los siguientes elementos:

- ✓ Conceptos de aplicación predefinida
- ✓ Asociar y dirigir las inquietudes-preocupaciones de cada concepto



- ✓ Relación de la Constructabilidad con las decisiones que tengan impacto o que sirvan de soporte
- ✓ Entregables requeridos por cada concepto

El objetivo del plan de acción de los entregables es impactar positivamente la toma de decisiones que sirvan de soporte a la Constructabilidad. Ejemplos de estos entregables o decisiones orientadas, “estudios”, que pueden ser identificados a través de este proceso son:

- ✓ Listar las oportunidades de modularización, incluyendo el alcance de unidades paquete
- ✓ Análisis para decidir el material de un sistema estructural y su configuración
- ✓ Preparación y análisis de un cronograma sensible de eventos clave de inicio del proyecto y de la construcción
- ✓ Estudio de las pesos para izaje, incluyendo la selección de las grúas, la secuencia de la carga, y la accesibilidad de las grúa al sitio y áreas específicas
- ✓ Preparación del plan de instalaciones temporales de construcción
- ✓ Identificación de las especificaciones técnicas necesarias de actualización
- ✓ Estudio retando la accesibilidad a sitio e identificación de las soluciones alternativas más viables
- ✓ Estudio de alternativas para maximizar el avance del trabajo en campo durante la temporada de invierno

Para cada decisión debe soportarse con un “estudio”, por lo que los diferentes grupos de trabajo del taller deberán discutir y documentar los siguientes temas como parte de los entregables de cada plan de aplicación de los conceptos:

- ✓ Relación de la Constructabilidad con las decisiones que pueden tener impacto o requieren de soporte
- ✓ Título descriptivo de los entregables
- ✓ Propósito del entregable



- ✓ Componentes de los entregables
- ✓ Clientes objetivo o usuarios de los entregables
- ✓ Tiempo requerido para terminar los entregables y limitaciones asociadas a este tiempo
- ✓ Persona recomendada para ser el responsable de terminar los entregables
- ✓ Formato sugerido para los entregables
- ✓ Personal que debe consultarse en la preparación de los entregables
- ✓ Fuentes clave adicionales de información para la preparación de los entregables

La intención de los planes de aplicación de los conceptos y los entregables asociados es un impacto positivo en las decisiones críticas que pudieran tener influencia en la Constructabilidad, y además con la oportunidad de hacerlo de una manera oportuna.

6.4.2.2.4 Finalizar el plan de aplicación de los conceptos

Las actividades de Constructabilidad deben planearse para aplicarse durante las etapas; conceptual, de diseño y de construcción. El coordinador de la Constructabilidad organiza las necesidades en cuanto a procedimientos e integra las actividades de Constructabilidad dentro del programa del proyecto. Existen dos tareas específicas en este paso y son:

a) Afinar los planes de acción, roles y las responsabilidades de la Constructabilidad

La forma de aplicación de los conceptos es a través de un conjunto de conceptos orientados y un plan de acciones, los cuales son cruciales para el éxito del equipo de Constructabilidad. En la preparación de los procedimientos del programa de Constructabilidad se debe tener una visión anticipada de los hechos. Esto debe minimizar re trabajar los diseños y obtener una alta calidad de diseño.



Además, el equipo de Constructabilidad debe desarrollar conjuntamente un programa que muestre los periodos necesarios para los diferentes estudios de los entregables para Constructabilidad.

b) Integrar los entregables de Constructabilidad a las actividades del proyecto

Las actividades del proyecto deben permitir integrar el conocimiento y experiencia de construcción a través de las etapas de diseño, procuración, construcción y arranque. Por lo que se requiere seguir un método estructurado para integrar los conocimientos de la Constructabilidad en lugar de confiar únicamente en uno o más procedimientos.

El enfoque de esta tarea es el uso del diagrama de flujo o línea del tiempo que identifica el proceso global de la Constructabilidad y su avance o avances.

6.4.2.3 Implementación de la Constructabilidad

La adecuada planeación, así como el compartir las innovaciones y soluciones debe ser integral con las responsabilidades del equipo de diseño, construcción y arranque. La etapa que exige la aplicación de la Constructabilidad se muestra en la Figura 6.2. Esta etapa está conformada de tres pasos:

6.4.2.3.1 Aplicar los procedimientos y conceptos de la Constructabilidad

a) Aplicar los conceptos de la Constructabilidad

La efectividad en la aplicación de los conceptos, es la clave para la correcta implementación. Al mismo tiempo se debe tener en cuenta que la implementación de la Constructabilidad es un proceso altamente interactivo que tiene su máximo en la etapa de la planeación del proyecto, el diseño detallado pero que continúa de forma constante durante la etapa de construcción.



Los conceptos de Constructabilidad son lecciones aprendidas de alto nivel provenientes de proyectos pasados que tuvieron una amplia aplicación y que por lo tanto debe convertirse en algo formal dentro de la organización.

Las listas de verificación deben ser usadas como detonadores para las discusiones tempranas entre el personal de construcción y el de diseño, en lugar de tomarlas como aportación por “default”.

Igualmente las lecciones aprendidas pueden ser usadas como una herramienta para estimular las discusiones entre los líderes de disciplina, el coordinador de Constructabilidad y los superintendentes de construcción antes de iniciar la planeación y las actividades de diseño. Este es un poderoso medio para facilitar la comunicación entre el personal de diseño y el de construcción.

b) Ejecutar el programa de procedimientos de Constructabilidad

Los miembros del equipo de Constructabilidad deben estar conscientes de su responsabilidad, hacer sus aportaciones y seguir los procedimientos de Constructabilidad tan pronto como el equipo de trabajo se haya formado. Estos procedimientos detallados son los planes de aplicación de los principios en los cuales una serie de acciones detalladas deben ser desarrolladas oportunamente. Estas acciones son implementadas a lo largo de las etapas de planeación y diseño. La retroalimentación de la Constructabilidad debe continuar hasta la reunión de cierre del proyecto. El coordinador de la Constructabilidad debe monitorear la implementación de los procedimientos de la Constructabilidad y tomar acciones correctivas cuando sean necesarias.

Algunos lineamientos adicionales para la implementación de la Constructabilidad son:

- ✓ Las actividades de la Constructabilidad deben iniciar durante la etapa de planeación conceptual y continuar a lo largo del diseño, procuración, construcción y arranque



- ✓ El coordinador de la Constructabilidad debe hacer interface con el equipo del proyecto y enfocarse en la supervisión y coordinación de los esfuerzos de la Constructabilidad
- ✓ El equipo de Constructabilidad se reunirá de forma periódica para discutir los conceptos de Constructabilidad, compartir las lecciones aprendidas de la base de datos, y proporcionar aportaciones de Constructabilidad al diseño
- ✓ Puede haber una particular dependencia con los ingenieros especialistas para proporcionar experiencia sobre la Constructabilidad en áreas especiales. Los especialistas en procuración frecuentemente se incluyen desde que se tiene conocimiento de algún proveedor específico
- ✓ Las nuevas propuestas de Constructabilidad son identificadas como consideraciones o sugerencias, se reciben y se registran por el coordinador de la Constructabilidad quien debe organizar las evaluaciones técnicas, de programas y de costos
- ✓ La mayoría de los análisis deben estar basados en el conocimiento sobre la magnitud del costo y el programa de los participantes involucrados. Esto ahorra tiempo y acelera las decisiones. Los estimados profesionales y el soporte al programa puede ser necesario para análisis complejos. El beneficio de la Constructabilidad será comprobado usando los estimados de costos y la programación proporcionados por el gerente de control de proyectos
- ✓ El coordinador de la Constructabilidad debe monitorear y reportar periódicamente el avance del programa de Constructabilidad
- ✓ En el tiempo apropiado antes de la liberación de los paquetes de diseño, el equipo de Constructabilidad debe llevar a cabo una revisión final de la Constructabilidad para revisar la integridad y la exactitud de los diseños detallados. Esta revisión no pretende ser la oportunidad para modificar los diseños, más bien será una revisión para verificar los conceptos aprobados que se han incorporado
- ✓ Durante la etapa de construcción, se mantiene una comunicación constante con los subcontratistas para evaluar los elementos de la Constructabilidad



implementados y áreas de posible mejora en futuros proyectos. Estas lecciones aprendidas deben ser incorporadas dentro de la base de datos de la Constructabilidad. Para asegurar la mejora continua, es esencial que las oportunidades fallidas sean capturadas junto a las buenas ideas que si se implementaron

- ✓ Cuando se concluya el proyecto, el equipo de Constructabilidad debe conjunta y objetivamente evaluar el desempeño de la Constructabilidad y enfocarla en áreas de mejora

6.4.2.3.2 Vigilar y evaluar la eficacia del programa en los proyectos

El coordinador de la Constructabilidad debe mantener un registro sobre la información respecto a las sugerencias y estudios sobre la Constructabilidad. El formato para las sugerencias puede variar. El coordinador de la Constructabilidad debe coordinar el estimado de costos y el programa para las propuestas de Constructabilidad, así como actuar de enlace para incorporar en la base de datos las lecciones aprendidas.

Los beneficios tangibles, ya sean financieros, de programa, de calidad, de seguridad, y operacionales, deben estar disponibles a través de reportes trimestrales que describen el avance del programa de Constructabilidad y su impacto en los objetivos del proyecto.

Respecto al avance del programa, acciones correctivas pueden ser necesarias para mejorar los resultados de la Constructabilidad. Se debe prestar atención en la efectividad de comunicación del equipo de Constructabilidad. Con base a lo anterior los ejercicios de trabajo en equipo serán necesarios para mejorar la relación entre el equipo de Constructabilidad. Por otro lado si algunas de las barreras de la Constructabilidad todavía existen, se deben re-direccionar para romperlas. Las acciones también pueden ser necesarias para modificar los procedimientos o actividades de Constructabilidad.



6.4.2.3.3 Documentar las lecciones aprendidas

La retroalimentación sobre las necesidades en el programa de Constructabilidad se deben recibir durante la construcción y durante la conclusión del proyecto. Durante la construcción es importante obtener una evaluación objetiva de los documentos de diseño de parte de construcción y de los subcontratistas. Las lecciones aprendidas específicas deben ser documentadas durante el diseño y la construcción antes de que se concluya el proyecto. Cuando sea apropiado las aportaciones evaluadas son adicionadas a la base de datos de las lecciones aprendidas como referencia para proyectos futuros. Al concluir el proyecto, el equipo de Constructabilidad evalúa objetivamente los aspectos de diseño para desarrollar lecciones aprendidas adicionales para futuros proyectos.

6.4.3 Actualización periódica del programa corporativo

Como los programas de Constructabilidad a nivel de proyecto se evalúan periódicamente, lo mismo debe hacerse con los programas de Constructabilidad a nivel empresarial (corporativo). Dicha evaluación debe ser usada para identificar las áreas de mejora y las necesidades de cambio. Esta actividad debe estar bajo la responsabilidad del gerente del programa funcional o empresarial. Para realizar la actualización se requieren realizar las siguientes actividades:

6.4.3.1 Evaluar la efectividad del programa corporativo

Establecer y aplicar el criterio de la efectividad del programa de Constructabilidad a nivel corporativo; para evaluar se pueden analizar las respuestas a los siguientes cuestionamientos:

- ✓ ¿Se conocen las metas y objetivos generales del programa de Constructabilidad a nivel corporativo?
- ✓ ¿Existe la necesidad de establecer nuevas metas en el programa?



- ✓ ¿El programa de Constructabilidad a nivel de proyecto recibe todo el soporte necesario por parte del programa corporativo?. Es importante reconocer que el verdadero éxito del programa corporativo dependerá del éxito del programa a nivel del proyecto
- ✓ Incluir la revaloración tanto de las barreras de la Constructabilidad como de la efectividad de los rompedores de barreras, en la evaluación global del programa corporativo

Periódicamente llevar a cabo una evaluación formal del programa e involucrar a los empleados de los diferentes niveles y posiciones. Realizar una valoración anual como parte del desempeño empresarial (corporativo) en los procesos de evaluación comparativa.

Reconocer, recompensar y anunciar el éxito tanto del programa a nivel corporativo como a nivel del proyecto. Integrar los triunfos en el programa de Constructabilidad dentro del programa anual de premios en la compañía.

