



LECCIONES APRENDIDAS ASOCIADAS A LA APLICACIÓN DE LA CONSTRUCTABILIDAD EN UN PROYECTO MASIVO DE VIVIENDAS

LESSONS LEARNED ASSOCIATED WITH CONSTRUCTABILITY APPLICATION IN A MASSIVE HOUSING PROJECT

Zulay Giménez¹, Mariano Briceño²

Recibido 02/08/2018: Aprobado: 15/12/2018

DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.30211.55847>

RESUMEN

La industria de la arquitectura, ingeniería y construcción posee gran actividad e importancia, ya que impulsa a otras áreas al satisfacer las necesidades de infraestructura de la mayoría de las actividades económicas y sociales, tales como vivienda, vialidad, educación, industria y salud, entre otras. Sin embargo, es una de las industrias que presenta menor productividad y que pareciera no haber aprovechado, tal como lo hacen otros sectores de producción en general, las oportunidades que brindan algunas filosofías de gestión para resolver complicaciones y dificultades. En el presente artículo se analizan las lecciones aprendidas más relevantes de la implementación, tanto en las fases previas como en el enlace o relaciones entre las mismas, y en el área corporativa de la empresa, al aplicar la constructabilidad en las etapas de planificación, diseño y adquisiciones, orientando los objetivos de equipos multidisciplinarios hacia la integración de un proyecto de viviendas construido en Barquisimeto, Venezuela. La metodología fue empleada en el proceso integral del proyecto, previo al anteproyecto, lo cual condujo a proseguir beneficios en costos, tiempos y calidad del producto final en un proyecto piloto.

Palabras clave: *lecciones aprendidas en constructabilidad; gestión de conocimiento en constructabilidad; proyecto de viviendas*

¹Zulay Giménez. Arquitecto. Candidata a Doctor en Ciencias de la Ingeniería. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile. Correo: zmigimenez@uc.cl ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4801-9141>

²Mariano Briceño. Ingeniero Industrial. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Venezuela. Correo: mby@bricket.com.ve ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9274-0054>

ABSTRACT

The architecture, engineering and construction industry has great activity and importance, it moves other areas to satisfy the infrastructure needs of most economic and social activities, such as housing, roads, education, industry and health, among others. However, it is one of the industries with the lowest productivity and which seems not to have taken advantage, as do other production sectors in general, of the opportunities offered by some management philosophies to solve complications and difficulties. This article analyzes the most relevant lessons learned from the implementation, both in the previous phases and in the link or relations between them, and in the corporate area of the company, when applying the constructability in the planning stages, design and acquisitions, guiding the objectives of multidisciplinary teams towards the integration of a housing project built in Barquisimeto, Venezuela. The methodology was used in the integral process of the project, prior to the preliminary project, which led to the continuation of benefits in costs, times and quality of the final product in a pilot project.

Keywords: *lessons learned in constructability; knowledge management in constructability; housing project*

1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción, pese a ser una de las actividades que más aporta y contribuye al desarrollo de los países, es vista por muchos como un ejecutante pobre [1]. Aun cuando es presionada en ofrecer proyectos con topes mínimos de tiempo, espacio y recursos; y en impactar de manera mínima sobre el medio ambiente circundante [2], obtiene un flujo de trabajo poco fiable trayendo como consecuencia retrasos en la entrega de materiales y equipos, errores de documentación, órdenes de cambio, mal funcionamiento de herramientas y utilización inadecuada de recursos [3]. Por otro lado, los objetivos del proyecto a pesar de que se determinan al comienzo del mismo; más bien, cambian a medida que se desarrollan los eventos imprevistos [4].

La industria ha sido lenta en responder a estos desafíos y continúa siendo criticada por esa razón. Sin embargo, ha habido una serie de intentos de abordar estos retos dentro de la comunidad de investigación con diversos grados de éxito [2]. Para mantenerse en vigencia, las organizaciones deben adaptarse a los cambios y pautas del mercado, acoger nuevos conocimientos, tecnologías y métodos que le ofrezcan una optimización de sus procesos con miras al aumento de la productividad y un mejoramiento sustancial y continuo en la gestión de la construcción [5].

Es aquí cuando aparece el término constructabilidad, definida como “el uso óptimo del conocimiento y experiencia de construcción en la Planificación, Diseño, Compras y Operaciones en terreno para alcanzar los objetivos del proyecto” [6]. Es un programa de mejoramiento continuo que consiste básicamente en incorporar personal con experiencia y

conocimiento de construcción en las etapas preliminares de un proyecto, de modo de mejorar la aptitud constructiva de una obra, esta apunta, por lo tanto hacia una ejecución más eficiente de los proyectos de construcción [5] y beneficios relacionados con costos, tiempos, esfuerzos y calidad [6] [7]. Para implementar con éxito un programa de constructabilidad, el cliente debe dejar claro los objetivos prioritarios del proyecto y permitir que ésta sea valorada como un atributo del rendimiento del proyecto. Igualmente, mientras más temprano comience a aplicarse, más alto será el potencial de ahorros, porque su impacto es mayor [8].

