



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TÍTULO:

**“GERENCIA DE PROYECTOS BAJO FILOSOFÍA LEAN
CONSTRUCTION UTILIZANDO UN SISTEMA DE
CONTROL DE PROYECTOS Y VENTAJAS FRENTE AL
SISTEMA TRADICIONAL”**

AUTOR:

JUAN ANDRÉS MORÁN ALARCÓN

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

ING. ROBERTO MURILLO BUSTAMANTE

ENERO 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por Juan Andrés Morán Alarcón, como requerimiento parcial para la obtención del Título de Ingeniero Civil.

TUTOR

Ing. Roberto Murillo Bustamante

REVISORES

Ing. Mario Dueñas Rossi

Ing. Xavier Casal Rodríguez

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario Dueñas Rossi

Guayaquil, a los 7 del mes de Mayo del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Juan Andrés Morán Alarcón

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación “Gerencia de Proyectos Bajo Filosofía Lean Construction Utilizando un Sistema de Control de Proyectos y Ventajas Frente al Sistema Tradicional”, previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme a las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 7 del mes de mayo del año 2013.

EL AUTOR

Juan Andrés Morán Alarcón



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Juan Andrés Morán Alarcón

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “Gerencia de Proyectos Bajo Filosofía Lean Construction Utilizando un Sistema de Control de Proyectos y Ventajas Frente al Sistema Tradicional”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 07 del mes de mayo del año 2013.

EL AUTOR

Juan Andrés Morán Alarcón

DEDICATORIA

Este trabajo de Grado se lo dedico a Dios, a mis padres y a todo el personal docente que me han guiado para el desarrollo del mismo.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

ING. ROBERTO MURILLO BUSTAMANTE
TUTOR

ING. MARIO DUEÑAS ROSSI
PROFESOR DELEGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

**ING. ROBERTO MURILLO BUSTAMANTE
TUTOR**

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo de la Investigación	2
1.3. Objetivos Específicos.....	2
1.4. Delimitación.....	3
1.4.1. Campo de Acción	3
1.4.2. Área	3
1.4.3. Tema.....	4
1.4.4. Problema.....	4
1.4.5. Delimitación Espacial y Temporal	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Historia del Lean Manufacturing	5
2.2. Origen del Modelo de Conversiones.....	6
2.3. Principios del Modelo de Conversión.....	7
2.4. Críticas a la Filosofía de Producción Tradicional.....	8
2.5. Principios Básicos del Lean Construction	9
2.5.1. Reducir el porcentaje de actividades que no agregan valor	9
2.5.2. Incrementar el valor del producto a través de la consideración de las necesidades del cliente.	10
2.5.3. Reducir la variabilidad	12
2.5.4. Reducir el tiempo de ciclo.....	13
2.5.5. Simplificar a través de la reducción del número de pasos y piezas...	14
2.5.6. Incrementar la flexibilidad del output	15
2.5.7. Incrementar la transparencia del proceso	16
2.5.8. Realizar el control de mejora sobre el proceso completo.....	17
2.5.9. Mejorar continuamente los procesos de producción.	18
2.5.10. Hallar un equilibrio entre la mejora del flujo y la mejora de las conversiones.	19
2.5.11. Benchmarking	21

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN	23
3.1. Antecedentes	23
3.2. Herramientas para el Análisis y Diagnóstico de la producción.	25
3.2.1. Diagrama de Procesos	25
3.2.2. Listas de Verificación.....	29
3.2.3. Registro de Imágenes de los Procesos.....	31
3.2.4. Diagrama de Recorrido	31
3.3. Comparación entre los dos Sistemas de Construcción	32
3.3.1. Análisis de Procesos Constructivos.....	32
4. CASOS DE APLICACIÓN	33
4.1. Aceras	33
4.2. Instalación de Tubería Pead de 315mm	43
4.3. Enlucido de paredes	53
4.4. Losas	61
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
5.1. Conclusiones	69
5.2. Recomendaciones	70
6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	71

Índice Tablas

3.1. Símbolos Empleados en Diagramas.....	26
3.2. Tabla de Verificacion.....	29
3.3. Comparacion Sistema Tradicional vs Lean Construction.....	32
4.1. Diagrama de Procesos para “ACERAS”.....	34
4.2. Diagrama de Procesos para “ACERAS” aplicando Lean Construction	38
4.3. Diagrama de Procesos para “INSTALACION DE TUBERIAS”.....	44
4.4. Diagrama de Procesos para “INSTALACION DE TUBERIAS” aplicando Lean Construction	48
4.5. Diagrama de Procesos para “ENLUCIDO DE PAREDES”.....	53
4.6. Diagrama de Procesos para “ENLUCIDO DE PAREDES” aplicando Lean Construction	56
4.7. Diagrama de Procesos para “LOSAS”	61
4.8. Diagrama de Procesos para “LOSAS” aplicando Lean Construction	64

Índice Gráficos

3.1. Flujo de Procesos	30
4.1. Mapa Flujograma “ACERAS”.....	35
4.2. Resumen de actividades del rubro “ACERAS”	36
4.3. Mapa Flujograma “ACERAS” aplicando Lean Construction	39
4.4. Resumen de actividades del rubro “ACERAS” aplicando Lean Construction	40
4.5. Mapa Flujograma “INSTALACION DE TUBERIAS”.....	45
4.6. Resumen de actividades del rubro “INSTALACION DE TUBERIAS”	46
4.7. Mapa Flujograma “INSTALACION DE TUBERIAS” aplicando Lean Construction	49
4.8. Resumen de actividades del rubro “INSTALACION DE TUBERIAS” aplicando Lean Construction.....	50
4.9. Mapa Flujograma “ENLUCIDO DE PAREDES”.....	54
4.10. Resumen de actividades del rubro “ENLUCIDO DE PAREDES”.....	55
4.11. Mapa Flujograma “ENLUCIDO DE PAREDES” aplicando Lean Construction	57

4.12. Resumen de actividades del rubro “ENLUCIDO DE PAREDES” aplicando Lean Construction	58
4.13. Mapa Flujograma “LOSAS”	62
4.14. Resumen de actividades del rubro “LOSAS”	63
4.15. Mapa Flujograma “LOSAS” aplicando Lean Construction	65
4.16. Resumen de actividades del rubro “LOSAS” aplicando Lean Construction	66

Índice Anexos

A.1. Especificaciones Técnicas Del Enlumax Proyectable	72
--	----

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Tanto en Ecuador como en otros países de Sudamérica y del mundo, la Gerencia de Proyectos en la construcción de obras civiles, ha sido un tema que no se ha tratado en forma adecuada debido a la falta de innovación desde la instrucción universitaria en el ámbito de Administración de Proyectos; utilizando metodologías que han quedado en el pasado y que no han logrado acabar con estos problemas crónicos que se encuentran en la construcción.

Si se toma como referencia a países más evolucionados en el ámbito ingenieril y no necesariamente del primer mundo, se puede observar que estos ya han incluido en sus procesos programas de control y evaluación de proyectos teniendo resultados altamente satisfactorios tanto en lo económico como en la calidad de la construcción. Al referir países “no necesariamente del primer mundo” es porque se tiene como ejemplo a países vecinos como es el caso de Perú, Colombia y Chile que muestran una evidente evolución en sus obras de ingeniería.

Sin duda alguna la construcción está cambiando de una forma impresionante con cambios significativos en el modo de gestión que incorporan calidad, seguridad, especialización, productividad, tecnologías y otras disciplinas de gestión.

Este cambio se debe a la implementación de diversos modelos de gestión, entre estos tenemos un modelo denominado Lean Construction propuesto por Lauri Koskela¹ (1992). Esta nueva filosofía está dirigida a la

¹ Académico finlandés, pionero en el mundo dentro del campo del desarrollo de conceptos teóricos en la aplicación de Lean Production en la construcción.

² James P. Womack fue el director de investigación del International Motor Vehicle Program

administración en el sector de la construcción, en el cual tiene como objetivo principal, la eliminación de actividades que no agregan valor.

En nuestro país aún no existen herramientas que faciliten la implantación del Lean Construction en empresas del sector de la construcción, por este motivo en este trabajo de grado se propondrá un sistema adaptando parte de los principios de esta metodología con ejemplos sencillos y con ayuda de un software comercial que nos permita administrar de mejor forma y tomar decisiones que mejoren la producción del proyecto, bajo la filosofía Lean Construction.

1.2. Objetivo de la Investigación

El objetivo de este trabajo de grado es trasladar la filosofía Lean Construction al sector de la construcción en nuestro país, con el fin de mejorar la producción y aumentar el rendimiento en obra, y utilizar herramientas para el manejo de proyectos que pueda ser muy útil y que nos facilite el trabajo de implantar esta filosofía en nuestra obra para tener mayor control.

También tenemos como objetivo en demostrar que este nuevo sistema de proyectos de análisis y aplicaciones de principios presenta muchas bondades frente al sistema tradicional dando diferentes ejemplos de cómo podemos mejorar la metodología de construcción aplicada en obra, con el fin de optimizar costos y tiempos en el proyecto, eliminar desperdicios y generar valor al cliente.

1.3. Objetivos Específicos

Los objetivos del presente trabajo de grado son los siguientes:

- Dar a conocer una forma o metodología de optimizar costos y tiempos en un proyecto.

- Implementar bases de la filosofía Lean Construction respecto a la planificación y gestión visual de un proyecto, controlar la eliminación de desperdicios y aumentar la generación de valor al cliente.
- Determinar procesos adecuados de construcción y analizar posibles mejoras.
- Determinar índices de usos de materiales más representativos.
- Comparación de esta filosofía de proyectos con el sistema tradicional.