6.4.3.2 Modificar la organización y los procedimientos; actualizar la base de datos de las lecciones aprendidas

Conforme se requiera, es necesario modificar el programa y la organización para una mejora sustancial del programa de Constructabilidad, de acuerdo a lo siguiente:

- ✓ Considerar periódicamente la rotación del personal que presta servicios en el rol de gerente del programa empresarial (corporativo) de Constructabilidad para expandir la base de conocimientos
- ✓ Tener cuidado de las barreras organizacionales recurrentes y mantener vigilancia sobre los aspectos de complacencia, las agendas ocultas y la resistencia al cambio

Y conforme se vaya requiriendo, modificar los procedimientos del programa:



- ✓ Asegurar que el material de entrenamiento sea de alta calidad para los programas de sensibilización de la Constructabilidad
- ✓ Enfocarse en la mejora de las comunicaciones cruzadas de las lecciones aprendidas a nivel de proyecto para evaluar los mecanismos de comunicación potenciales o más adecuados (ejemplo, hojas informativas sobre la coordinación de la Constructabilidad)
- ✓ Revisar las prácticas para la determinación de los costos y los beneficios del programa, asegurar que el nivel de los esfuerzos es adecuado y efectivo, pero no excesivo
- ✓ Asegurar que el éxito del programa reciba la publicidad adecuada

Enfocarse en mantener una alta calidad de los archivos o de la base de datos de las lecciones aprendidas:

- ✓ Expandir continuamente y actualizar la base de datos de las lecciones aprendidas con el desarrollo de cada proyecto
- ✓ Periódicamente revisar los conceptos en la base de datos para asegurar su integridad, exactitud, consistencia, puntualidad y evitar duplicidad
- ✓ Siempre estar atentos de las nuevas contribuciones al sistema –subcontratistas, proveedores y otros
- ✓ Revisar la adecuada recolección y evaluación de ideas – pero no expandir esta actividad indiscriminadamente
- ✓ Asegurar que las aportaciones y nuevas ideas recibidas se retroalimentan constructivamente
- ✓ Con base a los análisis y discusiones, se debe hacer una valoración periódica de las necesidades para los nuevos conceptos sobre Constructabilidad y la búsqueda de nuevas aplicaciones para soportar dichas necesidades

Con la actualización del programa corporativo concluye el ciclo de implementación de la Constructabilidad. Puede ser la única y más importante actividad para asegurar la efectividad del programa de Constructabilidad.



CAPÍTULO VII

7.1 Temas de Constructabilidad de alto impacto

Una firma de ingeniería ofrece un enfoque totalmente integrado para ingeniería, adquisiciones y construcción. La Constructabilidad es una parte clave en la planeación de la ejecución de proyectos. Los esfuerzos de la Constructabilidad empiezan en la etapa temprana en el desarrollo del proyecto y son impulsados por el equipo del proyecto y apoyados por el grupo de construcción. Todas las áreas del proyecto son investigadas en búsqueda de oportunidades de modularización, prefabricación y/o instalación que ahorrarán tiempo y dinero en el proyecto. Todas las oportunidades son exploradas por los equipos de ingeniería, adquisiciones, control de proyectos, construcción y seguridad industrial para asegurar que se tome una decisión que cumpla con los requisitos del proyecto y proporcione valor agregado al proyecto de manera segura y rentable.

Los proyectos exitosos, independientemente del costo total, la localización, el dueño, el tipo de industria o el programa del proyecto, se logran a través de los objetivos y las metas de la Constructabilidad. Las metas y objetivos más provechosos de la Constructabilidad han sido compilados en la siguiente lista con el fin de resaltar su potencial impacto en los proyectos.

7.1.1 Seguridad en el diseño y en la ejecución

Una de las tareas más importantes que se tienen en un proyecto es asegurar que los miembros del equipo trabajen seguros tanto en la oficina como en el sitio. Además, el diseño de los elementos debe considerar los aspectos de seguridad tomando en cuenta el ensamblaje y las instalaciones. Las consideraciones clave deben incluir protección contra caídas, minimizar las excavaciones y zanjas, pre ensamblaje y módulos, así como muchos otros temas de seguridad y cuidado.



Es responsabilidad de todos los miembros del equipo de trabajo reducir y eliminar los accidentes. Todos los accidentes y daños se pueden prevenir, es por esto que el elemento importante en el plan de ejecución del proyecto es el plan de seguridad.

7.1.2 Aportación temprana de información, minimiza revisiones

La Constructabilidad proporciona la integración entre ingeniería y procuración, y logra las metas y objetivos del sitio. Las aportaciones en sitio ahorran tiempo, dinero e integra más efectivamente las metas y objetivos del proyecto. La ingeniería simultánea, el manejo del sitio, el pre ensamblaje, la modularización y cualquier otra técnica de rápido seguimiento pueden no dejar tiempo para su revisión, por eso es benéfico para todos los involucrados que los diseños y la procuración estén bien desde la primera vez y que no sea necesario revisarlas o modificarlas.

El plano de localización general del proyecto (Plot Plan) se requiere muy temprano en el desarrollo del proyecto para poder maximizar las actividades de construcción, realizar los estudios de potenciales interferencias y demoras, realizar la secuencia de actividades y llevar a cabo los arreglos de las instalaciones. Si construcción tiene que revisar un plano y este no está disponible entonces el beneficio de la revisión está severamente limitado.

7.1.3 Mejora de la productividad en sitio

Aparte de la seguridad, otra cosa que los clientes buscan es la mejora de la productividad en sitio. Este concepto de mejora puede incluir la integración del uso de tecnologías, disminución de la mano de obra, mejoras en las relaciones laborales, métodos y materiales de avance, promover la ejecución de trabajo fuera de las instalaciones, en áreas menos congestionadas y más seguras, armado a nivel de piso, pre ensamblaje, así como numerosas técnicas y aplicaciones. La mejora de la productividad es tan importante que ha sido implementada como una herramienta en la medición de los proyectos.



7.1.4 Trabajar con mayor inteligencia en lugar de más duro

Simplificar es negocio que da buenos resultados para todos los involucrados en el proyecto. En la construcción es vital trabajar con este lema, ya que si trabajamos con inteligencia los ahorros tanto en costo como en tiempo se ven reflejados en el proyecto. Algunos ejemplos incluyen el plano de localización general del proyecto y el arreglo de equipos; para la adquisición y seguimiento de materiales, asignaciones directas a proveedores y alianzas entre proveedores para que ofrezcan precios competitivos, calidad en los productos, soporte y servicio. Racks de tuberías rectos y cortos sin múltiples quiebres y sin muchos cambios de elevación ya que son más económicos y más rápidos de instalar. Uniformizar los tipos de materiales y especificaciones permite minimizar los costos si se hace correctamente el trabajo. Las revisiones de la ingeniería pueden ofrecer un alcance simplificado.

7.1.5 Modularización y pre-ensamble

La mayoría de los proyectos pueden beneficiarse si se trabaja en talleres para ejecutar el mismo trabajo pero con mejores herramientas, y con una fuerza de trabajo permanente, mejores condiciones (compras, clima), proveedores y vendedores más cercanos, etc. Para una completa aplicación de los conceptos y principios de pre-ensamble, se cuenta con significativa experiencia en la reducción de costos. Muchos tanques verticales pueden aislarse y acondicionarse a nivel de piso con tuberías, escaleras, plataformas y así como componentes eléctricos e instrumentación antes de montarlos sin que esto afecte la seguridad y la capacidad de operación de las grúas.

7.1.6 Minimizar el impacto de las plantas en operación

La productividad y la seguridad son preocupaciones que crecen en cualquier trabajo ya sea dentro o cerca de las instalaciones. Los accesos, la capacitación y el manejo de materiales son significativamente más difíciles de planear, manejar y coordinar. Los trabajos en espacios calientes, como soldaduras o cortes son más complicados.



Las reducciones y métodos de unión de tuberías es siempre un beneficio si es que es posible hacerlo. Ingeniería y Constructabilidad pueden trabajar juntos para minimizar el alcance de las unidades en operación en la mayoría de los proyectos tipo de expansión, remodelación y mantenimiento.

7.1.7 Terminación y entrega de sistemas

Los clientes insisten en que se terminen y entreguen los sistemas de las plantas y materiales de forma ordenada, con la documentación y la secuencia apropiada para el arranque. No tiene sentido arrancar los sistemas primarios del proceso si los servicios auxiliares u otro sistema de transporte o comunicación aún no pueden soportar a los sistemas primarios. Los elementos esenciales para el arranque apropiado de una planta involucran una definición temprana y una asignación de responsabilidades para la identificación de sistemas, secuencias, terminación mecánica, pruebas y revisión, comisionamiento, arranque, puesta en marcha y documentación necesaria.

7.1.8 Minimizar las excavaciones

Las excavaciones para los sistemas eléctricos y de tuberías (subterráneos) a gran escala pueden causar gran desorganización en la productividad y problemas con la planeación de la seguridad. Los planes de estas actividades deben desarrollarse cuidadosamente si una significativa porción del terreno se ve impactada por la excavación, o si la ruta crítica del programa falla en los trabajos subterráneos. Existen ciertos métodos a ser empleados para minimizar las excavaciones y el tiempo que permanecen abiertas.

Todas las precauciones sobre seguridad deben usarse, algunas consideraciones son:

- ✓ Usar personal competente según los requerimientos
- ✓ Uso de barricadas
- ✓ Usar trincheras (cuando sea requerido)
- ✓ Mantener las zanjas limpias y secas



- ✓ Asegurar la integridad de las cimentaciones circundantes
- ✓ Uso de zanjas comunes
- ✓ Usar tramos rectos y pre ensamblaje
- ✓ Utilizar rellenos fluidos cuando aplique

7.1.9 Estandarizar los materiales y los detalles de fabricación

La revisión continúa del cliente, de los detalles en los estándares y especificaciones de los materiales y su fabricación, se traducen en mejoras de costos y productividad. Los ejemplos incluyen el uso de “Sonotubo” para la instalación de pilares de concreto, pre ensamblaje de bacines de concreto y registros el uso de materiales a granel como juntas y pernos. Algunos proyectos tienen ahorros significativos cuando utilizan tamaños y especificaciones para acero de refuerzo y concreto, entonces el costo se ve minimizado en el diseño, en la procuración y en la construcción y todo esto con un simple concepto.

7.1.10 Sistemas automatizados para la comunicación

Utilizar una herramienta de automatización (software), la cual integra la aplicación patentada de la empresa con las aplicaciones comerciales configuradas para mejorar la ingeniería, procuración, construcción y mantenimiento de los proyectos Este software deberá de incluir herramientas para el proyecto y debe contar con funciones amplias y detalladas.

Para mejorar la planeación de la construcción, el análisis, la ejecución y el arranque, el equipo de tecnologías de la construcción colabora con los equipos funcionales del proyecto. Los miembros del equipo también trabajan con recursos externos, incluyendo a los institutos líderes de las industrias y programas universitarios de investigación, en el desarrollo de la aplicación de tecnologías para manejo de recursos, tareas y prioridades a lo largo de la vida del proyecto. La empresa implementa herramientas de automatización a las cuales el personal de sitio puede acceder y usar con facilidad.



Estas herramientas mejoran la comunicación y la eficiencia colectiva, el almacenamiento y compartir información precisa.

Los modelos electrónicos 3D, son una herramienta interactiva para el modelado con múltiples bases de datos, que se ofrece a los clientes en tiempo real, y ofrece simulaciones antes y durante la ejecución del proyecto. Estas herramientas ayudan a identificar potenciales problemas, enviar la información del progreso del proyecto como la instalación de equipos y disponibilidad de materiales, generación de los escenarios “*que pasa si...*” (“*what if?*”), en donde existan desviaciones del programa, secuencias, entrega y planeación de los materiales y documentar la terminación de la construcción. Estas simulaciones pueden ser visualizadas en una computadora o a través de herramientas virtuales que permitan revisar y visualizar interactivamente dentro del ambiente 3D en tiempo real y con completa percepción del espacio.

El avance en las tecnologías de la información se aplica a lo largo del proyecto. La Constructabilidad se ve reforzada por la explotación de las capacidades y los beneficios del avance en las tecnologías de información. El uso de la información avanzada tiene el potencial de revolucionar los métodos utilizados por la industria de la construcción. Una de las tecnologías de la información que se aplican a los proyectos son los modelos electrónicos en 3D.