Luego de haber sido implementada exitosamente en Inversiones Bricket, una empresa promotora de viviendas ubicada en la ciudad de Barquisimeto, Venezuela, se analizaron las lecciones aprendidas más relevantes de la implementación tanto en las fases previas como en el enlace o relaciones entre las mismas y en el área corporativa de la empresa. El objetivo del presente artículo es evidenciar cómo la constructabilidad, vista como un programa de mejoramiento continuo, puede ser utilizada para llevar la experiencia y conocimiento constructivo a las primeras etapas del proyecto tales como planificación, diseño y adquisiciones, reorientando los objetivos de equipos multidisciplinarios hacia la integración del proyecto, a través de la documentación de las lecciones aprendidas obtenidas en el proceso de implementación.

2. DESARROLLO

2.1. Implementación

Para la implementación del programa de constructabilidad, se seleccionó como experiencia piloto el proyecto Yucatán, una de las obras más representativas de la empresa. Urbanización de 1942 viviendas de 60 m² de construcción desarrollada en 55 hectáreas, en dos etapas, la primera de 946 viviendas y la segunda de 996. Tiene como equipamiento urbano una iglesia, guardería, parques infantiles, canchas deportivas y áreas de esparcimiento. Para este proyecto se utilizó como sistema constructivo el uso de encofrados de aluminio para muros y losas de techo, generando pantallas vaciadas monolíticamente de 10 cm de espesor, con refuerzos metálicos de mallas de acero electrosoldadas, y utilizando concreto estructural de agregados finos superfluidos.

Cada encofrado representa un módulo de dos viviendas que se ensambla y vacía en un día. El proyecto en algunas oportunidades ha utilizado 4 moldes, generando 8 viviendas o en su defecto 3 encofrados generando 6 viviendas vaciadas en un día. La vivienda requería de 25 m³ de concreto de resistencia a la compresión de 210 Kg/cm², superfluido de agregado fino, para

poder colar todo el molde que contiene aceros e instalaciones en espesores de 10 cm sin que se origine segregado del material y genere los acabados requeridos en los muros. La implementación de éste sistema constructivo generó una velocidad de ejecución, que ameritó de un control exhaustivo de los procesos, exigiendo un sistema organizacional acorde al volumen de la obra. Igualmente originó un nuevo tipo de clasificación de mano de obra, requiriendo inducción previa, acondicionamiento físico y adaptación a riesgos en seguridad que generan una curva de aprendizaje influyente al principio en los cronogramas de ejecución. Las razones por las cuales éste proyecto en particular fue tomado como piloto fueron: su ejecución por etapas, ya que la experiencia adquirida en la primera etapa, se lleva a la segunda en todas las áreas; y la estandarización de las viviendas, el cual es un punto a favor en la implementación de la constructabilidad y en la curva de aprendizaje de la obra. La diferencia entre la primera y la segunda etapa, representa beneficios en tiempos y costos, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Relación entre etapas. Fuente: [9]

	Nº de viviendas construidas	Tiempo de ejecución	Nº de viviendas por mes	Nº de viviendas Por día hábil ¹
Etapas I	946 viviendas	20 meses	47,3 viv/ mes	2,36 viv /día h
Etapas II	996 viviendas	15 meses	66,3 viv/ mes	3,32 viv /día h

¹ Considerando 20 días hábiles por mes

3. METODOLOGÍA

El proceso de implementación en la empresa se basó en el esquema de ejecución de la constructabilidad (road map) propuesto por el Instituto de la Industria de la Construcción (CII) de la Universidad de Texas en Austin [6]. Consta inicialmente de las siguientes fases a nivel macro [8]:

Fase 1. Identificación de las áreas de oportunidad de mejora de la gestión de la construcción a través de un diagnóstico de la empresa en diversas áreas.

Fase 2. Diseño de las soluciones y desarrollo de las herramientas de trabajo

Fase 3. Plan de capacitación del personal en conjunto con el plan de implementación (plan de acción): resultado tanto del diagnóstico como de las soluciones propuestas por el personal, siguiendo los lineamientos del esquema de implementación de la constructabilidad de la CII. Propuesta de formación-acción simultánea.