1.4. Delimitación

A fin de definir claramente nuestro estudio y concentrarnos en el proceso de mejorar la producción y aumentar el rendimiento en obra, considerando aspectos técnicos de la ingeniería que nos permitan delimitar su alcance, campo de acción, problema, área de estudio y delimitación espacial y temporal. Hemos considerado los siguientes aspectos limitantes:

1.4.1. Campo de Acción

Nuestro estudio se encasilla dentro del campo de la Ingeniería Civil y la Administración de la Construcción, que estudian la correcta aplicación de los procedimientos que garanticen un adecuado manejo económico de los procesos y proyectos, enfocado al manejo adecuado de los recursos y tiempo, procurando estándares de alta calidad.

1.4.2. Área

El área específica de alcance es la Ingeniería Civil, con un enfoque específico y práctico a las acciones que puedan ejercer los constructores.

1.4.3. Tema

Consecuentemente, el tema a desarrollar para este informe final del trabajo de grado, a fin de obtener de grado de Ingeniero Civil, es “GERENCIA DE PROYECTOS BAJO FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION UTILIZANDO UN SISTEMA DE CONTROL DE PROYECTOS Y VENTAJAS FRENTE AL SISTEMA TRADICIONAL”, tomando en cuenta el alcance teórico de las variadas situaciones que pueden presentarse en el desarrollo de una obra.

1.4.4. Problema

El tema escogido nos ayuda a resolver en gran medida la problemática existente y planteada a continuación con la siguiente pregunta: ¿Se pueden delinear metodologías y procesos que, debidamente llevados, permiten a nivel gerencial tener un mejor control del estado de la obra para optimizar el uso de recursos y tiempo?

1.4.5. Delimitación Espacial y Temporal

Los criterios, conceptos y propuestas son aplicables en zonas geográficas de similares características sociales y económicas a las existentes en Guayaquil.

2. MARCO TEÓRICO

Este marco teórico es una consolidación de información hecha por el autor de este trabajo, basado en el estudio desarrollado por Lauri Koskela (1992) denominado “Application of the New Production Philosophy to Construction” para el Center for Integrated Facility Engineering de la Universidad de Standford, en la Tesina: Desarrollo de una Herramienta para la Implementacion del Lean Construction de Pau Puigpelat Barrado (2012) y el folleto Serie Construcción Civil, Lean Construction; Directrices y Herramientas para el Control de Perdidas en la Construcción Civil, edición Sebrae, Brazil.

2.1. Historia del Lean Manufacturing

A principios del siglo XX surgió la primera filosofía de producción denominado “El Fordismo”, que se refiere al modo de producción en cadena que llevo a la práctica Henry Ford: fabricante de automóviles de Estados Unidos.

El fordismo fue una filosofía que predominó en la industria automovilística entre los años 30 y 70. Su éxito se debió a la producción en serie a través de cadenas de producción modernas en esa época, lo que permitió reducir considerablemente los costes de producción por unidad.

En los años 50 se desarrolló el movimiento de Just in Time (JIT) en las fábricas de Toyota. Esta iniciativa se considera como el nacimiento del Lean Manufacturing. Y con el transcurso de los años fueron apareciendo varias iniciativas que, a través de sus objetivos y recomendaciones fueron cuestionando al modelo de producción tradicional.

Lean Manufacturing es el conjunto de planteamientos teóricos que creados en el transcurso del tiempo a través de las críticas que se han

formulado al sistema de producción tradicional y tiene como objetivo de mejorar la producción haciéndola más eficaz y eficiente.

La primera vez que se usó el término de “Lean Manufacturing” fue en un informe realizado en el año 1990 por James Womack² que analizaba la industria automovilística.

En el ámbito de la construcción apareció el nuevo modelo denominado Lean Construction, propuesto por Lauri Koskela (1992), que analiza los principios y las aplicaciones del Just in Time y otros movimientos que nacieron en la industria automovilística en la industria de la construcción.

2.2. Origen del Modelo de Conversiones

Este modelo fue desarrollado durante la segunda revolución industrial que tuvo lugar en el siglo XIX. El modelo se desarrolló y se aceptó en esa época porque:

- Los procesos de producción eran muy simples y constaban de una o unas pocas conversiones.
- Los flujos de la producción eran muy cortos y sus costos muy bajos comparados con el costo de las conversiones.
- Las empresas de producción eran lo suficientemente pequeños como para que una sola persona pudiera controlar todo el proceso de producción y ello permitía que esta lo optimizara en su totalidad en vez de hacerlo localmente para cada conversión.

² James P. Womack fue el director de investigación del International Motor Vehicle Program (IMVP) en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT) en Cambridge, Massachusetts, y es el fundador y presidente del Lean Enterprise Institute, una institución sin fines de lucro para la difusión y exploración del pensamiento Lean, con el objetivo de su desarrollo ulterior del Lean Enterprise.

Con el paso del tiempo, las cadenas de producción se volvieron más complejas debido a la mayor complejidad de los productos y a la mayor especialización de las conversiones, pero no se cuestionó el modelo de conversión porque había demostrado ser efectivo en el pasado.

Este modelo no fue criticado abiertamente hasta la aparición del movimiento de “Just in Time”, que criticó que se tuviera en cuenta los costos de las conversiones y se ignorase otros costos como por ejemplo los costos de stock.

2.3. Principios del Modelo de Conversión

Los principios del modelo de conversión son los siguientes:

- Un proceso de conversión es una conversión de *input* a un *output*.
- Un proceso de conversión se puede dividir en subprocesos, que, a su vez, son procesos.
- El costo total de los procesos puede disminuir si se minimizan los costos de cada subproceso.
- El valor del *output* está asociado a los costos de los *input* al proceso.

Como nos podemos dar cuenta, el modelo de conversión define la producción como una serie de conversiones que se realizan sobre el input (el material y el trabajo ya sea personal, energía, maquinaria) para convertirlo en el output (el producto final que se venderá a los clientes). Cada conversión puede ser dividida en varias conversiones y los costos de la producción son equivalentes a la suma de costos de cada conversión, por lo que si se consigue reducir el costo de cada conversión, se conseguirá reducir los costos totales de la producción.

Adicionalmente se pueden destacar otras dos conclusiones del modelo de conversión:

- El rendimiento de este modelo de producción mide como el ratio de output respecto al input (o una parte del input) obtenido durante un periodo de tiempo.
- El valor del producto no es clave en la filosofía de la producción. Este se puede aumentar si se utiliza mejor input, es decir, mejor material o mejor trabajo (mejores especialistas, mejor maquinaria, etc.).

El modelo de conversión es la base teórica de la filosofía de producción tradicional y, según Koskela (1992), no se cuestionó durante muchas décadas porque la gente tiende a acomodarse a los modelos existentes y con ellos se tiende a obviar una parte de la realidad.

2.4. Críticas a la Filosofía de Producción Tradicional

El modelo de conversión no tiene en cuenta todas las variables que afectan a la producción y, por ello, se podría decir que es incompleto y que, en consecuencia, es un modelo erróneo.

El modelo de conversión tiene incongruencias desde el punto de vista del movimiento del Just in Time ya que este modelo no tiene en cuenta los flujos existentes entre las conversiones, tales como los movimientos, la espera y la inspección de productos.

También en este modelo no se han tenido en cuenta los costos de calidad. Si no se tiene en cuenta este factor, se corre el riesgo de que se intente optimizar las conversiones con el objetivo de reducir costos en la producción pero que, en realidad se termina reduciendo la calidad de los productos y que, en consecuencia, aumenten los costos totales de producción.

La diferencia básica entre este modelo tradicional con la filosofía Lean Construction es esencialmente conceptual. El modelo conceptual dominante en la construcción civil es definir la producción como un conjunto de actividades de conversión, que transforman los insumos (materiales, información) en productos intermediarios (por ejemplo, albañilería, estructura, revestimientos) o final (edificación).

2.5. Principios Básicos del Lean Construction

Además de los conceptos básicos, la construcción presenta un conjunto de principios para la gestión de procesos que se detallan a continuación como base del trabajo de Koskela (1992).

2.5.1. Reducir el porcentaje de actividades que no agregan valor

Una actividad que no añade valor, tal y como su nombre lo indica, no añade valor al producto pero en cambio sí consume tiempo y necesita de mano de obra y espacio.

Hay 3 motivos por los que existen actividades que no agregan valor:

- ***Por diseño:*** Las organizaciones crean de manera automática actividades que no añaden valor, ya que al dividir una tarea en varias subtarear se crean una serie de actividades como la inspección, el movimiento y la espera que no incrementan valor al producto final pero son necesarias pues cada una de ellas son realizadas por diferentes especialistas.

- **Por ignorancia:** Se crean actividades que no crean valor sin darse cuenta de ellos o por inexperiencia en los procesos de construcción de las diferentes obras; una de ellas es el gasto excesivo en temas administrativos.
- **Por ser inherentes en la naturalidad de la producción:** La producción tiene de por sí una serie de actividades que no añaden valor (transporte de materiales, variabilidad en los métodos constructivos, etc.)

Se puede mejorar la eficiencia de un determinado proceso a través de la mejoría de eficiencia de las actividades de transporte de materiales, mas principalmente se puede conseguir la mejoría eliminando esas actividades.

Aun así hay que entender que no siempre será posible eliminar todas las actividades de la producción que no creen valor. Hay una serie de actividades que no crean valor para el cliente final pero si lo crean para los clientes internos, como podría ser el caso de la planificación, la contabilidad y la prevención de accidentes.

2.5.2. Incrementar el valor del producto a través de la consideración de las necesidades del cliente.

El valor de un producto lo determina exclusivamente el cliente, ya lo decía Theodore Levitt³: *“Los productos no se venden por el bien en sí mismo, sino por la función que cumplen y la necesidad que satisfacen”*⁴.

³ Economista norteamericano y profesor de la prestigiosa escuela de negocios Harvard Business School (Cambridge, Massachusetts). También editor revista económica Harvard Business Review (HBR) donde publicó sus célebres artículos. Fue el primer teórico economista en acuñar el término globalización enfocado a un punto de vista económico.