CAPÍTULO VIII

8.1 Casos de éxito

La Constructabilidad es un enfoque que vincula los procesos de diseño y construcción, que pueden conducir a ahorros significativos en los costos y el tiempo requerido para completar los proyectos de construcción. La mejora de la Constructabilidad de los proyectos es responsabilidad de todos los interesados: dueños, diseñadores y contratistas.

En este capítulo se describen algunos casos de éxito de cómo se puede integrar el conocimiento y la experiencia de la construcción en la planificación y el diseño en la práctica y su papel en el mejoramiento de la Constructabilidad.

Además de transmitir las experiencias, los casos de éxito pretenden servir de estímulo a las personas, empresas u otras organizaciones que están intentando innovar en distintos ámbitos: organización, proceso, producto, servicio, modelo de negocio, etc.

Los casos de éxito están basados en las aportaciones que lograron la satisfacción del cliente y la reducción de materiales y costos. La importancia de los casos de éxito y su disponibilidad es que ayudan al aprendizaje de otros y a la creación de valor. Esta manera simple de transmitir los casos de éxito permite la contribución, el uso, y la mejora exitosa de los procesos de trabajo.

Cuando una empresa contempla la introducción de un nuevo proceso en su práctica habitual, el costo y los beneficios son siempre una consideración. El proceso de revisión de Constructabilidad no es una excepción. Sin embargo, lamentablemente hasta la fecha no ha habido una medida eficaz desarrollada para determinar los costos de realizar estudios de Constructabilidad. Así mismo, la medición de los beneficios de esta herramienta, ha sido un problema.



Las mejoras a un programa de Constructabilidad dependen de las mediciones precisas y concordantes de su eficacia. Por lo tanto, existe la necesidad de los parámetros costo/beneficio estandarizados de medición para que el rendimiento de la Constructabilidad pueda ser documentado y comparado entre los proyectos y entre las empresas del ramo.

Los casos de éxito que se presentan a continuación fueron elaborados por la empresa ICA Fluor para demostrar que la Constructabilidad si da ganancias y se puede aplicar en los proyectos que maneja la empresa.

8.2 Planta hidrodesulfuradora de diesel

8.2.1 Antecedentes

La refinería de PEMEX, localizada en Ciudad Madero, Tamaulipas, está actualmente siendo modernizada, para cumplir completamente con los estándares de calidad y seguridad, así como mejorar la capacidad de producción de Diesel, para lo cual se incorporan a la refinería las últimas tecnologías aplicables a estos procesos.

Las nuevas plantas hidrodesulfuradoras de diesel U-503 y U-504 están diseñadas en base a la tecnología de hidrotratamiento Prime DTM con la licencia de Axens, para el tratamiento de una mezcla de nueve diferentes corrientes: tres corrientes de diesel primario, una corriente de diesel hidrotratado de la unidad U-502, una corriente de gasóleo ligero de coquizadora, dos corrientes de nafta pesada catalítica provenientes de las plantas de desintegración catalítica y dos corrientes de aceite cíclico ligero para producir Diesel de Ultra Bajo Azufre (DUBA) con un contenido de 10 ppm en peso de azufre. La unidad será diseñada con una capacidad de 25,000 BPSD (barriles por día estándar). A continuación se describen en una forma simplificada la identificación y cuantificación de algunos análisis costo/beneficio derivados de la aplicación de la Constructabilidad a nivel de proyecto.



8.2.2 Malla de ingeniería de acero

En la búsqueda de oportunidades de mejorar las formas para que la construcción sea más eficiente y aplicando la Constructabilidad, en este proyecto se propuso el uso de una malla de ingeniería de acero G60 en lugar de usar varilla corrugada tradicional grado 42 ($f'y= 4,200 \text{ kg/cm}^2$), para las vialidades del proyecto DUBA.

La idea nace de la experiencia que se tuvo en proyectos anteriores; este sistema fue utilizado en las plantas criogénicas de Burgos, en el proyecto Reynosa, no solo en vialidades sino también en registros mayores, dando buenos resultados, desafortunadamente no fueron documentados los beneficios en ese proyecto y no se cuenta con la información.

Debido a que en el proyecto de DUBA-Madero se tiene una cantidad considerable de explanadas en las plantas, se considera que se tiene una buena oportunidad para realizar un análisis de costo/beneficio utilizando malla de ingeniería de acero G60 contra la varilla corrugada grado 42.

Varilla corrugada grado 42

En nuestro país, el material con mayor aplicación como refuerzo de elementos y estructuras de concreto es la varilla corrugada grado 42, la cual, en la gran mayoría de estos elementos, se coloca formando parrillas cuyas intersecciones se amarran con alambre recocado para evitar, en lo posible, que éstas se muevan y conserven la posición de diseño durante el proceso de colado.

En la construcción, la varilla de acero se usa como refuerzo para el concreto para mejorar su resistencia a esfuerzos de tensión. Debido a que tienen un rol importante en la construcción, las varillas de acero deben de estar producidas de acuerdo a normas ASTM y/o normas mexicanas. La superficie de la varilla deberá estar deformada o corrugada para mejorar la adherencia al concreto e inhibir el movimiento longitudinal relativo.



Las varillas se deben colocar y amarrar en los lugares especificados por los planos, es importante verificar el alineamiento y posición del armado antes del vaciado de concreto.

Malla de ingeniería G60





La malla de ingeniería de acero G60, es un armado prefabricado electro soldado diseñado, fabricado y cortado en diámetros, separaciones y dimensiones a la medida de cada caso, optimiza la cantidad de acero requerido en las diferentes secciones del elemento, no existe desperdicio ya que las hojas se modulan de acuerdo a las dimensiones del elemento, pero sobre todo se acelera el proceso constructivo por la rapidez de su colocación, no se tiene que armar nada, solo se colocan las hojas de acuerdo al plano de montaje. Su uso más frecuente es en el refuerzo de losas y capas de compresión en losas aligeradas de concreto.

La malla de ingeniería G60 como material es más costosa que la varilla corrugada, sin embargo las ventajas y beneficios de usar malla de ingeniería son:

- ✓ Optimiza la cantidad de acero requerido en las diferentes secciones del elemento
- ✓ No existe desperdicio ya que las hojas se modulan de acuerdo a las dimensiones del elemento
- ✓ Se acelera el proceso de constructivo por la rapidez de su colocación
- ✓ No se tiene que armar nada, solo se colocan las hojas de acuerdo al plano de montaje
- ✓ El proceso de construcción es ordenado y limpio
- ✓ Se trabaja 4 veces más rápido que lo que se logra con la varilla grado 42
- ✓ Ahorros de hasta el 75% del costo de la mano de obra



Los ahorros se logran en las Horas-Hombre (HH) de la mano de obra, en el corte, en el habilitado y en el amarre de acero.

Mano de obra	Acero de refuerzo varilla corrugada grado 42	Malla de ingeniería G60
CORTE 	REQUIERE	NO REQUIERE
HABILITADO 	REQUIERE	NO REQUIERE
AMARRE 	REQUIERE	NO REQUIERE
COLOCACIÓN 	REQUIERE	REQUIERE

A continuación se hace el comparativo del análisis costo/beneficio utilizando malla de ingeniería de acero G60 contra la varilla corrugada de acero grado 42 que se usa de forma tradicional en el armado de las losas.



Análisis costo/beneficio del uso de malla de ingeniería G60 contra varilla corrugada grado 42. Consideraciones:

Recursos necesarios	Varilla corrugada G42		Malla de ingeniería G60	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Área a cubrir	75,795	m ²	75,795	m ²
Cantidad de capas (superior e inferior)	2		2	
Área total a cubrir	151,590	m ²	151,590	m ²
Varilla corrugada grado 42	4.45	kg/m ²	---	kg/m ²
Malla de ingeniería G60	---	m ² /ton	210	m ² /ton
Alambre para el amarre	35	kg/ton	14	kg/ton
Mano de obra				
Varilla corrugada grado 42	675	ton	---	ton
Malla de ingeniería G60	---	ton	722	ton
Corte	15	HH/ton	---	HH/ton
Habilitado	20	HH/ton	---	HH/ton
Amarre	30	HH/ton	12	HH/ton
Colocación	20	HH/ton	8	HH/ton
Costos				
Varilla corrugada grado 42	10,557	\$/ton	---	\$/ton
Malla de ingeniería G60	---	\$/m ²	51.25	\$/m ²
Alambre para el amarre	10.85	\$/kg	10.85	\$/kg
Mano de obra				
Corte	70	\$/HH	---	\$/HH
Habilitado	70	\$/HH	---	\$/HH
Amarre	70	\$/HH	70	\$/HH
Colocación	70	\$/HH	70	\$/HH



TABLA DE RESULTADOS

Horas Hombre (HH)	Varilla corrugada G42		Malla de ingeniería G60	
Mano de obra				
Corte	10,119	HH	---	HH
Habilitado	13,492	HH	---	HH
Amarre	20,237	HH	8,662	HH
Colocación	13,492	HH	5,775	HH
TOTAL HH	57,339	HH	14,437	HH
Costos				
	Costo en M.N.		Costo en M.N.	
Varilla corrugada grado 42	\$ 7,121,494		---	
Malla de ingeniería G60	---		\$ 7,768,988	
Alambre para el amarre	\$ 256,170		\$ 109,650	
Mano de obra				
Corte	\$ 708,304		---	
Habilitado	\$ 944,406		---	
Amarre	\$ 1,416,609		\$ 606,360	
Colocación	\$ 944,406		\$ 404,240	
TOTAL	\$ 11,391,388		\$ 8,889,238	
Costo/beneficio	42,902	HH	\$ 2,502,150	



8.2.3 Excavaciones para las cimentaciones en el rack

Siguiendo con la aplicación de la Constructabilidad en el proyecto DUBA-Madero se elaboro una estrategia para tener ahorros de costo y tiempo en el rack de tuberías de la planta, específicamente en lo relacionado a las excavaciones y rellenos; consiste en considerar una sola excavación para albergar todas las cimentaciones del rack, es decir, hacerlo en una sola zanja de la longitud total del rack en vez de realizar la excavación en un cajón individual para cada cimentación, como se realiza comúnmente. Por lo que se considera que se tiene una buena oportunidad para realizar un análisis de costo/beneficio de las excavaciones individuales contra una sola excavación.

Excavación individual de cimentación

Realizar la excavación en un cajón individual para cada cimentación representa hacer constantes movimientos al pasar de una cimentación a otra, lo cual produce un decremento en la productividad del equipo, se tiene una dependencia por parte del grupo de topografía para realizar los trazos de ubicación para cada cimentación y sobre todo existe en medida de seguridad más riesgo por la salida y entrada de personal constantemente de un nivel a otro nivel.

El rack de tuberías cuenta con 30 piezas de cimentaciones por cada planta, las dimensiones de cada cimentación es de 6 mts. de largo por 3 mts. de ancho por 1.3 mts. de profundidad, se considera una sobre excavación para poder realizar los trabajos civiles, quedando los cajones individuales como se muestra en la figura 8.1.

En la figura 8.1 se puede apreciar que para la excavación de cada cimentación individual, el rendimiento del equipo tiene restricciones por ser un área limitada debido a que al terminar de excavar se tienen que realizar maniobras para posesionar el equipo en el área siguiente e iniciar la siguiente excavación y así sucesivamente en cada excavación individual, lo cual nos hace perder tiempo debido a las maniobras y por el área de acción limitada.