Estas fases del proyecto se desarrollaron en un lapso aproximado de 10 meses, con la integración de un equipo interno de la empresa, conformado por: grupo de diseño, dos líderes

de construcción, un líder de compras y un representante de post-ventas Así como, un equipo externo, conformado por dos consultores externos. Además, se realizaron de manera paralela las siguientes actividades:

A1. Modificación en la estructura organizativa de la empresa a nivel de áreas y de interrelación de estas y la inclusión de un gerente de proyectos de constructabilidad; basada en la guía de implementación del CII [6] y en la estructura y contexto de la empresa.

A2. Plan de documentación de lecciones aprendidas de proyectos actuales, recientes y remotos. La implementación de conceptos de constructibilidad es una forma de lograr la máxima inclusión del conocimiento experto en construcción en cualquier proyecto de construcción [10].

A3. Desarrollo de indicadores de gestión: Porcentaje de días de retraso por obra, número de viviendas por unidad de tiempo; basados en las necesidades de medición y mejora de la empresa.

A4. Desarrollo de procedimientos específicos de constructabilidad e implementación en los proyectos.

A5. Desarrollar método de evaluación de la gestión de constructabilidad.

Este artículo en particular aborda únicamente las fases de formación-acción en conjunto con el diseño de las soluciones y desarrollo de las herramientas de trabajo en las fases 2 y 3, así como el plan de documentación de lecciones aprendidas A2).

3.1. Fase 2. Diseño de las Soluciones y Desarrollo de las Herramientas de Trabajo

En esta fase se desarrolló un plan de compromiso de la empresa considerando la constructabilidad, en el que se planteaba como meta comprender los objetivos, métodos, conceptos y barreras de implementación; como producto se diceña la nueva política de la empresa. Por otro lado, se desarrolló un programa corporativo en el que se identificaron a los ejecutivos responsables de la constructabilidad de la empresa, se establecieron soportes funcionales y de procedimientos, tales como herramientas de seguimientos y control de las principales actividades de diseño, adquisiciones y planificación de la ejecución, organizándose un plan de documentación de lecciones aprendidas de la empresa

3.2. Fase 3. Plan de capacitación y Plan de Implementación

Se elaboró un plan de capacitación para el personal del proyecto basado en los conceptos de

constructabilidad de la CII [6]. El diseño de este plan tuvo la intención de generar propuestas concretas por parte del personal de obras, diseño, costos y adquisiciones para la implementación en la segunda etapa del proyecto específicamente, y de qué manera podría aportarse una mejora en lo que quedaba de ejecución de esa etapa. Aun cuando el personal incorporado era interno de la empresa, en dos ocasiones se invitó a entes externos denominados subcontratista, para exponer y resolver de mejor manera alguna problemática. El nivel jerárquico de los asistentes era variable, ya que estaban incluidos desde el administrador o gerente de obra hasta el maestro encargado de los moldajes. Lo que debía destacarse era que lo propuesto fuera factible en el corto, mediano y largo plazo, y pudiese probarse por el mismo personal para ser ejecutado a su debido tiempo.

Se editó una guía impresa con introducción a la constructabilidad, definiciones, beneficios de su implementación, principales criterios, además de los 17 conceptos propuestos por la CII [6]. Se comentaban 2 conceptos por sesión estableciéndose propuestas, al finalizar se solicitaba la elaboración en conjunto de una presentación de las lecciones aprendidas del proyecto integral [9].

4. DISEÑO DE SOLUCIONES Y HERRAMIENTAS

Con base en las capacitaciones y según el programa de constructabilidad [6], se diseñó el plan de soluciones y herramientas y se incorporaron las siguientes acciones tanto en la planificación como en el diseño. Es importante destacar, que cada acción se realizaba en principio por el personal correspondiente de la actividad y luego era revisado y ajustado en conjunto con otros involucrados, con el fin de mejorar la constructabilidad del proyecto en sus dos etapas:

- Revisiones de los estudios previos y proyectos contratados
- Revisiones de constructabilidad del diseño, desde el pre-anteproyecto hasta la impresión de los documentos finales, también llamados talleres de constructabilidad.
- Actualización permanente de todos los documentos tanto impresos como digitalizados:

Cronograma de diseño, permisos, proyecto completo, revisado y corregido, memorias descriptivas, planificación del inicio de la obra y el sentido de la construcción. (simulación y movilidad), planos de movimientos de encofrado, presupuestos completos, revisados, con fechas y precios actualizados, cronograma general de obra, cronogramas de procura y de contratación, cronogramas semanales de obra, organigrama de la obra, solicitudes de maquinarias y equipos de manera escrita, según una planificación elaborada y un

cronograma estimado de uso de estas, acorde con las necesidades y magnitud de la obra