⁴Fuente tomada: <http://innovadoresdelmarketing.blogspot.com/2009/11/receta-para-curar-la-miopia-en-el.html>

Un producto con materiales de alta calidad y con una producción excelente puede no tener valor alguno si este no cumple las necesidades del cliente. Valor es el resultado de cumplir y satisfacer las necesidades del cliente.

La aplicación de este principio implica identificar y conocer claramente las necesidades de los clientes internos y externos y entregarles un producto que sea mejor a los que ellos esperan.

Existen 3 clases de productos:

- El producto esencial, que son las características del producto que satisfacen las necesidades básicas del cliente.
- El producto aumentado, que son las características no necesarias pero que el cliente las valora positivamente.
- Los excesos del producto, que son todas aquellas características del producto que no aportan nada al cliente. Tener más o menos excesos del producto no influenciara a la hora de crear valor al cliente, pero sí influirá en los costos del producto.

Los “productos básicos” son productos que tan solo pretenden cumplir las funciones básicas del cliente y por ello tienden a ser productos muy económicos. En cambio los “productos no básicos” incluyen una serie de complementos extras.

Si a la hora de diseñar un producto y producirlo no se tienen en cuenta las necesidades de los clientes, lo más probable es que se dote al producto de muchos complementos innecesarios y, como cada complemento cuesta dinero de producir, se estarán añadiendo complementos que tienen un coste pero que a su vez no aumentan el valor para el cliente, reduciendo la competitividad del producto.

Una de las problemáticas de la filosofía de producción tradicional es que su obsesión en la reducción de los costos de las conversiones terminaba reduciendo el valor del producto final. Por eso hay que tomar en cuenta a la hora de “optimizar” porque si no se tienen en cuenta las necesidades de los clientes y no se realiza una mejora continua lo más probable es que el producto final no satisfaga las necesidades de los clientes y no se venda.

2.5.3. Reducir la variabilidad

Existen diversos tipos de variabilidad envueltos en el proceso de producción:

a) Variabilidad en los casos anteriores: Esta relacionado al proceso de los proveedores.

Ejemplo: bloques de cerámica con grandes variaciones en sus dimensiones.

b) Variabilidad en el proceso propio: Relacionada a la ejecución de un proceso.

Ejemplo: la variabilidad en la duración de ejecución de una determinada actividad a lo largo de varios ciclos.

c) Variabilidad en la demanda: Relacionada a los deseos y necesidades de los clientes en un proceso.

Ejemplo: determinados clientes solicitan diversos cambios en el diseño de una edificación.

La producción es, por naturaleza, imperfecta y resulta imposible producir dos productos exactamente iguales. La variabilidad es uno de los mayores problemas de la industria de la producción ya que la

calidad de sus productos depende en gran medida de la variabilidad y también tiene una influencia directa en los costes de calidad.

Reducir la variabilidad tiene dos beneficios principales:

- Un producto con baja variabilidad satisfará mejor las necesidades del cliente.
- La variabilidad aumenta el porcentaje de actividades que no añaden valor. Por ello, reducir la variabilidad mejorara el flujo.

Se recomienda medir constantemente la variabilidad de la producción para ser capaces de encontrar las causas que la crean y poder combatirla en su origen. Es importante indicar que tener procesos estandarizados facilita la reducción de la variabilidad tanto en las conversiones como en los flujos.

2.5.4. Reducir el tiempo de ciclo

La reducción del tiempo de ciclo es un principio que tiene origen de la filosofía “Just in Time”. Un tiempo de ciclo puede ser definido como la suma de todos los tiempos (transporte, espera, procesamiento e inspección) para producir un determinado producto.

La aplicación de este principio está fuertemente relacionada a la necesidad de comprimir los tiempos disponibles de manera de forjar la eliminación de las actividades del flujo. La reducción del tiempo de ciclo se ha de hacer a través de la mejora continua de los flujos de la producción.

Además de esto, reduciendo los tiempos de ciclo obtendríamos ciertas ventajas:

- Las entregas a los clientes se realizan más rápidamente.
- No es necesario hacer previsiones de futuras demandas.
- La gestión de las ventas es mayor porque hay menos ventas en curso.

- Se disminuye el número de interrupciones en la producción que se deben a cambios en los pedidos de los clientes.

Las recomendaciones para conseguir disminuir los tiempos de ciclo son las siguientes:

- Eliminar el trabajo en proceso (el material que esta acumulado entre conversión y conversión)
- Reducir el tamaño de los lotes.
- Reorganizar la estructura interna de las plantas de producción para minimizar las distancias de transporte.
- Sincronizar los flujos.
- Reducir la variabilidad.
- Solucionar los problemas de control que puedan prevenir un flujo rápido.

2.5.5. Simplificar a través de la reducción del número de pasos y piezas

Los sistemas de producción compuestos por muchos pasos y piezas son sistemas muy complejos que tienden a crear varios problemas como:

- Los sistemas complejos son menos fiables y tienen una mayor variabilidad que los sistemas simples.
- Los trabajadores tienen más problemas para entender los sistemas complejos que los sistemas simples y también les resulta más complicado trabajar con ellos.

Por ello, se ha de promover la simplificación de los sistemas de producción a través de la reducción de pasos dentro del proceso de producción. La simplificación se puede hacer o bien eliminando las

actividades que no añaden valor o bien reconfigurando las conversiones.

Existen varias formas de simplificar los sistemas de producción:

- Utilizando elementos prefabricados, reduciendo el número de etapas para la ejecución de un elemento de la edificación.
- Uso de equipos polivalentes, en vez de usar un mayor número de equipos especializados.
- Minimizar la necesidad del control de la información.

2.5.6. Incrementar la flexibilidad del output

El incremento de flexibilidad de salida está también vinculado al concepto de proceso como generador de valor. Un elemento clave de la producción es que el producto final satisfaga las necesidades del cliente.

Puede que este principio parezca un poco contradictorio al de la simplificación de la producción pero, si bien es cierto que la flexibilización del output aumenta la complejidad de la producción, este aumento es casi imperceptible si los tiempos de ciclo de la producción son muy pequeños y además hay transparencia en los flujos del proceso global.

Para lograr incrementar la flexibilidad del output se recomienda:

- Reducir los tiempos del ciclo, a través de la reducción del tamaño de los encargos de obra, trabajos, etc.
- Uso de mano de obra polivalente, capaz de adaptarse fácilmente a cambios de la demanda.
- Utilización de procesos constructivos que permitan la flexibilidad de un producto sin grandes cargas para la producción.
- Personalizar el producto tan tarde como sea posible.

2.5.7. Incrementar la transparencia del proceso

Incrementar la transparencia del proceso es muy útil ya que nos permite:

1. Reducir la probabilidad de que se realicen errores.
2. Aumentar la probabilidad de detectar errores.
3. Incrementar la motivación de los empleados para perseguir una mejora continua de los procesos de producción.

Es importante que todos los empleados sean capaces de entender los flujos principales desde el principio de la producción hasta el final, porque esa transparencia ayudará a que cada empleado tenga en cuenta no solo el cliente final sino también los clientes internos, reduciendo así los errores que afectan negativamente a otras unidades de producción.

Algunas de las recomendaciones prácticas para mejorar la transparencia son:

- Crear un proceso que sea directamente observable en una herramienta.
- Utilizar el control visual, que permite que cualquier persona detecte inmediatamente las desviaciones respecto a los estándares.
- Dotarse de herramientas, materiales, sistemas de información que permiten entender el rendimiento del proceso.
- Reducir la interdependencia de las unidades de producción.

2.5.8. Realizar el control de mejora sobre el proceso completo.

Al optimizar cada subflujo de manera individual y localmente se corre el riesgo de, no solo no mejorar, sino incluso, empeorar el flujo global. Cuando se optimiza un subflujo sin tener en cuenta qué impacto tendrá este cambio en el proceso completo hace, que muy a menudo, se perjudique el flujo global. Por ello, es primordial que se intente mejorar los flujos del proceso completo, siempre teniendo en cuenta cómo afecta cada cambio a cada uno de los subflujos y al flujo en general.

El control de los flujos se acostumbrará a estar segmentado porque los flujos pasan a través de diferentes unidades de producción o incluso a través de diferentes organizaciones. Debido a ello, no tiende a existir nadie que controle, con autoridad suficiente, el proceso de producción completo. Por ejemplo, uno de los errores conceptuales del modelo de conversión es que la supuesta “optimización” de una conversión pueden crear una serie de efectos fatídicos en el flujo como por ejemplo en el incremento del tiempo de espera o el aumento del tiempo de inspección y del esfuerzo de reparación de errores en el producto. Para conseguir una optimización correcta no solo hay que conocer todo el proceso de producción sino que además ha de existir una entidad con autoridad suficiente para llevar a cabo los cambios que sean necesarios en el conjunto de la cadena de producción.

En el caso de flujos entre diferentes organizaciones, como por ejemplo con los proveedores, se recomienda tener una cooperación de larga duración y trabajar en equipo para conseguir beneficios mutuos que repercutirán en la optimización del flujo total.

2.5.9. Mejorar continuamente los procesos de producción.

La filosofía de producción tradicional solo consideraba como innovación aquellas mejoras tecnológicas que permitían mejorar conversiones y las mejoras de los productos. Por el contrario, Lean Manufacturing considera que, además de las mejoras de las tecnologías de conversión y las mejoras del producto final, cualquier mejora generalizada del flujo de producción es también una innovación.

La mejora continua es el instrumento básico para conseguir mejorar el flujo de la producción ya que a diferencia de la optimización de las conversiones que se pueden mejorar de manera radical con la implantación de una nueva maquinaria o tecnología, la optimización del flujo de la producción no se puede realizar con cambios drásticos sino que es necesario un proceso iterativo interno y constante que mejore progresivamente los procesos de producción, consiguiendo reducir los desperdicios e incrementando el valor del producto final para el cliente.