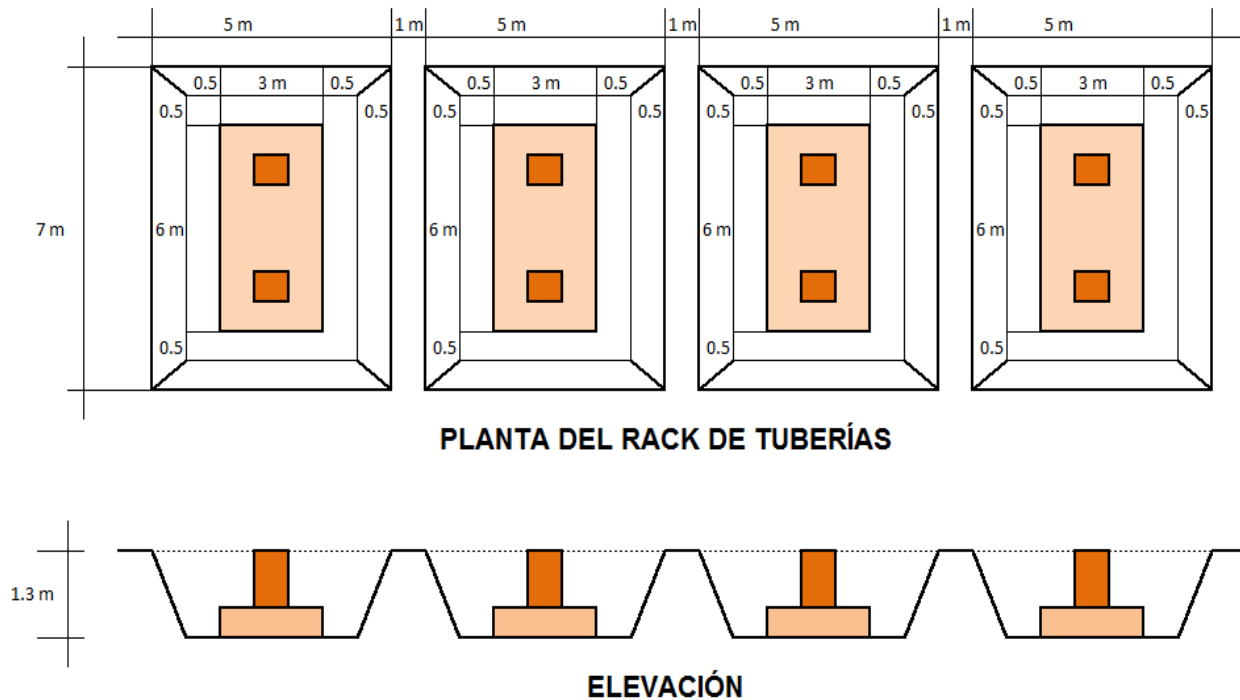


Figura 8.1 Planta y elevación de las cimentaciones del rack de tuberías

Debido a que son múltiples excavaciones ya que son 60 cajones individuales de 5 mts. de largo por 7 mts. de ancho y 1.3 mts. de profundidad se tendrá que remover un volumen total de tierra de $2,730 \text{ m}^3$, aparentemente este volumen comparándolo con la excavación masiva en zanja debería de realizarse en menor tiempo ya que el volumen es menor; pero esto no siempre es así, debido a los constantes posicionamientos que debe realizar el equipo al cambiarse de una excavación a otra.

Para la colocación de la plantilla, la cimbra, el acero y el concreto, se consume un mayor número de Horas-Hombre (HH), debido a que el traslado de los equipos e insumos utilizados en una cimentación deben de cambiarse a la siguiente cimentación a través de los bordos entre excavación y excavación, ocasionando HH en traslados y tiempos inactivos en los equipos.



El relleno compactado se realiza en forma manual a través de equipo mecánico, el material es colocado al pie del cajón cerca del sitio por relleno donde es vaciado manualmente con palas en capas para ser compactado, la compactación se realiza con ayuda un equipo operado manualmente llamado comúnmente “Bailarina”. En la figura 8.2 se muestran los pasos de los trabajos a realizar en forma progresiva para cada uno de los cajones de las cimentaciones.

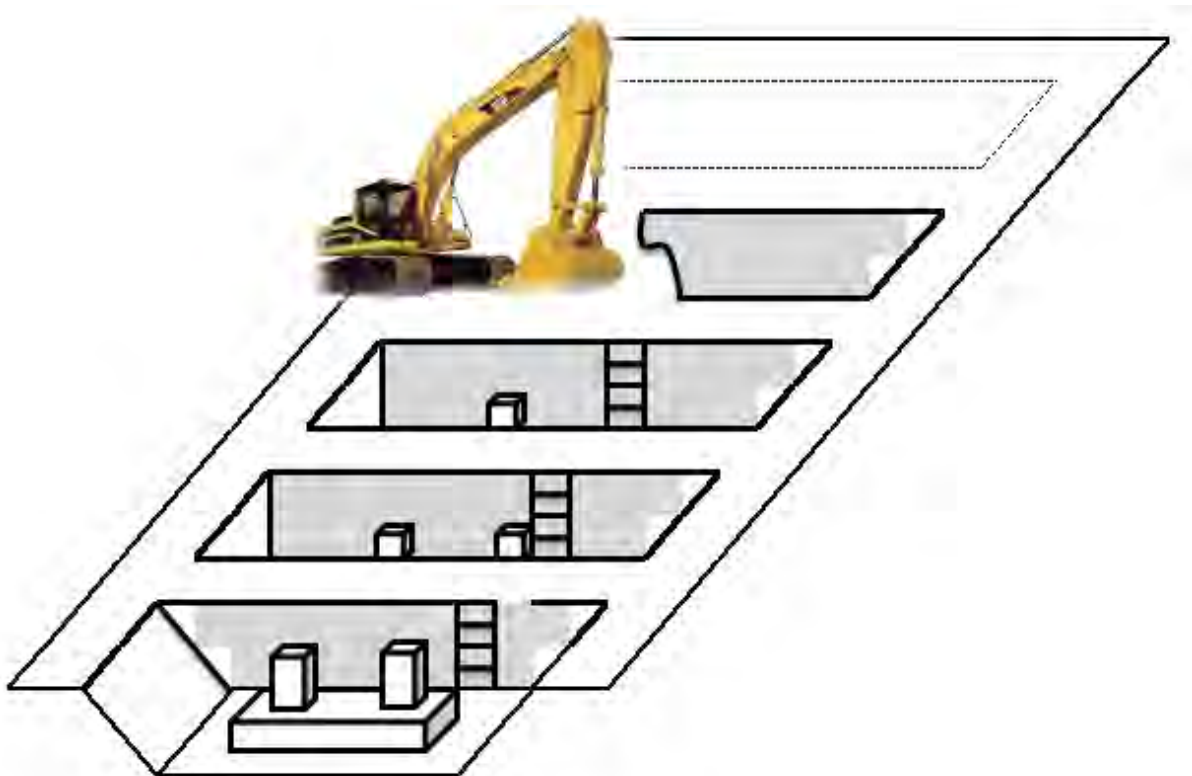


Figura 8.2 Excavación individual para las cimentaciones del rack

Excavación masiva en zanja

Se considera una sola excavación para albergar todas las cimentaciones del rack, para este proyecto se tienen dos plantas la U-503 y la U-504 cada una tiene un rack de tuberías con una longitud de 180 mts. cada uno, se requieren hacer dos zanjas de la longitud total del rack de cada planta.



Cada zanja debe tener 180 mts. de largo por 7 mts. de ancho por 1.30 mts. de profundidad, por lo que el volumen a excavar sería de $3,276 \text{ m}^3$, para lograr esto se requiere de una retroexcavadora 320 para material tipo "A", considerando que se tienen que realizar demoliciones de inclusiones y pilas lo que representa que la excavación del rack de tuberías se estará realizando en 10 jornadas si fuera una excavación continua, con este procedimiento la maquinaria tiene una mayor eficiencia; parte del material excavado será necesario retirarlo del sitio (el equivalente al volumen del concreto que tengan las cimentaciones) con camiones de carga para acarreos, el resto del material será depositado en un banco de almacenamiento, con la intención de que este mismo sirva para los rellenos una vez construidas las cimentaciones.

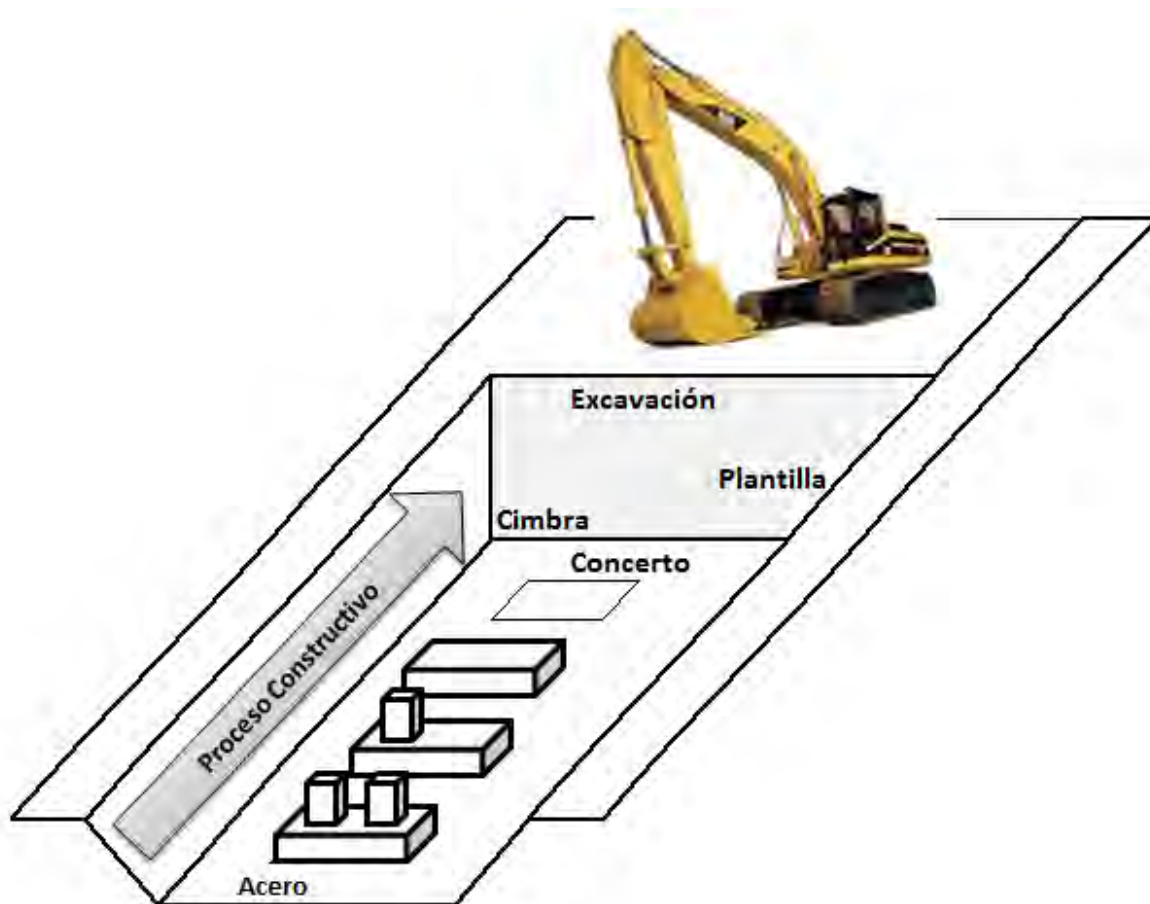


Figura 8.3 Apertura para las actividades de plantilla, cimbra, acero y concreto



La eficiencia del equipo se produce cuando la actividad es continua y el frente de trabajo tiene la oportunidad de diversificar las actividades como, excavación, demoliciones, plantillas de concreto, acero de refuerzo, cimbra y colocación de concreto, ya que la secuencia de actividades se da en forma automática como consecuencia del proceso de trabajo a nivel de piso y con menos riesgos de trabajo para el personal. Considerando este proceso de excavación para la construcción de las cimentaciones, naturalmente obtendremos ahorros de Horas-Hombre (HH) en el habilitado y la colocación de cimbra, acero y concreto.

Los rellenos compactados con equipo mecánico en zanja se realizan en un tiempo menor debido a que el material se extiende con equipo mecánico y se compacta con equipo mecánico mayor. Realizando el relleno compactado del rack se tiene la oportunidad del montaje de los marcos precolados previamente construidos abriéndose con esto la oportunidad de trabajar en las fases siguientes.

Ventajas de la excavación masiva en zanja

- ✓ Optimización del equipo de excavación
- ✓ Trabajos más seguros
- ✓ Topográficamente solo requiere puntos de referencia
- ✓ Plantillas secuenciadas de concreto
- ✓ Construcción de cimentación en serie
- ✓ Rellenos más eficientes
- ✓ Colocación temprana de marcos precolados
- ✓ Apertura de frentes de trabajo
- ✓ Se realiza en menor tiempo

Desventajas de la excavación masiva en zanja

- ✓ El volumen de excavación es mayor
- ✓ El volumen por rellenar es mayor



En la figura 8.4 se muestran los trabajos a realizar en una excavación individual, mientras que en la figura 8.5 se muestra la excavación masiva.