- Levantamiento 3D de la vivienda, el cual sirvió para despiece, crear kits, ver concordancia de arquitectura y estructura, mejoras, ahorro de materiales
- Presentación de los planos en escalas y tamaños adecuados. Fecha impresa
- Evaluación y selección con criterios de los contratistas y subcontratistas
- Reuniones de planificación de la obra, con dos meses de anticipación a la fecha de inicio de la ejecución, con el fin de revisar todos los pormenores de esta y prever con tiempo todos los posibles problemas que se podían presentar
- Previsión del traslado interno de los materiales, equipos y personal
- Simulación de las formaletas (moldajes). Trazabilidad
- Previsión de la accesibilidad de materiales, equipos, maquinarias y personal
- Determinación de sitios específicos para los desperdicios para no interferir en labores
- Implementación de “kits de materiales” a nivel de los materiales estándar de la vivienda
- Control de despacho de los materiales críticos
 - a. Concreto (hormigón): dejó de ser crítico, debido a negociaciones y planificación anual
 - b. Mallas: Aunque el cronograma de procura (adquisiciones) mejoró la situación, el mercado estaba saturado y el pedido para este tipo de vivienda no es estándar por la especificación requerida. Sin embargo, se tuvo que utilizar la disponible en el mercado de manera doble y/o triple, dependiendo del uso y del tipo de malla
 - c. Puertas principales: Es el más crítico de los materiales por ser importadas. Ante la falta de éstas, se colocaron unas provisionales para así poder continuar con las actividades dependientes. Luego se colocaron las definitivas al ser despachadas. Debido a esta falta, el departamento de diseño en conjunto con el de procura investigó otros tipos de puertas, pero al ser de menor calidad, las descartaron
- Planificación de manera adecuada de los centros de acopio. Presencia de almacenista para la obra con título mínimo de Técnico Superior Universitario
- Lista de herramientas con marcas y su consumo mensual (frecuencia de reposición)
- Propuestas para reciclaje y reutilización de desperdicios:
 - a. Separación de los materiales (vidrio, papel, aluminio) para la venta.
 - b. Desperdicios de acero para pared perimetral, sobras en mallas para aceras

c. Malla. Para refuerzo de 45°, rampas, aceras

- Disminución de los desperdicios, debido a la estandarización de medidas y tipos de materiales en el diseño
- Documentación de fallas y problemas con su posible solución identificada por el equipo de trabajo, creándose la Base de datos de lecciones aprendidas

5. LECCIONES APRENDIDAS

Las lecciones aprendidas como resultado de pruebas e ideas presentadas por el equipo de trabajo se clasificaron en las siguientes áreas: planificación, diseño, procura o adquisiciones, ejecución, relación entre áreas y corporativo, dentro de las fases consideradas para este estudio. Estas son el resultado de las diferentes sesiones de capacitación en el área de constructabilidad, tomando en consideración los criterios y conceptos del programa.

5.1. Lecciones Aprendidas en la Planificación

- La planificación debe ser multidisciplinaria, ya que se muestran diferentes puntos de vista de una misma situación y se aprende de la experiencia del otro. Como aún no está construido, si hay modificaciones son en papel y no en la obra, lo que se traduce en más económico
- No se debe determinar la fecha de inicio de una obra sin que el proyecto tenga un porcentaje de avance mínimo realizado concertado, revisado y aprobado. Ya que en muchas ocasiones se comienza a ejecutar la obra y aún no se tiene un diseño ejecutable, por lo trae desde el comienzo, retrasos considerables y pagos injustificados
- Al haber mucha rotación de personal del proyecto, existe una desconexión en la fluidez del proceso, hay interrupciones, muchos procesos de aprendizajes en tiempos diferentes. Se recomienda que el equipo de trabajo se conforme al inicio y se mantenga, en la medida de lo posible a lo largo de todo el proyecto. Este equipo puede combinar personal de poca y gran experiencia
- Planificar el sitio y el tamaño adecuado del almacén, el flujo de caja de este y el transporte interno de la obra: espacio físico, implementación de los diferentes kits de materiales y elaboración del cronograma de procura. Este depósito debe tener control de salida y entrada a través de un programa de inventario, orden de herramientas y equipos, así como resolver su accesibilidad y seguridad. Presencia de un depositario de experiencia. Tomar en consideración la experiencia “justo a tiempo”