La mejora continua pretende optimizar el flujo global de la producción a través de la persecución de un conjunto de objetivos:

- La reducción de la variabilidad.
- La reducción de la duración de un ciclo de producción.
- La reducción o eliminación de aquellas actividades que no añaden valor.
- El incremento de la consideración de las necesidades del cliente en cada una de las actividades,
- El ajuste de las diferencias partes del proceso para que haya una mayor sincronización.
- La consecución de una mejor fiabilidad.
- El desarrollo incremental del equipamiento.

Todos y cada uno de los objetivos listados contribuyen de alguna manera en la optimización del flujo global de la producción.

Ahora bien, institucionalizar la mejora continua en una organización no es nada fácil porque requiere que todos y cada uno de los empleados se esfuerce día a día en la mejora de los procesos de producción. Para ello se recomienda seguir las siguientes directrices:

- Medir y monitorizar las mejoras.
- Marcarse objetivos generales (como por ejemplo la reducción del tiempo del ciclo) a través de los cuales se podrá detectar muchas de las problemáticas ocultas y darles solución.
- Apoderar a los empleados para que puedan ser capaces de trabajar en la mejora de la producción con suficiente autonomía.
- La perfección en la producción no existe y por tanto es necesario que la empresa no caiga en la tentación de la suficiencia sino que persiga constantemente acercarse aún más a la excelencia. Para ello se recomienda contrastar las prácticas de las diferentes unidades de producción con las mejoras prácticas existentes esa industria de producción. Se recomienda recompensar a aquellas unidades que consigan mantener una mejora continua.

2.5.10. Hallar un equilibrio entre la mejora del flujo y la mejora de las conversiones.

La optimización de la producción bajo los principios de Lean Manufacturing se realiza a través de:

- La reducción o la eliminación de las actividades que no añaden valor.
- El incremento de la eficiencia de las actividades que añaden valor.

Estos dos objetivos se pueden conseguir a través de la mejora de los flujos de la producción y la mejora de las conversiones.

Como la producción se puede mejorar en estas dos áreas, es necesario hallar que esfuerzos de mejora se dedica a cada área para alcanzar un equilibrio óptimo entre las dos posibilidades de mejora. Este principio de Lean Manufacturing aboga por reflexionar sobre cuál es el punto de equilibrio entre la mejora de las conversiones.

Como reglas generales se puede indicar que:

- A mayor complejidad del proceso de producción, mayor será el impacto de las mejoras en el flujo.
- Cuantos más desperdicios existan en el proceso de producción, más beneficioso resulta mejorar el flujo.

Aunque las mejoras del flujo y las mejoras de las conversiones buscan el mismo objetivo (optimizar la producción), son bastante diferentes en lo referente a la inversión que se requiere y también en cuanto al seguimiento que se debe realizar de las mejoras:

- Las mejoras del flujo no requieren una gran inversión económica pero, por el contrario, requieren de mucho esfuerzo, tanto laboral como psicológico, para que se mantenga la mejora continua de los procesos.
- Las mejoras de conversión, por ejemplo a través de la compra de una nueva máquina de producción, requieren gran inversión económica pero en cambio su aplicación es más rápida y más fácil que las mejoras de flujo.

Por último, es interesante destacar que existe una conexión entre las mejoras de flujo y las mejoras de las conversiones:

- Unos flujos mejores y más optimizados requieren una menor capacidad de conversión y, en consecuencia, una menor inversión en maquinaria y equipamientos.
- Unos flujos más controlados facilitan la implantación de nuevas tecnologías de conversión.
- Las nuevas tecnologías de conversión pueden tener beneficios secundarios en los flujos de la producción, por ejemplo a través de una reducción de la variabilidad de la producción.

Cada empresa ha de hallar su equilibrio óptimo entre las mejoras de los flujos de la producción y las mejoras de las conversiones. Ahora bien, si una empresa ha centrado sus mejoras de las últimas décadas tan solo en mejorar conversiones, lo más probable es que el potencial de mejoras de flujo sea mucho mayor que el potencial de mejora de las conversiones.

2.5.11. Benchmarking

Todas las mejoras tecnológicas que incrementan la eficiencia de las conversiones son promocionadas a las compañías de producción ya sean físicas (una nueva máquina de producción) o no físicas (un nuevo programa informático). Por el contrario, las mejoras de los flujos de la producción no se venden a las empresas sino que han de ser ellas mismas las que las busquen. El objetivo de este principio es que las empresas realicen la práctica de benchmarking para conseguir incorporar mejoras de flujos existentes en otras empresas o industrias.

El principio de benchmarking para Lean engloba los conceptos desarrollados por Robert Camp⁵ (1989) en este ámbito:

- Entender los procesos actuales de la compañía e identificar sus fortalezas y sus debilidades.
- Saber quiénes son los líderes de la industria y sus competidores. Y a partir de ellos encontrar, entender y comparar las mejoras prácticas.
- Incorporar las mejores prácticas, ya sea implantándoles directamente o adaptándolas a los subprocesos existentes.
- Ganar en competitividad gracias a la combinación de las fortalezas existentes y las mejoras obtenidas a través de las mejores prácticas externas.

Benchmarking ofrece la posibilidad, no solo de mejorar progresivamente los procesos de la organización, sino de realizar una reconfiguración radical de todos los procesos de una compañía. La gran mayoría de las compañías tiene una serie de creencias y prácticas que, aunque tienen un impacto negativo en el desarrollo de la empresa. Benchmarking permite cuestionar esas prácticas y creencias al contraponerlas con las prácticas que otras empresas están utilizando y poder comparar sus resultados.

⁵ Robert Camp, de Xerox, ingeniero experto en logística, escribió el libro “Benchmarking: The Search for Industry Best Practices that Lead to Superior Performance”, en el cual describe en forma detallada su experiencia en actividades de benchmarking en Xerox.

3. HERRAMIENTAS PARA EL CONTROL DE LA PRODUCCIÓN

3.1. Antecedentes

Tal como indica el folleto de Serie de Construction Civil, L Lean Construction; Directrices y Herramientas para el Control de Perdidas en la Construcción Civil, cada tipo de ejercicio exige una determinada herramienta, adecuada para el caso. Así que es necesario conocer la función de cada herramienta y la situación en la que debe ser utilizada. También es importante conocer como las herramientas se complementan de forma para lograr un determinado objetivo, aprovechando al máximo las posibilidades de la utilización conjunta de los mismos.

Todas estas analogías son herramientas totalmente aplicables destinadas a controlar la producción, que se caracterizan por:

- Son cada uno dirigido a un fin específico.
- Su eficacia depende de adecuación para resolver el problema existente y la posibilidad de utilizarlo correctamente.
- Situaciones complejas (como en el caso del control de la producción) necesitan el uso simultáneo de varias herramientas, lo que implican la necesidad de comprender como las herramientas están complementando.

Las herramientas de control de producción pueden ser clasificadas genéricamente en dos grandes grupos:

- a) Herramientas destinadas a controlar la producción:** Las herramientas para controlar su producción se caracterizan por su uso periódico, en intervalos pre-definidos, permitiendo la evaluación de su desempeño con el tiempo, a partir de la comparación entre los resultados y las acciones planeadas. Su uso permite la identificación

de las deficiencias y problemas (resultados anormales) y su ubicación en la escala de tiempo. Para controlar la eficiencia son necesarias las herramientas que permitan cuantificar la producción por periodo, y determinar la cantidad de recursos utilizados en la producción, mano de obra y materiales durante o periodo considerado.

b) Herramientas para la evaluación y diagnóstico: Las herramientas de carácter descriptivo y procesos que son aplicables a las obras de construcción dirigido a:

- Evaluar cualitativa y cuantitativamente los problemas relacionados con el contexto de la producción y procesos tales como la seguridad, movimiento y almacenamiento de materiales, instalaciones provisionales, secuencia de actividades que conforman los procesos y la disposición física y los flujos de materiales, equipos y personas.
- Describir el contexto en el que se ejecutan los procesos, permitiendo la identificación de aquellos temas que son más evidentes, en gran parte llevándose consideración las mejores prácticas de las empresas o en el sector.
- Contratación de servicio para la identificación de las posibles causas de los problemas relacionados a la eficiencia y eficacia.

Existen una gran cantidad de herramientas que pueden ser utilizadas para la mejora de procesos productivos. A continuación se relacionan algunas de estas herramientas, elegidos por su aplicabilidad al control del proceso en la construcción civil, así como la amplia gama de problemas que el proyecto junto con sus herramientas es capaz de identificar.

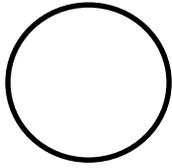
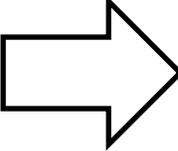
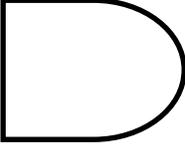
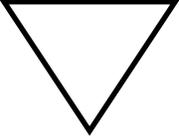
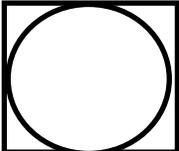
3.2. Herramientas para el Análisis y Diagnóstico de la producción.

3.2.1. Diagrama de Procesos

Hace muchos años, Frank Gilbreth⁶ ideó una serie de cuarenta símbolos que empleo para hacer los diagramas del proceso tal como lo indica el Instituto de la Construcción y Gerencia, Tecnología en la Construcción en Lima-Perú. En la actualidad la OIT (Organización Internacional del Trabajo) nos recomienda que para hacer constar en un diagrama todo lo referente a un trabajo u operación resulta mucho más fácil emplear una serie de cinco símbolos uniformes, que conjuntamente sirven para representar todos los tipos de actividades o sucesos que probablemente se den en cualquier obra. Estos símbolos se observan en la tabla 3.1.

⁶ Frank Bunker Gilbreth (Fairfield, 1868 – Lakawanna, 1924) ingeniero estadounidense. Colaboró en los estudios de organización del trabajo, con objeto de establecer unos principios para disminuir el tiempo de ejecución y la fatiga.

Tabla 3.1. Símbolos Empleados en Diagramas.