Figura 8.4 Excavación individual para las cimentaciones del rack



Figura 8.5 Excavación en zanja para las cimentaciones del rack



Análisis costo/beneficio en los trabajos de obra civil del rack utilizando excavación individual contra una excavación masiva. Consideraciones:

Recursos necesarios	CAJON INDIVIDUAL		ZANJA COMPLETA	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Excavación	2,730	m ³	3,276	m ³
Plantilla	58	m ³	58	m ³
Cimbra	960	m ²	960	m ²
Acero	86	ton	86	ton
Concreto	512	m ³	512	m ³
Relleno	2,160	m ³	2,706	m ³
Rendimiento				
Retroexcavadora 320	30	m ³ /hr	40	m ³ /hr
Plantilla	8	HH/m ³	6	HH/m ³
Cimbra	4	HH/m ²	3	HH/m ²
Acero	100	HH/ton	80	HH/ton
Concreto	8	HH/m ³	6	HH/m ³
Oficial	2.5	HH/m ³	0.25	HH/m ³
Bailarina	2.5	m ³ /HH	---	m ³ /HH
Motoconformadora	---	m ³ /HH	70	m ³ /HH
Vibrocompresor	---	m ³ /HH	40	m ³ /HH
Rendimiento				
Retroexcavadora 320	1,555	\$/HH	1,555	\$/HH
Plantilla	70	\$/HH	70	\$/HH
Cimbra	70	\$/HH	70	\$/HH
Acero	70	\$/HH	70	\$/HH
Concreto	70	\$/HH	70	\$/HH
Oficial	70	\$/HH	70	\$/HH
Bailarina	25	\$/HH	---	\$/HH
Motoconformadora	---	\$/HH	950	\$/HH
Vibrocompresor	---	\$/HH	620	\$/HH



TABLA DE RESULTADOS

Horas Hombre (HH)	CAJON INDIVIDUAL		ZANJA COMPLETA	
Retroexcavadora 320	91	HH	82	HH
Plantilla	464	HH	348	HH
Cimbra	3,840	HH	2,880	HH
Acero	8,600	HH	6,880	HH
Concreto	4,096	HH	3,072	HH
Oficial	5,400	HH	677	HH
Bailarina	864	HH	---	HH
Motoconformadora	---	HH	39	HH
Vibrocompresor	---	HH	68	HH
TOTAL HH	23,355	HH	14,045	HH
Costos	Costo en M.N.		Costo en M.N.	
Retroexcavadora	\$ 141,505		\$ 127,355	
Plantilla	\$ 32,480		\$ 24,360	
Cimbra	\$ 268,800		\$ 201,600	
Acero	\$ 602,000		\$ 481,600	
Concreto	\$ 286,720		\$ 215,040	
Oficial	\$ 378,000		\$ 47,355	
Bailarina	\$ 21,600		---	
Motoconformadora	---		\$ 36,724	
Vibrocompresor	---		\$ 41,943	
TOTAL	\$ 1,731,105		\$ 1,175,977	
Costo/Beneficio	9,310	HH	\$ 555,128	



8.2.4 Modularización de los puentes del rack de tuberías

Una de las estructuras que se encuentra presente en la mayoría de las instalaciones industriales es el llamado rack de tuberías, esta estructura es una sucesión de marcos de concreto reforzado o acero estructural restringidos longitudinalmente por vigas, se caracteriza por tener una gran longitud y su sección transversal puede ser constante o variable dependiendo de las necesidades de cada proyecto, en algunos casos pueden soportar equipos.

Los puentes del rack de tuberías son otro caso de éxito de la Constructabilidad, se analizaron las formas de construir los puentes; utilizando una construcción tipo “Stick Built” la cual consiste en armar el puente en el lugar en donde se va a utilizar en sitio contra la fabricación por módulos, estos módulos se fabrican en un taller localizado dentro de la refinería para después ser transportados y colocados en el lugar que se requieran.

Construcción tipo “Stick Built”

El rack de tuberías de la planta DUBA cuenta con 15 puentes a base de estructura metálica, cada puente tiene un peso aproximado de 20 toneladas en promedio cada uno, a continuación se describen los puentes:

Puente	Cantidad	Longitud (mts)
PN-01	3	26
PN-02	3	18
PN-03	3	20
PN-04	3	22
PN-05	3	20



El puente de tuberías es una estructura metálica apoyada entre los marcos de los ejes, en la sección transversal mantiene un ancho de 10 mts. y los mismos niveles que las camas del rack de tuberías, su estructuración es de tipo armadura con largueros, travesaños, diagonales verticales y horizontales, como se puede ver en la figura 8.6.

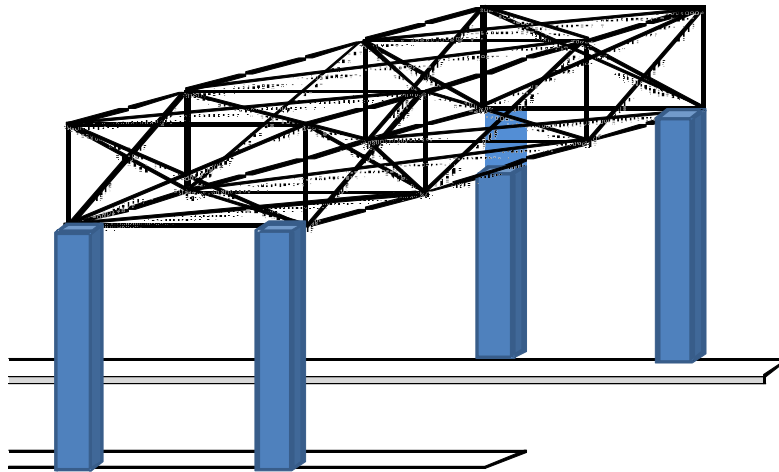


Figura 8.6 Puente en el rack de tuberías

La construcción tipo "Stick Built" consiste en una metodología de construcción en la que se construye la obra en sitio, es decir todos los equipos y materiales necesarios para la construcción del puente deben permanecer cerca del lugar en donde se va a colocar el puente, lo cual implica estar moviendo el equipo y material de un puente a otro.

Construcción tipo modular

Construir los puentes en módulos nos permite realizar los trabajos en ambientes controlados dentro o fuera del sitio donde se cuente con todos los recursos para realizar una unidad transportable que contenga todos los componentes necesarios de un sistema.

Se van a prefabricar en un taller que se tiene dentro de la refinería cada puente de estructura metálica en dos secciones longitudinales de 20 mts. de longitud por 5 mts.



de ancho como se muestra en la figura 8.7; se transportaran las dos secciones construidas y pintadas en el taller al sitio de montaje en donde se ensamblaran las dos secciones para formar el cuerpo del puente, para luego ser izado y colocado sobre las columnas de concreto previamente construidas.

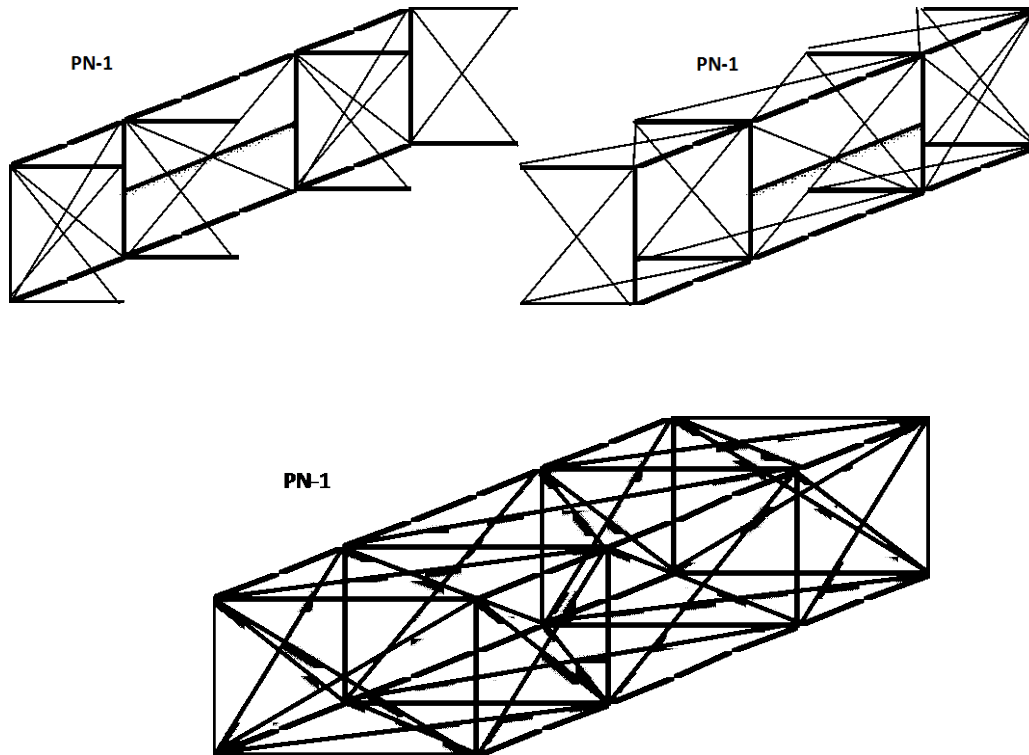


Figura 8.7 Puente ensamblado a nivel de piso

Estos elementos tienen un peso aproximado de 20 toneladas cada uno y de 300 toneladas total por todos los puentes, por lo que el ahorro se vería reflejado en las Horas-Hombre (HH), debido a que la fabricación de estructura metálica en campo a partir de perfiles en áreas exteriores en condiciones normales se consideran 80 HH/ton, para el caso de fabricarlo en un taller externo se consideran 60 HH/ton, teniendo un ahorro aproximado de 1,500 HH, también deben de considerarse todos los beneficios asociados a la modularización.



Algunos de los beneficios que se tienen por fabricar los puentes en forma modulada son los siguientes: se cuentan con izajes programados, se tiene un mejor control de las interferencias con otros trabajos, existe un ahorro en tubería, pintura, sistema eléctrico, además de contar con trabajos más seguros, a continuación se indican las ventajas y desventajas de fabricar los puentes en forma modular:

Ventajas:

- ✓ Se construye paralelo a las actividades del sitio
- ✓ No existen paros por falta de permisos
- ✓ Los recursos están concentrados
- ✓ Reducción de Horas-Hombre (HH)
- ✓ No se tiene restricción de horario
- ✓ Se trabaja en ambiente más seguro

Desventajas

- ✓ Requieren de más material (refuerzo del elemento, orejas de izaje)
- ✓ Grúas de mayor capacidad para el montaje
- ✓ Equipos para la transportación



Análisis costo/beneficio en los trabajos de la fabricación de puentes en el sitio donde se requieren contra la construcción por módulos. Consideraciones:

Recursos necesarios	Stick Built		Módulos	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Acero estructural	20	ton	22	ton
Número de puentes	15		15	
Acero estructural total	300	ton	330	ton
Mano de obra				
Fabricación (puente)	80	HH/ton	60	HH/ton
Montaje	20	HH/ton	10	HH/ton
Fabricación y montaje grúa 18 ton	5	HH/ton	3	HH/ton
Cama baja	---	HH/ton	2	HH/puente
Montaje con grúa de 80 ton	---	HH/ton	2	HH/puente
Costos				
Acero estructural	12,557	\$/ton	12,557	\$/ton
Mano de obra				
Fabricación (puente)	80	\$/HH	80	\$/HH
Montaje	80	\$/HH	80	\$/HH
Fabricación y montaje grúa 18 ton	1,125	\$/HH	1,125	\$/HH
Cama baja	---	\$/HH	950	\$/HH
Montaje con grúa de 80 ton	---	\$/HH	1,950	\$/HH



TABLA DE RESULTADOS

Horas Hombre (HH)	Stick Built		Módulos	
Mano de obra				
Fabricación (puente)	24,000	HH	19,800	HH
Montaje	6,000	HH	3,300	HH
Fabricación y montaje grúa 18 ton	1,500	HH	990	HH
Cama baja	---	HH	30	HH
Montaje con grúa de 80 ton	---	HH	30	HH
TOTAL HH	31,500	HH	24,150	HH
Costos				
	Costo en M.N.		Costo en M.N.	
Acero estructural	\$ 3,767,100		\$ 4,143,810	
Mano de obra				
Fabricación (puente)	\$ 1,920,000		\$ 1,584,000	
Montaje	\$ 480,000		\$ 264,000	
Fabricación y montaje grúa 18 ton	\$ 1,687,500		\$ 1,113,750	
Cama baja	---		\$ 28,500	
Montaje con grúa de 80 ton	---		\$ 58,500	
TOTAL	\$ 7,854,600		\$ 7,192,560	
Costo/beneficio	7,350	HH	\$ 662,040	



8.3 Estación de regulación y monitoreo

8.3.1 Antecedentes

El crecimiento esperado de la demanda de gas natural en la región central de México y una disminución de la producción de gas húmedo en el sureste son las principales causas de buscar una alternativa para satisfacer las necesidades de gas natural. Las instalaciones deberán transportar gas natural desde Los Ramones Fase II del Norte y llevarlo al centro de México a través de un nuevo gasoducto. Esta nueva tubería es propiedad de TAG Pipelines Sur, S. de R. L. de C.V. y está considerado como Los Ramones Fase II Sur.