- Estudiar el tipo de contratación según el tipo de empresa y de trabajo a realizar, ya que debe preverse lo que sea más favorable, según sea el caso. Igualmente debe realizarse una planificación concertada de la contratación, en la cual debe realizarse un cronograma de contratistas. Se requiere de una evaluación de contratistas
- Se recomienda el uso de tecnología avanzada de información 3D y simulaciones en 4D, como apoyo al área constructiva, desde el inicio del proyecto. Así como también el uso de tablets en obra, ya que se puede cargar archivos y programas necesarios disminuyendo así los tiempos de latencia de respuestas
- Prever y verificar la accesibilidad y movilidad, a través de una lista de chequeo, donde se consideren las principales dificultades: a) lluvia, programando otras posibilidades de acceso en caso de que éste este bloqueado; b) traslado interno; c) ubicación de los diferentes materiales a lo largo del terreno; d) entradas y salidas de maquinarias, camiones, personal, equipos, previendo altura del portal, para entrada y salida de camiones; e verificar pendientes
- Para evitar problemas con las lluvias, se debe comenzar con el urbanismo y planificarlo para su ejecución en época de sequía, en lo posible. Se debe prever igualmente drenajes naturales inicialmente en el momento del movimiento de tierra. Así mismo, es una ventaja comenzar por el urbanismo ya que la velocidad de ejecución de las viviendas es superior
- Plantear la previsión de posibles reclamos por parte del usuario, en este caso, el futuro habitante de la vivienda, con el fin de mejorar el diseño y la ejecución de la obra
- Realizar una planificación del traslado de material con los contratistas y proveedores. Realizar horarios flexibles concertados desde el principio. Esta planificación debe incluir las horas de despacho, considerando las horas pick de tráfico de vehículos de la zona y el tipo de transporte a utilizar
- Tanto los cronogramas como los presupuestos son irreales si el diseño está incompleto. Por lo que se requiere: a) programación real, realizada por los profesionales de la obra tomando en consideración inconvenientes, como lluvias, falta de material, escasez de mano de obra, y objetivos de la obra; b) ajuste de precios en los presupuestos; c) exigencia de diseño definitivo, completo y con memoria descriptiva
- En el caso de existir montaje de formaletas o encofrados metálicos, el equipo de montaje debe tener una ruta definida. Contar con una simulación por lo menos en 2D,

considerando los movimientos mínimos de los trabajadores. Este boceto debe estar a la mano y con copia a: plomeros (gasfiteros), electricistas, loseros, excavadores y montadores.

- Realizar la planificación y sentido lógico del movimiento de tierra y de la construcción en sí
- Prever la cantidad de maquinarias, personal y contratistas acorde con la magnitud de la obra
- Considerar la cantidad de equipamiento: computadoras, maquinarias suficientes, así como también equipo de iluminación para los trabajos nocturnos
- Contar con equipos y protocolos de comunicación del personal
- Consideración de los objetivos cuantificables e incorporación de los objetivos “verdes”: reducir, reutilizar y reciclar

5.2. Lecciones Aprendidas en el Diseño

- Para que el presupuesto y los cronogramas sean reales, debe existir el proyecto completo
- Revisar los proyectos para evitar modificaciones en obra que inciden directamente en los costos. Esta revisión debe realizarse en grupos de trabajos con presencia de las diferentes áreas como: diseño, procura, costos y construcción
- Debe existir una relación estrecha del diseño con respecto al método constructivo, acorde a la modulación, los moldes deben ser bien estudiados antes de mandarlos a fabricar, si es el caso. Los diseñadores han de involucrarse con el método constructivo de tal manera de modular adecuadamente
- Contar con planos con fecha impresa
- Se recomienda realizar planos de acabados: incluir la colocación de la cerámica con el fin de evitar desperdicios y remates innecesarios de acuerdo con el formato elegido
- Realizar planos de construcción, por ejemplo en las instalaciones eléctricas, ya que con los planos originales no se pueden realizar cómputos, ni saber exactamente por dónde van a pasar las tuberías. Así mismo, los planos de arquitectura generalmente contemplan paredes de 10 cm o 15 cm solamente considerando el espesor de los bloques, sin incluir frisos y revestimientos; en los planos de construcción deben incluirse
- Emplear escalas adecuadas en los planos: 1:100, 1:50 y 1:20. Acotados adecuadamente

- Realizar revisiones minuciosas de los estudios preliminares, especialmente del levantamiento topográfico, así como de, los proyectos subcontratados de instalaciones, estructura, que estén completos y acordes con lo requerido. Se podría plantear en el contrato sanciones o bonificaciones de acuerdo con el cumplimiento en tiempos, errores y trabajos adicionales
- Realizar un solape de los diferentes planos para observar incongruencias y corregirlas a tiempo y concertadamente
- Estudiar el terreno con profundidad, ya que pueden presentarse inconvenientes tales como, lagunas, cloacas y drenajes, alta tensión, problemas con los suelos. Igualmente, el levantamiento debe ser realizado no solo a la parcela sino también involucrando a un área adecuada alrededor para así ver cotas de aceras y calles, empotramientos