Tipo de actividad	Ejemplos	Símbolos
<p>Operación.- Indica las principales fases del proceso, método o procedimiento. Existe operación cuando se produce: a) una alteración en el producto ya sea física o química, b) Se prepara para una operación subsiguiente, c) Se facilita o recibe información de cálculos y planes, d) El objeto se monta o desmonta.</p>	<p>Ejemplos: Vaciado de concreto en zanjas, encofrado de una viga, preparación de un mortero, armado de losas, etc.</p>	
<p>Inspección.- Indica que se verifica la calidad, la cantidad o ambas.</p>	<p>Ejemplos: Recepción de un material, verificar niveles, control de dosificación de mezclas de concreto, etc.</p>	
<p>Transporte.- Indica el movimiento de los trabajadores, materiales y equipo de un lugar a otro dentro de la obra.</p>	<p>Ejemplos: Izaje de elementos prefabricados, traslado de la concretera, transporte de materiales, etc.</p>	
<p>Demora.- Indica demora en el desarrollo de los hechos, por ejemplo: trabajo en suspenso entre dos operaciones sucesivas o abandono momentáneo, no registrado, de cualquier elemento hasta que se necesite.</p>	<p>Ejemplos: Espera que hace el albañil al abastecimiento de ladrillos, espera del mixer para realizar el hormigonado, etc.</p>	
<p>Almacenamiento.- Indica depósito de un elemento u objeto, bajo vigilancia en un almacén, donde se recibe o entrega, mediante alguna forma de autorización o donde se guarda con fines de referencia.</p>	<p>Ejemplos: Almacenamiento de cemento, tuberías, accesorios, etc.</p>	
<p>Actividades combinadas.- Cuando se desea indicar que varias actividades son ejecutadas al mismo tiempo o por el mismo operario en el mismo lugar de trabajo, se combinan los símbolos de tales actividades.</p>	<p>Ejemplos: Nivelación de ladrillo guía (inspección y operación), vaciado de columnas (transporte y operación).</p>	

Fuente: Instituto de la Construcción y Gerencia, Tecnología en la Construcción, Fondo Editorial ICG, Lima – Perú, 2002, 1ra ed. Pág. 78

El diagrama de procesos es una herramienta destinada a registrar la forma como los procesos son realizados, entendiéndose por el flujo del proceso de materiales y componentes durante la producción. Su utilización tiene como objetivos:

a) Permitir la visualización y el análisis de proceso: A diferencia de algunas instalaciones industriales, donde el diseño a menudo muestra claramente cuáles son las actividades que conforman el proceso y su secuencia, este hecho en la construcción civil no suele ocurrir. Esto es porque el producto de la construcción, siendo grande e inmóvil, hacen que los procesos de construcción tengan un aspecto mucho más dinámico y complejo, y difícil de visualizar. Por lo tanto, el diagrama de procesos ayuda a aumentar la transparencia del sistema de producción.

b) Evaluar la relación entre la cantidad de flujo de actividad y la cantidad total de las actividades del proceso: Ya que las actividades de flujo generalmente consumen recursos pero no contribuyen al objetivo de producción (sin añadir valor), las empresas siempre deben tratar de reducir el número de dichas actividades en sus procesos de producción.

c) Permitir la cuantificación de otros indicadores de procesos, tales como:

- **Tiempo del proceso:** El tiempo total que demanda el proceso, consiste en la suma de los tiempos individuales de la actividad.
- **Distancia:** la suma de las distancias recorridas durante las actividades de transporte que componen el proceso. Mientras menor sea la distancia, menor tiende a ser el gasto de transporte o desgaste físico de los operarios.

- **Número de personas involucradas:** El número de personas involucradas es un indicador directamente relacionado al costo del personal. Por consecuencia, la reducción del número de personas involucradas en determinado proceso generalmente resulta la reducción del costo del personal.

Generalmente el diagrama se inicia con la entrada de material de obra, siguiéndolo a través de todas las fases, tales como transporte al almacén, inspección, traslado al lugar del trabajo, transporte y colocación final como parte integrante de un producto (cimentación, muro de concreto, columna, viga, etc.)

Con estos diagramas puede encontrarse la posibilidad de eliminar totalmente ciertas operaciones o ciertas partes de una operación, de combinar una operación con otra, obtener un recorrido mejor para los materiales, usar maquinas más económicas, eliminar demoras entre operaciones y obtener otras mejoras, todo lo cual conduce al logro de un producto de mejor calidad a un costo más bajo.

El diagrama del proceso ayuda a mostrar los efectos que los cambios introducidos en una parte de dicho proceso producirán sobre otras partes o elementos del mismo. Además, puede conducir al descubrimiento de ciertas operaciones que deben someterse a un análisis más cuidadoso.

3.2.2. Listas de Verificación

Las listas de verificación tienen como objetivo básico permitir una rápida evaluación cualitativa de los procesos analizados. Además de esto, pueden ser usadas también para:

- a) Llamar la atención sobre puntos que se consideran críticos para el desempeño de un proceso y la seguridad en el trabajo que se observa antes del inicio de un proceso.
- b) Registrar las mejores prácticas de la empresa a fin de estandarizar para todas sus obras; y ayudar en el proceso de mejora continua.

En su forma básica, una lista de verificación, tabla 3.2; consiste en una serie de ítems que se deseen observar: “SI”, “NO” y “NO APLICA”. Los dos primeros dicen si el ítem fue atendido o no. Y el tercero se refiere a situaciones en las que el ítem no puede ser evaluado.

Tabla 3.2. Tabla de Verificación

3.SEGURIDAD INDUSTRIAL Y MEDIO AMBIENTAL	SI	NO	N/A
3.1 Se ha utilizado malla plástica de peligro			
3.2 Se encuentran colocados los letreros de seguridad			
3.3 Todos los obreros poseen su equipo de protección personal			
3.4 Existen caminos definidos para el paso de los peatones			
Observaciones:			

Fuente: Elaboración Propia

Mientras estemos en el campo, podemos usar también otro tipo de formato que nos permite llevar el control en cuanto a tiempo y distancia y así poder darnos cuentas cuales son las actividades que nos retrasan para poder dar distintas soluciones con el fin de disminuir el tiempo perdido.

Gráfico 3.1. Flujo de Procesos

GRAFICO DE FLUJO DE PROCESOS										Hoja No. de								
RESUMEN	Actual		Propuest.		Diferencia		ASUNTOS:											
	No.	Tpo.	No.	Tpo.	No.	Tpo.												
<input type="radio"/> Operaciones							<input type="checkbox"/> MANO DE OBRA <input type="checkbox"/> MATERIAL O PRODUCCION											
<input type="checkbox"/> Transporte																		
<input type="checkbox"/> Control							PASO INICIAL											
<input type="checkbox"/> Retraso							PASO FINAL											
<input type="checkbox"/> Almacenamiento							ELABORADO POR: _____ FECHA: _____											
TOTALES																		
DISTANCIA																		
No.	PASOS DEL PROCESO						Operacion	Trasporte	Control	Retraso	Almacenam.	Distancia	Tiempo	Cantidad	OBSERVACIONES	Suprimir	Combinar	Permutar
	<input type="checkbox"/> ACTUAL	<input type="checkbox"/> PROPUESTO																
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
							<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							

3.2.3. Registro de Imágenes de los Procesos

El registro de imágenes de un proceso consiste en documentar por medio de fotos o videos las diferentes etapas que caracterizan un determinado proceso.

El material resultante contribuye para una mejor evaluación de los procesos, y así nos ayuda para señalar problemas y/o soluciones y también confirmar las observaciones realizadas en el trabajo.

El registro de imágenes en el proceso también desempeña un papel importante no solo en el sentido de complementar las demás herramientas, sino también para registrar los mejores.

3.2.4. Diagrama de Recorrido

Ralph Barnes⁷ asegura que para lograr una mejor visión del proceso se debe dibujar las líneas de recorrido en un esquema del área o zona en que tiene lugar la actividad; indicando la ubicación de la maquinaria, el producto (cimiento, muro de concreto, etc.), el almacén de materiales, etc., con el empleo de los símbolos de operación, transporte, espera inspección y almacenamiento.

⁷ Ralph Mosser Barnes: (nacido en 1900 en Clifton Mills, West Virginia, EE.UU.) Con su trabajo continuó afianzando la técnica clásica de Gilbreth que se utilizan en la actualidad.

3.3. Comparación entre los dos Sistemas de Construcción

3.3.1. Análisis de Procesos Constructivos

La simplificación de los métodos de trabajo en construcción, sería la aplicación sistemática del sentido común a la elaboración de métodos de trabajos mejores y más fáciles. La simplificación de los métodos de trabajo consta de cinco etapas tal como está indicado en Folleto Serie Construcción Civil, Lean Construction; Directrices y Herramientas para el Control de Perdidas en la Construcción Civil.

- Escoger el trabajo que hay que estudiar.
- Analizarlo detalladamente, más o menos a fondo según el objetivo buscado.
- Pasar cada uno de sus elementos por el tamiz de una crítica metódica.
- Elaborar un modo operatorio más eficaz, sintetizando los resultados del análisis y la crítica.
- Y por último, llevarlo a la práctica y observar sus resultados.

Tabla 3.3. Comparación Sistema Tradicional vs Lean Construction

Método Comparativo	Construcción Tradicional	Lean Construction
Concepto	La construcción está compuesta por una serie de actividades de conversión que agregan valor.	La construcción está compuesta por flujos (no agregan valor) y conversiones (agregan valor).
Control de Producción	Dirigido al costo de las actividades.	Dirigido al tiempo, costo y valor de los flujos.
Mejoramiento	Incremento de la eficiencia de las conversiones a través de la utilización de nueva tecnología.	Eliminación de las actividades que no agregan valor (perdidas), incrementando la eficiencia de las actividades que lo generan, a través del mejoramiento continuo y la implementación de nueva tecnología.