El nuevo gasoducto utilizará tubería API 5L X70 PSL2 con una presión de operación máxima de 1,265 psig, la máxima presión de operación permitida es de 1,320 psig y la presión de diseño es de 1,320 psig, se debe de considerar una estación de compresión, utilizando turbo-compresores que llevarán el gas desde el punto de interconexión con los Ramones Fase II Norte para la interconexión con el gasoducto de PEMEX existente de 36 "Ø localizado en el municipio de Apaseo el Alto, en el estado de Guanajuato, México.

El proyecto de Los Ramones Fase II Sur consiste en diseñar y construir las instalaciones para el transporte de gas natural desde la interconexión de Los Ramones Fase II Norte a los siguientes puntos de entrega: San Luis Potosí, San Luis de la Paz, Parque Industrial Querétaro y Apaseo el Alto, con sus estaciones de regulación y medición. Para lograr lo anterior se requiere de una Estación de Compresión.

8.3.2 Terracerías para la formación de plataformas

Otro caso de éxito que se tiene respecto a la Constructabilidad es en la estación de regulación y monitoreo de San Luis Potosí, la cual cuenta con su estación de compresión y su estación de medición y regulación, localizada en el estado de San Luis Potosí, México.



Para esta estación de regulación y monitoreo se analizaron los casos de construir una o dos plataformas en el terreno que se tiene.

El sitio donde se construirá la estación de regulación y monitoreo de San Luis Potosí, es un terreno de forma rectangular de 200 mts. de largo x 150 mts. de ancho aproximadamente, cuya topografía presenta un desnivel de aproximadamente 12 mts. entre los puntos opuestos de los límites de batería, ver figura 8.8, las acciones que se le realizan al terreno son el desmonte, el despalme y se consideran cortes compensados para la realización de una plataforma, contra la realización de dos plataformas el objetivo principal es determinar el proceso más económico y rápido de ejecutar los trabajos para el éxito del proyecto.

Conceptos como el trazo, el desmonte, el despalme, las cargas y acarreos, serán tratados linealmente en las semejanzas de costo a efectos de tener una comparativa en igualdad de condiciones.

La importancia que se tiene de tomar una determinación temprana de qué forma se construirá la plataforma es para orientar al diseño y de esa manera sea concebido.

Se asume que el estudio de mecánica de suelos considera que el material es de calidad óptima para el relleno del material de corte.

La carencia de un reporte de la visita al sitio donde debería de estar definidos la ubicación y distancia de los bancos de tiro para los materiales sobrantes de desmonte y despalme, bancos de materiales para rellenos, localización del sitio y distancia para la toma de agua para las terracerías entre otros puntos, nos hará suponer un costo a efectos de mitigar los imponderantes, producto de falta de datos, los cuales son considerados al mismos costo para la realización de una o dos plataformas.

Una vez desmontada y despalmada una zona determinada, se iniciaran las actividades de cortes de terreno natural y compensación.

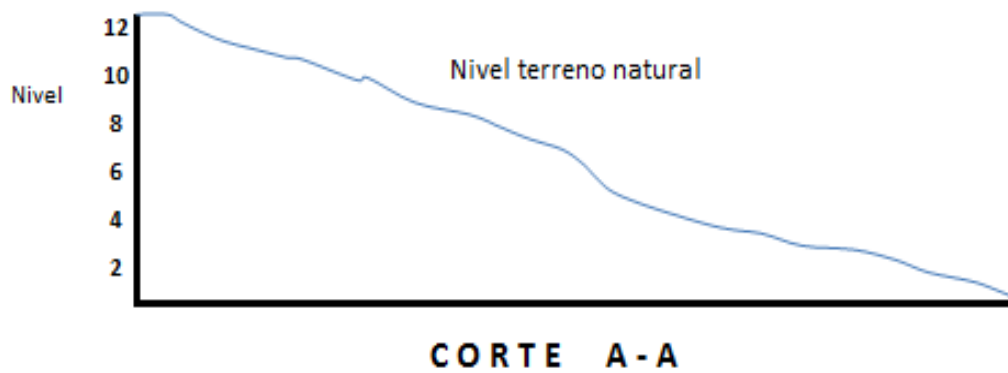
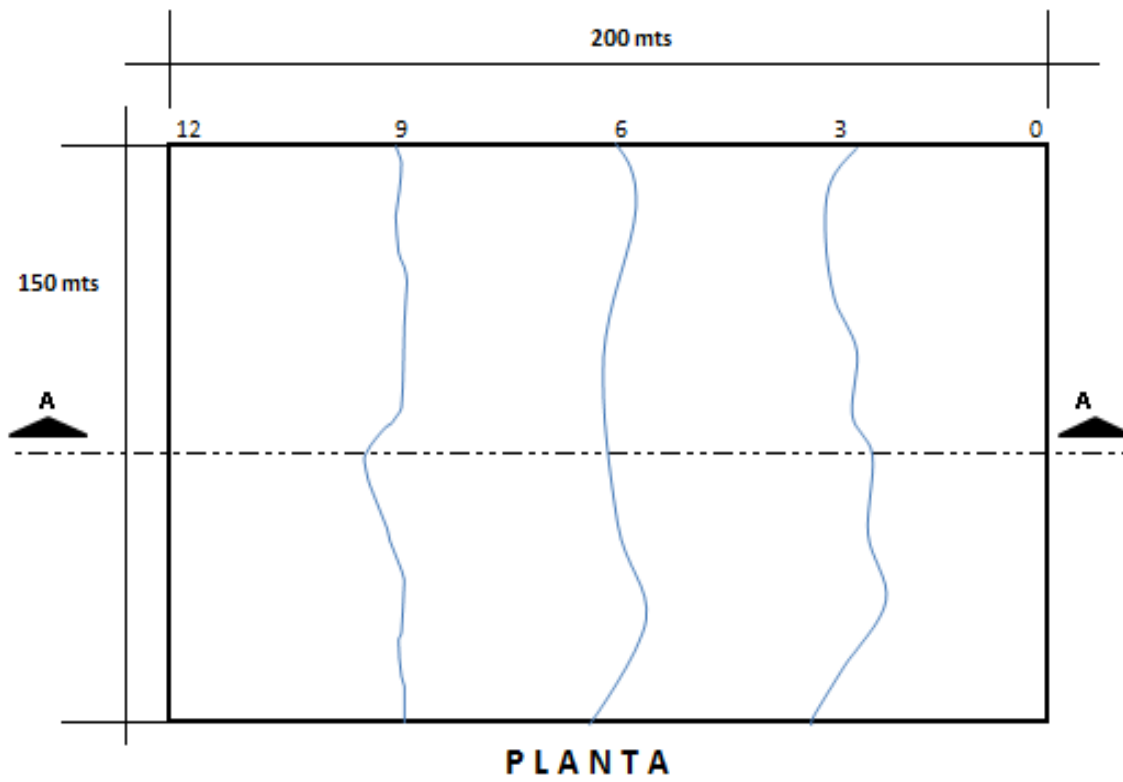


Figura 8.8 Terreno planta y corte



Una plataforma

Las actividades que se realizan son el corte y la compensación del terreno para la formación de una plataforma, además de la carga y acarreo de material. El corte se considera realizarlo del nivel +12 mts. hasta el nivel +6 mts. en una área de 100 mts. de largo x 150 mts. de ancho y la compensación del nivel +6 mts. al nivel +0 mts. en el área contigua de 100 mts. de largo x 150 mts. de ancho, la altura media entre ambos niveles será de 3 mts. de altura, como se indica en la figura 8.9.

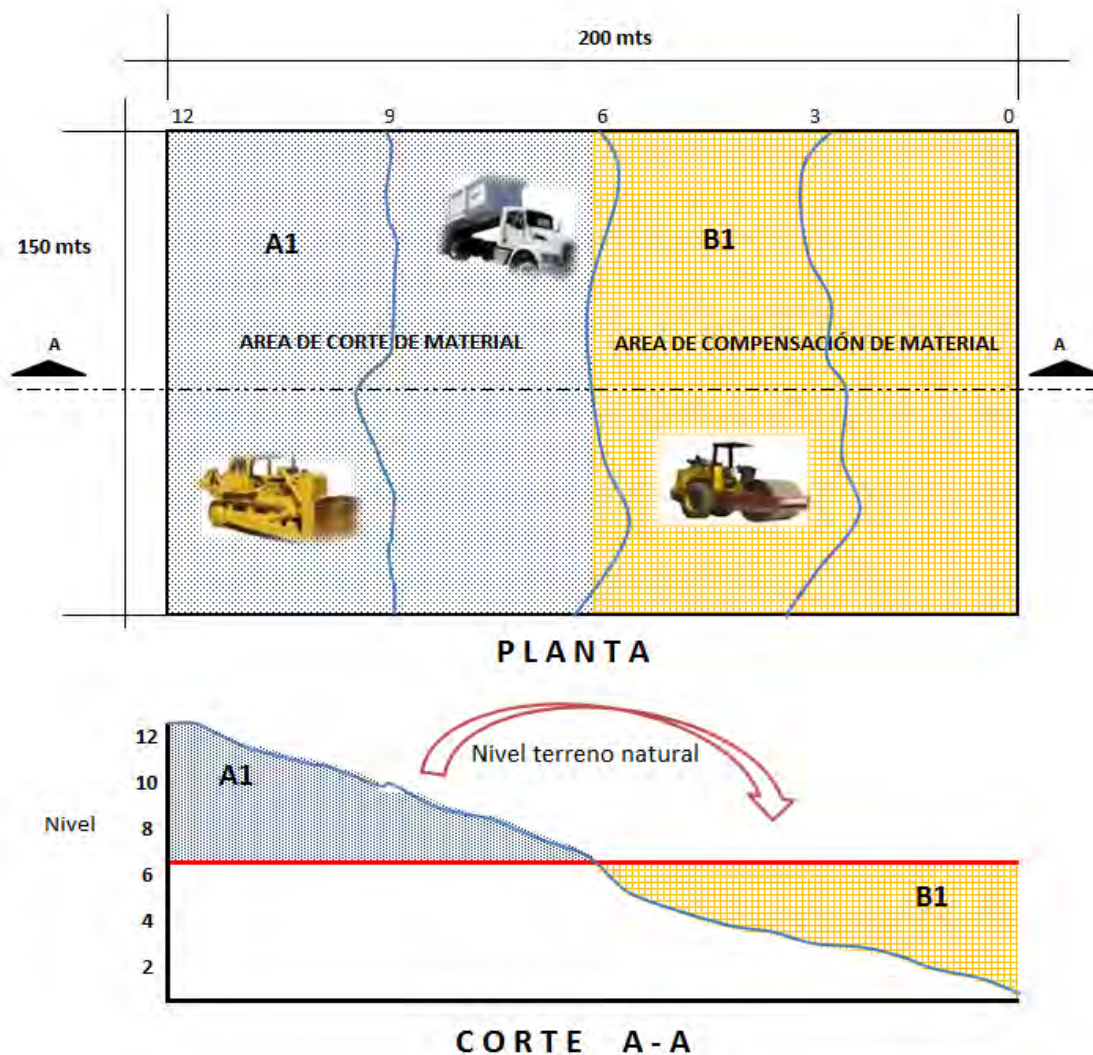


Figura 8.9 Corte y compensación del terreno, una plataforma



El construir una sola plataforma presenta ventajas y desventajas:

Ventajas

- ✓ Una sola plataforma en un mismo nivel
- ✓ La planta esta a un mismo nivel y se trabaja de manera mas sencilla

Desventajas

- ✓ Tiene mayor volumen de movimiento de tierras
- ✓ Requiere de más tiempo
- ✓ Es más caro
- ✓ Requiere de equipo de carga y acarreo para transportar el material cortado

Dos plataformas

Las actividades que se realizan son el corte y la compensación del terreno para la formación de las dos plataformas.