5.3. Lecciones Aprendidas en las Adquisiciones

- Investigar de manera exhaustiva los materiales que serán empleados: especificaciones, características, ventajas, desventajas y disponibilidad
- Tomar en consideración "planes b" con algunos materiales no disponibles
- Considerar la importancia de los materiales principales o críticos en la obra, por ejemplo concreto en los vaciados, y así establecer estrategias específicas en épocas de desabastecimiento, como la compra de camiones para el abastecimiento, uso de silos de cemento, compra de planta de concreto
- Mantener comunicación y seguimiento continuo con los proveedores para lograr la entrega oportuna y del material requerido
- Elaborar el cronograma de procura en conjunto el personal de obra, diseño y procura; partiendo del cronograma de obra considerando los tiempos de despacho de cada proveedor nacional e internacional
- Elaborar una base de datos de procura con imágenes de tal manera que se minimicen los errores en los pedidos. Igualmente, que se utilice los términos utilizados en obra y en los proveedores, ya que muchas veces se habla de un mismo material con términos distintos

5.4. Lecciones Aprendidas en las Ejecuciones

- Llevar un control de préstamo entre las diferentes obras de la empresa, así como también de los materiales sobrantes, e informar a los otros proyectos para su posible uso

- Colocar la información importante, tal como cronogramas, objetivos, compromisos de manera impresa en un sitio visible por todos dentro de la oficina de obra; de esta manera se tiene la información en el momento, se reduce el tiempo de búsqueda. Realizar así mismo, una revisión constante de dicho material, ante la posibilidad de mejoras y cambios positivos y negativos para tomar correctivos de manera oportuna
- Mantener el orden y la limpieza de la obra en general, con almacenado adecuado de las herramientas, las formaletas
- Supervisar oportuna del contratista previo a los pagos
- Elaborar las tareas semanales por cuadrilla, evaluando su porcentaje de cumplimiento
- Planificar las instalaciones provisionales: comedor, oficina de obra, vestuario
- Contrarrestar las acciones las condiciones climáticas, las dificultades que puedan presentarse en la obra es el sol y la lluvia, es requerido realizar el mayor número de actividades bajo techo: talleres para herrería, carpintería
- Buscar mecanismos oportunos para el mantenimiento de equipos y maquinarias y su reparación inmediata
- Considerar el tiempo requerido para el movimiento interno de los materiales
- Establecer el uso del pre-ensamblaje desde la planificación Se deja claro que es una herramienta útil que puede ser utilizada para disminuir los tiempos, cuidando la instalación y transporte de los elementos. Para facilitar el montaje establecer kit por unidad de vivienda, por ejemplo: de cerámicas, piezas eléctricas, piezas sanitarias, herramientas por obrero, con reposición cada cierto tiempo y devolución de las herramientas ya utilizadas

5.5. Lecciones Aprendidas en Áreas

- Integrar diseño-procura-construcción
- Cuidar que lo ofrecido por el departamento de ventas a los usuarios corresponda con la construcción real, omitiendo así consecuencias importantes
- Realizar presentación del proyecto por parte de diseño, al área de ventas para solventar fallas de información y actualizarse con las modificaciones realizadas
- Relacionar el cronograma de ventas con el de obras

5.6. Lecciones Aprendidas Corporativas

- Establecer la coordinación que se dedique al desarrollo y seguimiento de la constructabilidad, de forma que se cumplan las recomendaciones y el uso de las herramientas aprendidas, en manera de, optimizar los recursos no sólo desde el punto de vista económico, sino en calidad y conocimiento en cuanto al proceso constructivo
- Capacitar inicial y permanente en diversas áreas: constructivas, técnicas, de tecnología avanzada de información como uso de 3D y 4D, de uso de materiales innovadores, montaje de formaletas
- Seleccionar de manera idónea el personal técnico y especializado, así como de las empresas subcontratadas
- Comunicar por escrito toda información
- Visitar regularmente la obra por parte del arquitecto, departamento de costos y procura
- Formalizar la documentación de fallas, problemas y modificaciones

6. DOCUMENTACIÓN DE CORRECTIVOS E INNOVACIONES APLICADAS

Todo lo aprendido en el proyecto, sea por algún problema presentado o por una idea probada se documentaba con el fin de crear una base de datos confiable para la empresa, que evidenciara conocimientos previos a los proyectos futuros y así evitar repetir errores prolongando el tiempo de trabajo. Se diseñaron formatos de inserción de datos y luego se digitalizaron para incluirse en la red interna de la empresa. Los formatos utilizados se muestran en las Figuras 1 y 2.