Fuente: Botero Luis & Álvarez Martha, 2003, Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción, Revista Universidad EAFIT No. 130

4. CASOS DE APLICACIÓN

4.1. Aceras

A continuación se mostrará todo proceso relacionado a la elaboración del rubro ACERA, de manera que podamos aplicar y entender de mejor forma los principios de Lean Construction.

Se explicará paso a paso todo lo que conlleva a la elaboración del rubro, con el fin de dar varias recomendaciones que mejoran la producción y el rendimiento en la elaboración del mismo.

Este ejemplo consiste en realizar 16 metros lineales de acera de hormigón $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$, cada paño de acera tendrá las siguientes dimensiones ($L=3\text{m}$, $b=1,5\text{m}$ y $e=0,1\text{m}$). Se tendrá en cuenta también los trabajos previos como la excavación, relleno, compactación, nivelación del terreno, etc. y todo lo que corresponde a la elaboración del rubro de principio a fin.

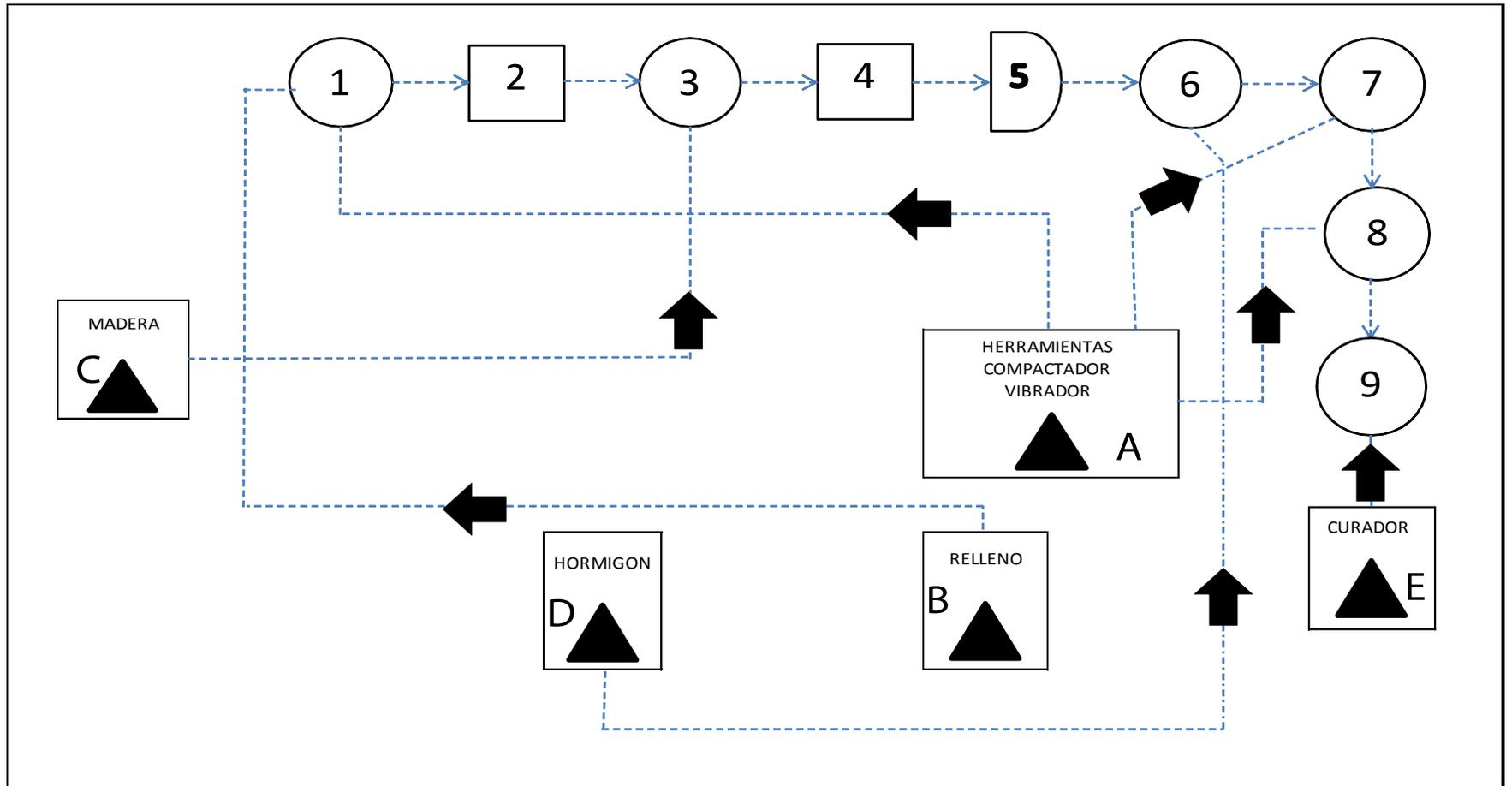
El trabajo será realizado por 3 albañiles, 2 carpinteros, 2 peones y 1 maestro de obra.

Tabla 4.1. Diagrama de Procesos para “ACERAS”

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (min.)	Distancia
A - 1	Transporte de herramientas y compactador al sitio de trabajo.		14	146,5 m
B - 1	Transporte de material de relleno al lugar de trabajo.		35	150,7 m
1	Se realiza la nivelacion del terreno (excavacion, relleno y compactacion).		92	
2	Se procede a inspeccionar el nivel del terreno de manera que se encuentre en el nivel indicado.		8	
C - 3	Traslado de la madera al lugar de trabajo.		18	70,5 m
3	Encofrado de aceras.		65	
4	Inspeccion del encofrado de aceras.		5	
5	Espera del mixer a obra.		40	
6	Vertido de hormigon		25	
A - 7	Traslado de vibrador a obra		14	146,5 m
7	Se procede a realizar el vibrado en el hormigon		15	
A - 8	Los maestros van en buscar de la regla o maestra		14	146,5 m
8	Los albaniles le dan un buen acado a la acera.		25	
E - 9	Se va en busca del curador		5	20 m
9	Se rocia el curador en la acera		10	
TOTAL			385	680,7 m

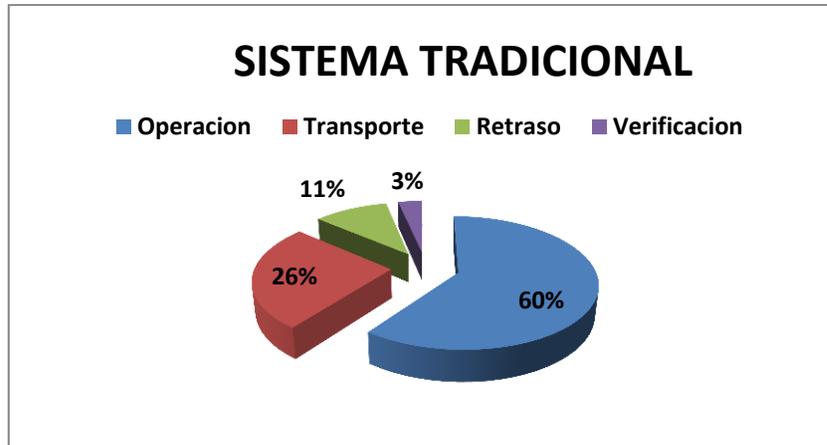
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4.1. Mapa Flujograma "ACERAS"



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.2. Resumen de actividades del rubro “ACERAS”



Fuente: Elaboración Propia

Resumiendo las actividades por su tipo, podemos observar todo el porcentaje que ocupamos para la elaboración del rubro “ACERAS” gráfico 4.2. el cual nos indica que el porcentaje de transporte y retraso es del 37%, el mismo que se lo debería reducir.

No solo debemos pensar en disminuir el tiempo transporte y retraso, sino también en minimizar procesos o actividades que no agregue valor y aumentar el rendimiento de los trabajadores. Para mejorar este rubro aplicando los conceptos vertidos sobre Lean Construction podemos dar varias recomendaciones como:

- Analizar las actividades en desglose del rubro y realizar una buena planificación en cuanto a tiempos para hacer el pedido de hormigón de manera que se reduzca el retraso en la obra. (*Reducir el porcentaje de actividades que no agregan valor*)
- Determinar la ubicación óptima de los materiales y equipos con el fin de que no hayan cruces en el flujo de los materiales. (*Reducir el tiempo de ciclo*)

- Llevar el control en el hormigón, tomando muestras para evitar sorpresas en su resistencia final. (*Reducir variabilidad*)
- Usos de encofrados de madera pre-trabajados en el taller de constructora. (*Incremento en la flexibilidad de output*)
- Al usar encofrados pre-trabajados evito problemas de errores en sitio que puedan ocasionar demora. (*Incrementar la transparencia del proceso*)
- Haciendo benchmarking con el análisis que se hace en este rubro, incorporaremos esta práctica mejorada en la ejecución en otros proyectos similares de la compañía generando eficiencias en trabajos a futuro. (*Benchmarking*)