El corte y la compensación se considera realizarlo en dos plataformas como se indica en la figura 8.10; en la sección 1, del nivel +12 mts. hasta el nivel + 9 mts., en un área de 50 mts. de largo x 150 mts. de ancho y compensarlo del nivel +9 mts. al nivel +6 mts. en el área de 50 mts. de largo x 150 mts. de ancho

El corte en la sección 2, será del nivel +6 mts. hasta el nivel +3 mts. en un área de 50 mts. de largo x 150 mts. de ancho y compensarlo del nivel +3 mts. al nivel +0 mts. en el área de 50 mts. de largo x 150 mts. de ancho.

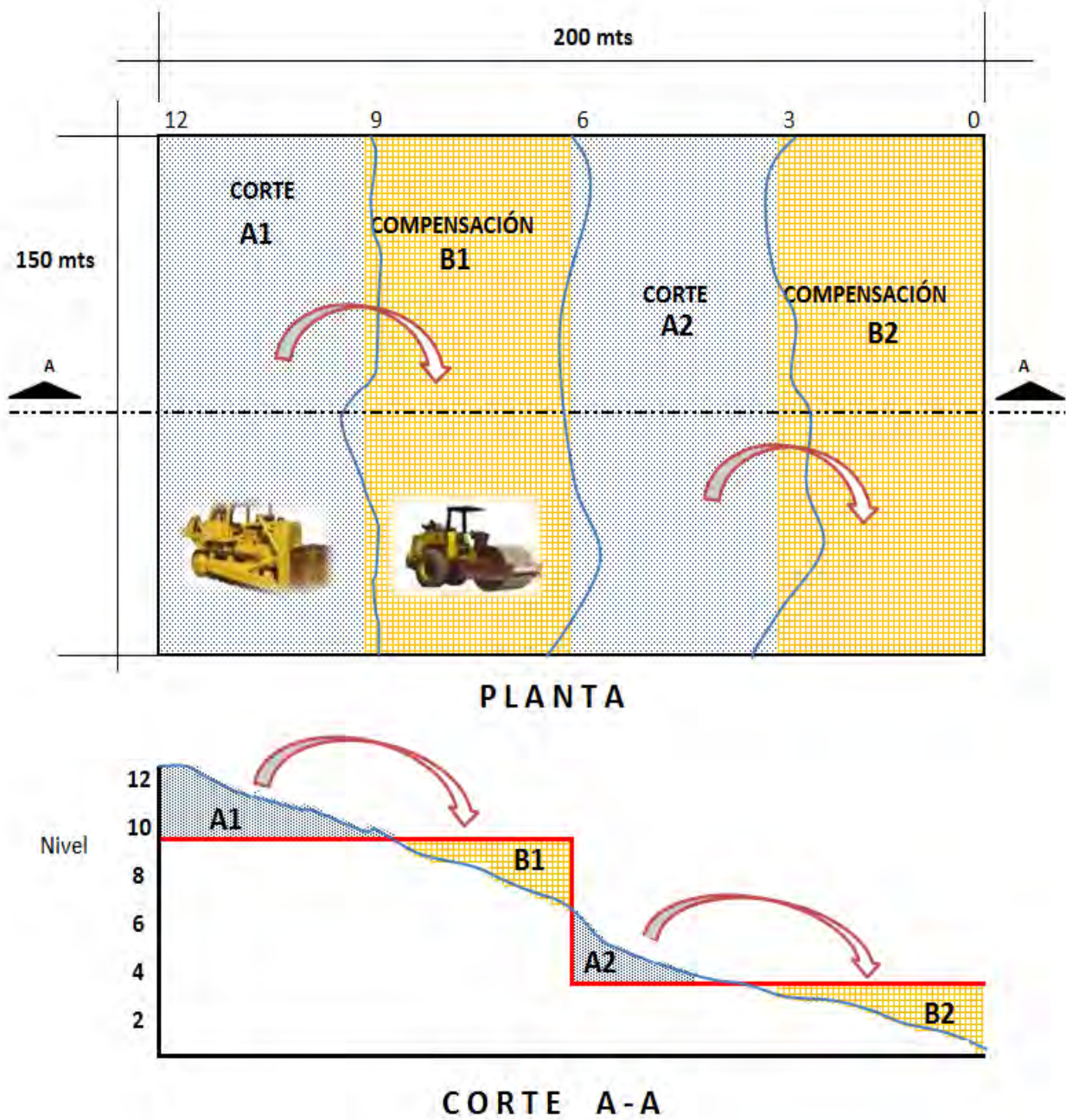


Figura 8.10 Corte y compensación del terreno, dos plataformas



El construir dos plataformas presenta ventajas y desventajas:

Ventajas

- ✓ El movimiento de tierras es menor
- ✓ Se tiene un ahorro en el costo
- ✓ Los trabajos se realizan en menor tiempo, por ser menor el volumen de material
- ✓ El tractor tiene alcance para depositar el material cortado en la zona de compensación
- ✓ Requiere de menor número de camiones para el acarreo del material cortado

Desventajas

- ✓ El área queda partida por la mitad con un talud de 6 mts. de altura
- ✓ Realizar ingeniería adicional para unir el área por medio de vialidades
- ✓ Protección de taludes

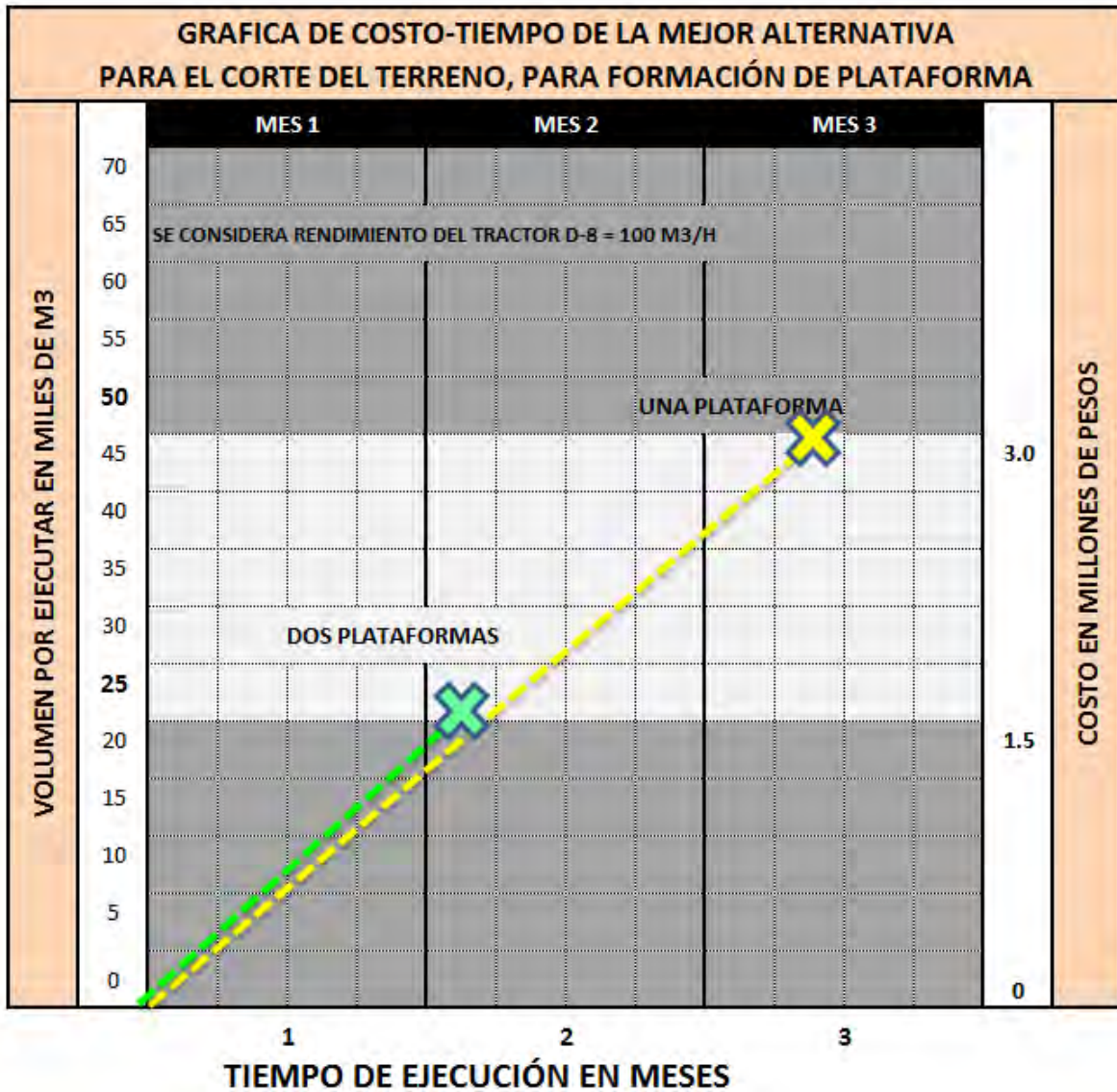


Análisis costo/beneficio en los trabajos de las terracerías para formación de plataformas. Consideraciones:

Recursos necesarios	1 Plataforma		2 Plataformas	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Corte A1	45,000	m ³	11,250	m ³
Corte A2	---	m ³	11,250	m ³
Compensación B1	45,000	m ³	11,250	m ³
Compensación B2	---	m ³	11,250	m ³
Costos				
Corte A1	20	\$/m ³	20	\$/m ³
Corte A2	20	\$/m ³	20	\$/m ³
Compensación B1	35	\$/m ³	35	\$/m ³
Compensación B2	35	\$/m ³	35	\$/m ³
Carga y acarreo	22	\$/m ³	---	\$/m ³
Costos	Costo en M.N.		Costo en M.N.	
Corte A1	\$ 900,000		\$ 225,000	
Corte A2	---		\$ 225,000	
Compensación B1	\$ 1,575,000		\$ 393,750	
Compensación B2	---		\$ 393,750	
Carga y acarreo	\$ 990,000		---	
TOTAL	\$ 3,465,000		\$ 1,237,500	
Costo/beneficio			\$ 2,227,500	



Gráfica de costo-tiempo para el corte del terreno para la formación de plataformas





CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la antigüedad el diseñador y el constructor se fundían en una sola persona para realizar un proyecto, en la actualidad la creciente especialización entre las profesiones ha separado las labores de diseñar, calcular y construir, hasta llegar a convertirlas en disciplinas ajenas. No cabe duda de que la segmentación de tareas trae consigo enormes beneficios en términos de eficiencia y productividad, sin embargo esto no puede, ni debe implicar una total desconexión entre profesionales como en la práctica ocurre. El no formar un buen equipo de trabajo provoca una disociación que trae consecuencias graves para la calidad del proyecto y para la ejecución del proceso constructivo, las que por supuesto son asumidas por el costo del presupuesto, la Constructabilidad es una valiosa herramienta que debemos de aprovechar en beneficio del equipo de trabajo y de todas las partes en el proceso de ejecución de proyectos de construcción.

La Constructabilidad no es sólo hacer una revisión de dibujos y planos de un proyecto, tampoco es criticar el diseño de ingeniería, ni es la optimización de la construcción a expensas de otras actividades, la Constructabilidad implica pensar acerca de cómo desarrollar y construir un proyecto incluso antes de que se diseñe.

La Constructabilidad no es un concepto que debe ser invocado como una imposición; por el contrario, debe convertirse en una característica implícita y aceptada en el proceso de construcción, a la que contribuyen todos los diferentes profesionales de la construcción. El uso y aplicación de la Constructabilidad nos ayuda a reducir los costos del proyecto y a simplificar la construcción, pero esto no implica ni menor calidad ni menor compromiso en el diseño.

Actualmente la Constructabilidad está desarrollándose y recientemente se ha podido enfocar como un procedimiento que genera beneficios en el costo, programa de construcción, plazo de ejecución, calidad, seguridad y otros aspectos que influyen considerablemente en el proyecto.



La Constructabilidad es la participación activa del personal de ingeniería con experiencia y del experto en construcción, así como de todas sus actividades desarrolladas durante un proyecto; esto nos ayuda a optimizar la etapa de ejecución al prever en la etapa de diseño o procura, los problemas que se puedan tener en obra y así tomar medidas preventivas que permitan solucionar o reducir las interferencias que se presentan de una manera anticipada.