FICHA N°1: INNOVACIONES APLICADAS			
Innovación:			
Proyecto			
Fecha:		Palabras claves	
Objetivo:			
Tipo: <input type="checkbox"/> material <input type="checkbox"/> método de trabajo <input type="checkbox"/> sistema constructivo <input type="checkbox"/> uso de maquinaria <input type="checkbox"/> mano de obra <input type="checkbox"/> capacitación <input type="checkbox"/> otro		Breve descripción:	
Descripción gráfica: (opcional)		Fotos (opcional)	
Fase	<input type="checkbox"/> pre-anteproyecto <input type="checkbox"/> anteproyecto	<input type="checkbox"/> proyecto <input type="checkbox"/> pre-construcción	<input type="checkbox"/> construcción <input type="checkbox"/> post-construcción
Actividad/proceso			
¿Necesitó de contratación de personal especializado? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
¿Necesitó de entrenamiento del personal? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
¿Necesitó de transporte especial? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
Representó:	Tiempo	<input type="checkbox"/> Ahorro <input type="checkbox"/> Incremento Valor:	
	Costo	<input type="checkbox"/> Ahorro <input type="checkbox"/> Incremento Valor:	
	Calidad	<input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> Menor	
Beneficios:			
¿Por qué se implementó?			
Estatus: <input type="checkbox"/> En estudio <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Implementado			
Responsable de su implementación:			

Figura 1. Ficha para innovaciones aplicadas. Fuente: los autores

FICHA N° 2: DOCUMENTACION DE CORRECTIVOS APLICADOS.			
Problema presentado			
Proyecto			
Fecha:		Palabras claves	
Tipo: <input type="checkbox"/> material <input type="checkbox"/> método de trabajo <input type="checkbox"/> sistema constructivo <input type="checkbox"/> uso de maquinaria <input type="checkbox"/> mano de obra <input type="checkbox"/> capacitación <input type="checkbox"/> otro		Breve descripción:	
Correctivo aplicado		Correctivo sugerido (alternativo)	
Fuente:		Fuente:	
Tiempo de Respuesta:		Tiempo de Respuesta:	
Descripción gráfica: (opcional)		Fotos (opcional)	
Fase	<input type="checkbox"/> pre-anteproyecto <input type="checkbox"/> anteproyecto	<input type="checkbox"/> proyecto <input type="checkbox"/> pre-construcción	<input type="checkbox"/> construcción <input type="checkbox"/> post-construcción
Actividad/proceso			
¿Necesitó de contratación de personal especializado? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
¿Necesitó de entrenamiento del personal? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
¿Necesitó de transporte especial? <input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No			
Representó:	Tiempo	<input type="checkbox"/> Ahorro <input type="checkbox"/> Incremento Valor:	
	Costo	<input type="checkbox"/> Ahorro <input type="checkbox"/> Incremento Valor:	
	Calidad	<input type="checkbox"/> Mayor <input type="checkbox"/> Menor	
Estatus: <input type="checkbox"/> En estudio <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Rechazado <input type="checkbox"/> Implementado			
Responsable de su implementación:			

Figura 2. Ficha para documentación de correctivos aplicados. Fuente: los autores

6.1. Ejemplo de Innovación Aplicada

La inclusión del protector de cúpula dentro del vaciado monolítico, tal como se muestra en la Figura 3, fue una decisión que redujo tiempo de trabajo por soldaduras, repiques de la estructura ya vaciada, y remates en general. Éste protector en las primeras viviendas, tenía unas piezas para su anclaje, las cuales luego de que se realizaba el vaciado completo, se procedía a romper el concreto para embutir trozos de cabillas donde serían soldados los anclajes y luego rematarse los detalles del concreto. Esta innovación evitó todo ese proceso llevándose a cabo también en los protectores de las ventanas. Estas introducciones se documentaron en fichas incluyendo material fotográfico, con el fin de preservar el conocimiento de la empresa sobre el personal que puede rotar, así como también para ser revisados oportunamente por personal de otras obras de la misma empresa.



Figura 3. Innovación aplicada: Inclusión del protector de cúpula en el vaciado. Fuente: los autores

6.2. Ejemplo de Correctivo Aplicado

La incorporación de una platina soldada para generar un bisel cuyo ángulo de 45° evitó que se desprendiera la moldura alrededor de las ventanas al desencofrar (ver Figura 4). El diseño original de la vivienda contemplaba molduras a 90° alrededor de las ventanas y puertas externas como elemento decorativo, sin embargo, al desencofrar se desprendían requiriendo rematar manualmente.