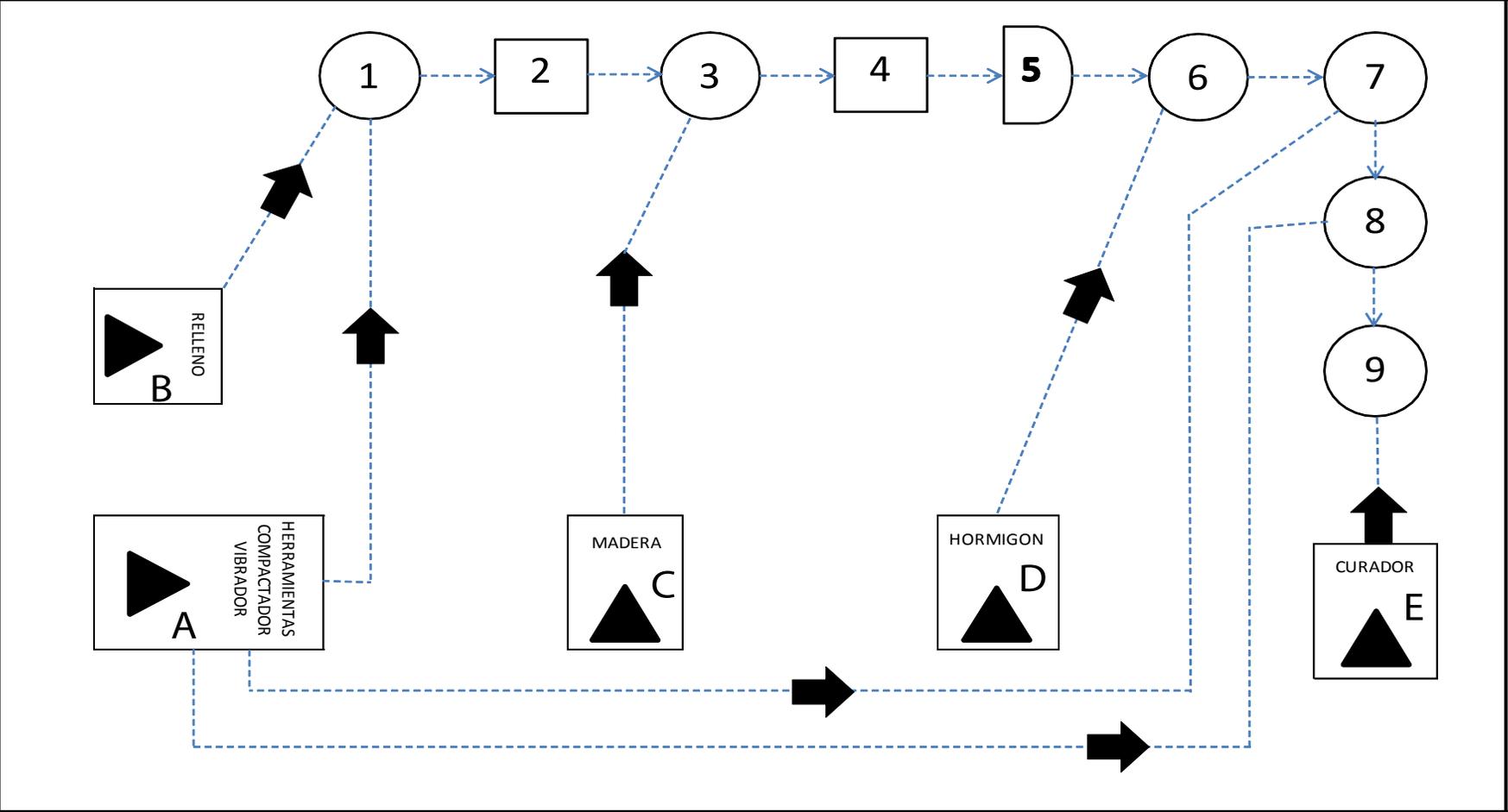
Tabla 4.2. Diagrama de Procesos para “ACERAS” aplicando Lean

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (min.)	Distancia
A - 1	Transporte de herramientas y compactador al sitio de trabajo.		8	85,5 m
B - 1	Transporte de material de relleno al lugar de trabajo.		15	42,4 m
1	Se realiza la nivelacion del terreno (excavacion, relleno y compactacion).		84	
2	Se procede a inspeccionar el nivel del terreno de manera que se encuentre en el nivel indicado.		8	
C - 3	Traslado de la madera al lugar de trabajo.		7	24 m
3	Encofrado de aceras.		35	
4	Inspeccion del encofrado de aceras.		5	
5	Espera del mixer a obra.		4	
6	Vertido de hormigon		25	
A - 7	Traslado de vibrador a obra		8	85,5 m
7	Se procede a realizar el vibrado en el hormigon		15	
A - 8	Los maestros van en buscar de la regla o maestra		8	85,5 m
8	Los albaniles le dan un buen acado a la acera.		23	
E - 9	Se va en busca del curador		5	20 m
9	Se rocia el curador en la acera		10	
TOTAL			260	342,9 m

Construction

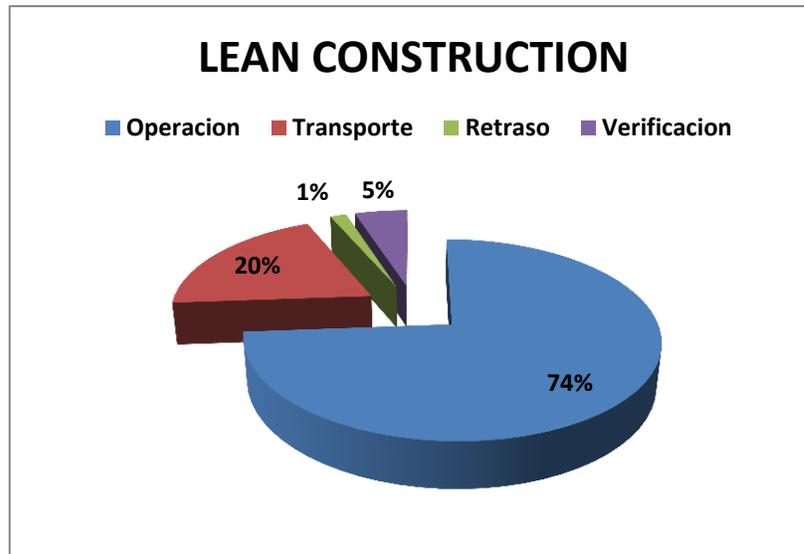
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.3. Mapa Flujograma "ACERAS" aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.4. Resumen de actividades del rubro “ACERAS” aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Realizando una comparación entre los resultados obtenidos en el sistema tradicional con los resultados aplicando Lean Construction, claramente nos podemos dar cuenta que hubo una mejoría en el rubro gracias a las recomendaciones citadas anteriormente.

Disminuyeron los tiempos de las actividades que no agregan valor (transporte y retraso), por lo tanto se ve reflejado en el gráfico 4.4. que estos porcentajes son mucho menores en comparación al sistema tradicional.

Así mismo el aumento del porcentaje de operación no solo se debe a la reducción de los tiempos de retraso que se dan en la obra, sino también al implemento de nuevas herramientas y métodos constructivos que ayudan aumentar el rendimiento de la mano de obra de los obreros siendo más eficientes en su trabajo.

Foto #1 ACERA

Una vez encofrado y compactado el terreno, los obreros se encuentran a la espera del mixer para empezar la fundición.



Foto #2 ACERA

Ya colocado el hormigón, los albañiles empiezan a esparcirlo y están verificando que se encuentre en el nivel deseado.

Foto #3 ACERA

Los albañiles están por terminar el tramo de acera. En este momento están dándole su acabado.



Foto #4 ACERA

Podemos ver el tramo de acera terminado ya con el curador.

4.2. Instalación de Tubería Pead de 315mm

Como siguiente ejemplo se mostrará todo el proceso de instalación de tubería, este rubro es diferente al anterior por lo tanto las recomendaciones para mejorar la producción serán distintas. Se aplicará los principios de Lean Construction con la finalidad de mejorar el proceso de construcción y minimizar las actividades que no agreguen valor.

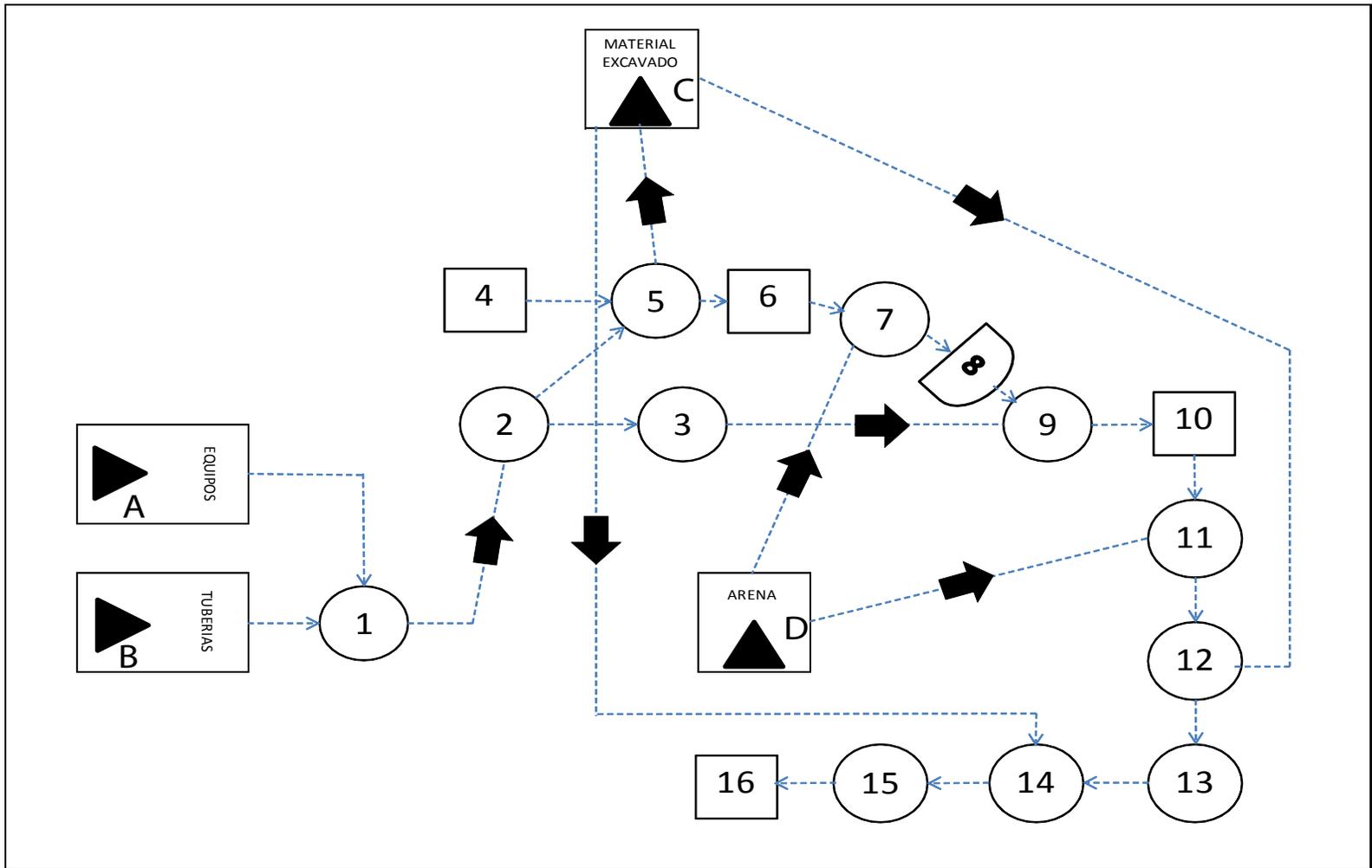
Este ejemplo consiste en la instalación de tubería de Pead de 315 (24 metros), para esto se necesitará realizar trabajos de excavación, nivelación de terreno, unión de tubería con la máquina de termofusión, relleno y compactación. Se tendrá en cuenta todos los trabajos que implican en la elaboración de este rubro de principio a fin como la transportación de materiales al sitio de trabajo.