La Constructabilidad es una práctica muy eficiente que nos ayuda a lograr una mejora en la administración de los proyectos de construcción, siendo una práctica que captura los conocimientos operacionales, y no sólo para aplicarlos en la etapa de la construcción, sino sobre las etapas más tempranas y a niveles estratégicos como son la planificación y el diseño, donde los beneficios que se obtienen para el proyecto son de alto impacto.

La Constructabilidad está considerada como una técnica de administración que se incorpora como un programa de mejoramiento continuo en el área de construcción cuya finalidad es integrar el diseño con la construcción como tal, incorporando la experiencia y el conocimiento constructivo en las etapas tempranas del ciclo de vida de un proyecto, ayudando en la coordinación de éste desde la planeación hasta el cierre del proyecto.

La Constructabilidad es una estrategia natural que busca el trabajo en equipo de los involucrados en el proyecto así como sistematizar las prácticas de mejora en el ciclo de vida de los proyectos de construcción e identifica las oportunidades para maximizar la mejor ruta de la procura, el diseño, la colaboración de diseño-construcción y el uso y conservación del producto terminado.

La Constructabilidad es un proceso de trabajo de contribuciones y no solo de revisión. El propósito de las aportaciones del equipo del proyecto a la Constructabilidad es ayudar a definir la secuencia óptima de construcción, los métodos, los materiales y los planes para ejecutar efectivamente la etapa de construcción.



Un proceso de Constructabilidad establece las líneas de comunicación para transmitir las contribuciones de construcción en todos los niveles del equipo del proyecto y fomentar el trabajo en equipo entre todos los grupos involucrados en el diseño, procuración y construcción. La Constructabilidad ha demostrado ser una herramienta invaluable en la identificación e implementación de ideas que permiten obtener un ahorro en los costos del proyecto.

La Constructabilidad también es un proceso impulsado por la necesidad de impactar la fase de construcción logrando ahorros significativos en costo y tiempo. Este proceso debe ser implementado a través de los esfuerzos del equipo del proyecto. Un equipo integrado al proyecto es la forma más efectiva de enfocar la ejecución del mismo; integrando a diseño, a procura y a construcción se tiene un equipo interactivo con el potencial para lograr que juntos trabajen hacia las metas comunes del proyecto como son la calidad en las instalaciones, la optimización de los costos, de los programas y de la seguridad. El proceso de Constructabilidad fomenta esta integración.

El objetivo de la Constructabilidad es tener una mejor relación calidad-precio, mejorar la calidad de servicio y obtener un ahorro significativo en tiempo y costo del proyecto, todo esto es posible a través de un análisis detallado no sólo de las etapas individuales del proceso de construcción total, sino también de la interacción entre esas etapas.

Una temprana implementación de las revisiones de la Constructabilidad en el ciclo de vida de un proyecto es de mucho beneficio para los diseñadores, los constructores y los dueños; este beneficio se observa en la reducción del esfuerzo en el diseño debido a los cambios necesarios identificados durante la construcción y una mejor coordinación en el cruce de información entre las disciplinas.

La clave para conseguir una implementación con éxito de la Constructabilidad radica en la comunicación efectiva entre los miembros del equipo de trabajo, donde el diseño, la forma de construir y el compromiso con esta metodología, facilitan la interrelación de estos, en un contexto de trabajo en un equipo multidisciplinario.



Aplicando la Constructabilidad, el rendimiento de un proyecto puede aumentar y mejorar; los factores con mayor influencia en la implementación de la Constructabilidad para apoyar el desempeño del proyecto son; compartir a todo el personal del proyecto una clara descripción del objetivo del proyecto, la participación temprana del experto en construcción y del personal con experiencia, la actualización de las lecciones aprendidas y la estandarización del diseño.

La Constructabilidad debe estar integrada en las prácticas diarias y en los procesos de trabajo de los proyectos, debido a que la Constructabilidad es el camino para hacer grandes negocios, y todos los miembros del equipo del proyecto deben aceptar a la Constructabilidad como una responsabilidad individual.

En nuestro país la industria de la construcción siempre debe de estar a la vanguardia, y para esto, necesita incorporar las prácticas de mejora internacionales para hacer frente a la globalización y a la apertura de mercados. La Constructabilidad está considerada como una práctica de mejora internacional por los beneficios que se consiguen al aplicarla, por lo que es muy recomendable que nuestras empresas empiecen a considerar su implementación.

Cuando la Constructabilidad es adoptada en los proyectos de una empresa, se debe tener como objetivo principal: aprovechar sus beneficios, darle la importancia que merece; es decir debe de considerarse como parte de los planes de ejecución de todos los proyectos.

Las empresas que estén dispuestas a implementar un programa de Constructabilidad, obtendrán grandes beneficios ya que les ayuda a optimizar los procesos internos y de ejecución de los proyectos, mejorar el rendimiento de los recursos, generar beneficios económicos y optimizar el programa de ejecución, tanto en la etapa de diseño, como en la etapa de procura y en la ejecución de la obra.

Para que la Constructabilidad tenga un impacto en los proyectos de una empresa, se debe de involucrar al departamento de construcción en la fase temprana de la



ingeniería esto con el fin de que se integre su experiencia y sus puntos de vista en los diseños y estrategias para cumplir con los objetivos y requerimientos del proyecto.

Es importante señalar que aunque el diseñador promueva la Constructabilidad, su aportación sería insuficiente si no cuenta con el apoyo del cliente en la provisión de las condiciones y los recursos necesarios para hacer realidad los principios de la Constructabilidad. De acuerdo a un estudio, un problema recurrente es que los clientes generalmente no perciben los beneficios de contar con un equipo multidisciplinario para la realización de la planeación y el diseño, además de que son reacios a invertir recursos suficientes en estas etapas, las cuales son críticas para asegurar la Constructabilidad del proyecto.

Los contratistas de la construcción tienen conocimientos y una gran experiencia sobre la Constructabilidad para poder contribuir al proceso de diseño de los proyectos, para utilizar esta experiencia con mayor eficacia, la información correcta debe ser puesta a disposición del equipo de diseño en el momento adecuado y en el nivel de detalle apropiado. Es importante organizar la información que se genera a través de la Constructabilidad, de acuerdo con su uso en el proceso de diseño; esto permitirá a los equipos de los proyectos aprovechar de mejor manera la experiencia de construcción.

Aunque algunas medidas de mejora de la Constructabilidad no son llevadas a cabo en etapas particulares de un proyecto, es comúnmente reconocido que la Constructabilidad se refiere a todo el proceso de desarrollo de los proyectos para facilitar la eficiencia en la construcción y lograr los objetivos del proyecto.

La Constructabilidad implica la integración de los conocimientos de los contratistas, no sólo desde una perspectiva física o técnica, sino también desde un punto de vista no técnico en las etapas de diseño y planificación. Estas cuestiones no técnicas son a menudo difíciles de cuantificar e incluyen preocupaciones gerenciales, financieras, legales o incluso psicológicas durante el proyecto en su conjunto.



Al aplicar la Constructabilidad se está aplicando también el concepto de construcción sostenible. En la medida que la industria de la construcción sea cada día mas eficiente, los desperdicios energéticos ocasionados por errores de planificación y todo el desperdicio de materiales ocasionado por diseños que no se ajustan al proceso constructivo, serán cada vez menos.

Una buena Constructabilidad asegurará que el diseño sea coordinado con la selección de varios métodos de construcción. Esto proporcionará una mejor compatibilidad de tecnología y herramientas para construcción. Las habilidades de la mano de obra disponible también serán una consideración importante. El resultado de esta planeación integrada es el reducido re trabajo de construcción, el cual es un indicador de alta calidad.

El concepto de Constructabilidad no solo beneficia el aspecto económico relacionado a un proyecto, sino que en la misma medida beneficia al medio ambiente y reduce el impacto negativo generado por la actividad de la construcción. La falta de Constructabilidad no detectada a tiempo, provoca fallos, atrasos y sobre costos en la obra.

En pocas palabras la Constructabilidad significa mejores proyectos, menores costos, mayor productividad, terminación temprana del proyecto, arranques y puesta en servicio de la planta en tiempo.

Una recomendación para enriquecer la definición de la Constructabilidad según el CII (Construction Industry Institute) es:

La Constructabilidad es un sistema para conseguir una integración del conocimiento y la experiencia en la construcción, en la planeación, ingeniería, procura y operaciones en campo, con la finalidad de alcanzar los objetivos globales del proyecto en tiempo y al mínimo costo total.



BIBLIOGRAFÍA

Abreu G. Fernando; Tesis “La Constructabilidad en Firmas de Diseño de la Ciudad de Mérida, Yucatán”, México, 2011.

Akpan E., Amade B., Okangba S., Ekweozor C.; Constructability Practice and Project Delivery Processes in the Nigerian Construction Industry, Journal of Building Performance, Volume 5 Issue 1, 2014, ISSN: 2180-2106.

Al-Ghamdi A., Constructability at Design Offices & Contractors, King Fahd University of Petroleum & Minerals, May 2000.

Arditi D., Elhassan A., Cengiz T.Y.; Constructability Analysis in the Design Firm, Journal of Construction Engineering and Management, March-April 2002, pp 117-126.

Construction Industry Institute (CII), Constructability A Primer, Austin Texas, 1986.

Construction Industry Institute (CII), Constructability Implementation Guide, Austin Texas, 1993.

Corona S. Gilberto, Abreu G. Fernando; La Constructabilidad para hacer eficiente el diseño, Seminario sobre Integración del Diseño y Construcción, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán, Junio-Julio, 2010.

Douglas E., Gransberg D., Implementing Project Constructability, AACE International Recommended Practice No. 30R-03, May 20, 2009.

Emad M. El Haourani, Factors that Hamper the Implementation of Constructability in the Gaza Strip, May 2008.

Espinoza R. Jaime, Pacheco E. Roberto M.; Tesis “Mejoramiento de la Constructabilidad mediante herramientas BIM”, Perú, 2014.

Fluor Corporation, Manual de Constructabilidad, México, 2013.



Gómez Gallego Felipe Nicolás; Tesis “Análisis y Diagnóstico de los Componentes de la Constructabilidad y Evaluación para su Aplicabilidad en Chile”, Chile, 2012.

Hernández A. María del R.; Tesis “Desarrollo de una Metodología de Constructabilidad para una Planta de Isomerización de Pentanos y Hexanos”, México, 2005.

ICA Fluor, Guía de Implementación de la Constructabilidad, México, 2013.

Jergeas G., Van der Put J.; Benefits of Constructability on Construction Projects, Journal of Construction Engineering and Management, pp 281-290, July-August, 2001.

Kuo V.; Thesis “The Role of Knowledge Management in Improving Constructability”, Sudáfrica, 2012.

Muñoz G. Luis O.; Tesis “Gestión de Mejoramiento de Proyectos de Construcción por medio de la Administración de Proyectos”, Chile, 2012.

Othman A.; Improving Building Performance through Integrating Constructability in the Design Process, Organization, Technology and Management in Construction an International Journal, 2011.

Rondón V. Denny, Muñoz T. Gustavo A.; Tesis “Análisis de los Problemas de Constructabilidad en Proyectos de Edificación Aplicados a la Etapa de Diseño e Ingeniería”, Colombia, 2010.

Saghatforoush E., Hassim S. Saleh M., Trigunaryah B.; Critical Constructability Activities in Building Projects, 6th International Project Management Conference, 26-27 October 2010.

Saghatforoush E., Trigunaryah B., Too E., Heravitorbati A.; Effectiveness of Constructability Concept in the Provision of Infrastructure Assets, 1st International Postgraduate Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing , 7-10 February 2011.



Surya E., Trigunaryah B.; Constructability Implementation at Corporate Level, Construction and Engineering Management.

Tapia G. María T.; Tesis “La Constructibilidad y su Administración en Empresas de Infraestructura en México”, México, 2012.

Tenecota N. Sandra G.; Tesis “La ingeniería de Valores y Constructabilidad en los Proyectos de Construcción”, Ecuador, 2006.

Villalobos R. Francisco; Construcción Sostenible. Un desafío para la Ingeniería Civil de Latinoamérica, IV Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería civil, Panamá, 2007.

Wong F., Lam P., Chan E., Shen L.; A Study of Measures to Improve Constructability, International Journal of Quality & Reliability Management, Volume 24 No. 6, 2007, pp. 586-601

Yitmen I., Akyel S.; Challenges of Best Practices for Constructability Implementation: North Cyprus Construction Industry, pp 85-96.