Figura 4. Incorporación de bisel a 45° para evitar desprendimiento de bordes de ventana. Fuente: los autores

Ejemplos de este tipo se documentaron en cada una de las obras, presentándose inicialmente en jornadas internas de la empresa para que todo el personal las conociera de primera mano. Posteriormente, se creó una base de datos digital en red con acceso únicamente a los empleados. Difícilmente se puede contabilizar los beneficios en cuanto a calidad, ya que se evitaron errores antes de que se cometieran, sin embargo, en cuanto a tiempos, la relación de vivienda terminada por día mejoró en un 40% comparando la segunda y la primera etapa, así como en los costos se logró construir 996 viviendas completas con base a un presupuesto de 912 viviendas, lo que representa un porcentaje de construcción adicional del 9,21% en la segunda etapa de la urbanización.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las lecciones aprendidas debido al programa de constructabilidad aportó beneficios a la empresa respecto a: documentación requerida con el fin de poder replicar cambios y mejoras en acortamiento en tiempos, y disminución en los costos. Las lecciones aprendidas más relevantes de la implementación tanto en las fases previas, como en el enlace o relaciones entre las mismas, y en el área corporativa de la empresa fueron analizadas y documentadas con el fin de formar parte del conocimiento de la organización. Esta implementación exitosa se consolidó a través de la elaboración de una base de datos de lecciones aprendidas como gestión del conocimiento, la cual forma parte del activo intangible de la empresa.

Los beneficios demuestran la constructabilidad, como programa de mejoramiento continuo,

optimiza la gestión tanto en la ejecución como en el diseño, mejora la calidad del producto final, el desempeño de su personal ya que se orientan los objetivos de los equipos multidisciplinarios hacia la integración del proyecto.

Por otro lado, cabe considerar que lo desarrollado en este artículo, presenta limitaciones en cuanto a medición del impacto de uso de tecnologías o de otras metodologías de avanzada que incidan y promuevan la constructabilidad. Se sugiere, por ejemplo, investigar cómo las nuevas tecnologías de información, tales como realidad virtual, realidad aumentada, Virtual Design and Construction (VDC) pueden incidir de manera positiva en la constructabilidad de los proyectos.

Así mismo, en cada una de las áreas o fases estudiadas existen oportunidades de investigaciones en campo, que puede aportar datos a las mejoras y optimizaciones de los procesos en el diseño y en la construcción. Se sugiere, vincular la relación de la constructabilidad con toda la filosofía de Lean Construction: hacer una revisión de las afinidades entre ambas prácticas y culturas y sus diferencias. Por último, revisar la relación entre la constructabilidad y las nuevas tendencias hacia la integración y la colaboración dadas por el desarrollo del Integrated Project Delivery (IPD), el Lean Project Delivery (LPD) y Target Value Design (TVD).

8. RECONOCIMIENTO

Agradecemos a la empresa ejecutora “Inversiones Bricket C.A.” por aportar la información requerida. Asimismo, a CONICYT por financiar los estudios doctorales de Zulay Giménez a través de beca del gobierno de Chile, CONICYT-PCHA/Doctorado Nacional/2016-21160571.

9. REFERENCIAS

- [1] M. S. Leong, & P. A. Tilley, «Lean Strategy to Performance Measurement – Reducing Waste by Measuring ‘ Next ’ Customer Needs», Proceedings of the 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 757–768, 2008
- [2] B. Dave, L. Koskela, M. Kagioglou, & S. A. Bertelsen, «Critical look at integrating people, process and information systems within the construction sector», 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 795–808, 2008
- [3] B. D. Ilozor, C. O. Egbu, & T. S. Abdelhamid, «Designing and building to minimize construction waste», Proceedings of IGLC16: 16th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 2008
- [4] G. Howell, «Uncertainty and contingency: Implications for managing projects», Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, 10, 2012
- [5] A. Serpell, «Administración de operaciones de construcción» Textos Universitarios,

- Facultad de Ingeniería, Ediciones Universidad Católica de Chile, Chile, 2002
- [6] Construction Industry Institute (CII), «Implementation guide Constructability» Publication, 34 (1) 1993
- [7] M. Loyola, & L. Goldsack, «Constructividad y Arquitectura», Universidad de Chile, Primera ed, Chile, 2010
- [8] J. Espinoza Rosado, & R. M. Pacheco Echevarría, «Mejoramiento de la constructabilidad mediante herramientas BIM» Item type info:eu-repo/semantics/masterThesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, doi:10.13140/RG.2.1.4575.8800, Perú, 2014
- [9] Z. Giménez, & C. Suarez, «Procedimiento para la implantación de la constructabilidad en la etapa de diseño preliminar de una empresa promotora de viviendas», Perspectiva. Revista electrónica científica LUZ , 2013
- [10] M. Alalawi, S. Johnson, S. Han, Y. Mohammed & AbouRizk «Constructability: Capabilities, Implementation, and barriers», *5th International/11th Construction Specialty Conference*, 14, 2015