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (min)	Distancia
A - 1	Traslado de equipos y herramientas a utilizarse al camión .		15	25 m
B - 1	Cargar las tuberías de 315 mm al camion que se dirigirá al sitio de trabajo.		8	10 m
1	Cargar los equipos, herramientas y tuberías al camión		22	
1 - 2	El camión se dirige al sitio de trabajo		24	3km 20m
2	Bajar los equipos, herramientas y tuberías del camión		11	
3	Se procede a unir las tuberías con la máquina de termofusión		30	
4	Inspección del lugar donde se va realizar la excavación		15	
5	Se procede a la excavación		115	
6	Verificar el nivel del terreno		11	
D - 7	Trasladar la arena al lugar donde se realizo la excavación		14	100 m
7	Colocar la cama de arena.		8	
8	Tiempo de espera a que finalice la excavación de 24 m		120	
9	Bajar la tubería a la zanja.		6	
10	Verificar el nivel de las tuberías		4	
D - 11	Trasladar la arena al sitio de trabajo.		14	100 m
11	Colocar un recubrimiento de arena a la tubería.		5	
12	Colocar la primera capa de material de relleno.		10	
13	Compactación del terreno		15	
14	Colocar la segunda capa de material de relleno.		10	
15	Compactación del terreno		25	
16	Verificar que el terreno se encuentre en el nivel deseado y bien compactado.		10	
TOTAL			492	3 km 255 m

Tabla 4.3. Diagrama de Procesos para “INSTALACIÓN DE TUBERÍAS”

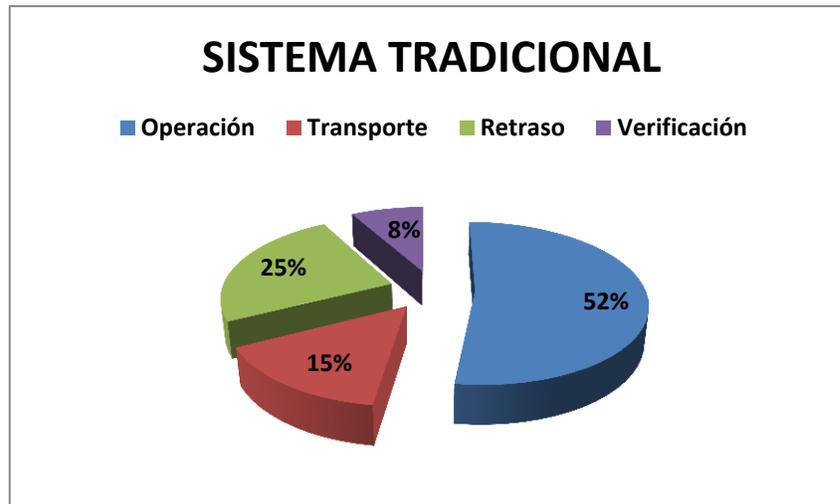
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.5. Mapa Flujograma "INSTALACIÓN DE TUBERÍAS"



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.6. Resumen de actividades del rubro “INSTALACIÓN DE TUBERÍAS”



Fuente: Elaboración Propia

En el resumen de actividades gráfico 4.6. podemos observar que son muy elevados los porcentajes de las actividades que no agregan valor. Tenemos que el 15% del tiempo es debido al transporte de materiales, 25% de retraso por la excavación, el 8% de verificación o inspección y tan solo el 52% del tiempo está destinado a la operación del rubro “Instalación de tuberías”.

Para mejorar este rubro aplicando los conceptos vertidos sobre Lean Construction podemos dar varias recomendaciones como:

- La cuadrilla de excavación empezará sus trabajos un día antes de la instalación de tubería con el fin de eliminar tiempos de espera. *(Reducir tiempo de ciclo y simplificando número de pasos y piezas)*
- Determinar la ubicación óptima de los materiales y equipos con el fin de que no hayan cruces en el flujo de los materiales. *(Reducir el tiempo de ciclo)*

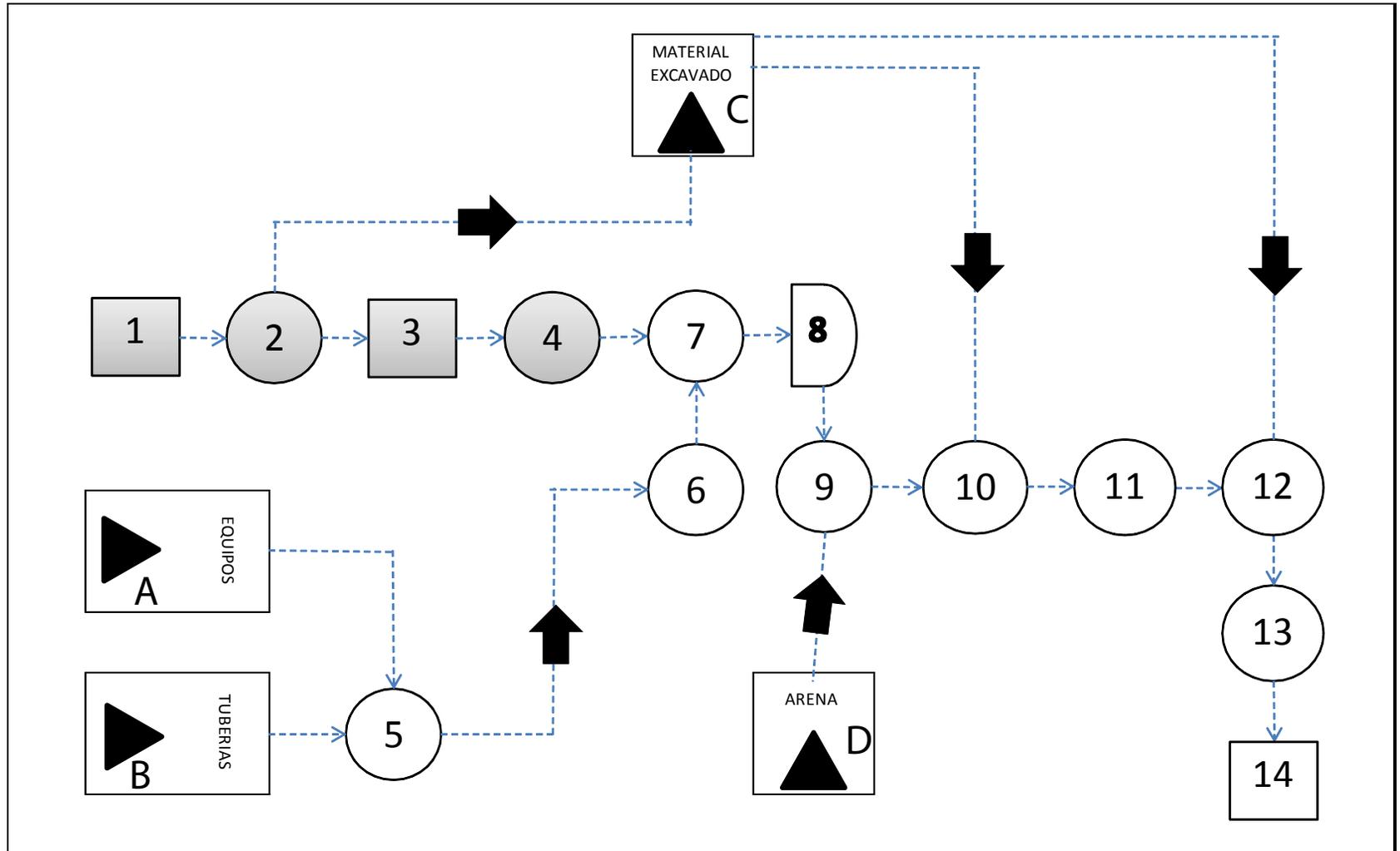
- Realizar actividades en forma paralela, como hacer la termofusión de tubería dentro de la zanja de manera que se pueda ir compactando y rellenando tramos anteriores. (*Reduciendo tiempos de ciclos y mejorar continuamente los procesos de construcción*)
- Haciendo benchmarking con el análisis que se hace en este rubro, incorporaremos esta práctica mejorada en la ejecución en otros proyectos similares de la compañía generando eficiencias en trabajos a futuro. (*Benchmarking*)
- Llevar un buen control de obra diario, supervisando de la mejor manera todos los procesos que conlleven a una terminación satisfactoria del producto. (*Incrementar la transparencia del proceso*)

**Tabla 4.4. Diagrama de Procesos para “INSTALACIÓN DE TUBERÍAS”
aplicando Lean Construction**

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (min.)	Distancia
1, 2, 3 y 4	Estas actividades fueron realizadas el día anterior.	●		
A - 5	Traslado de equipos y herramientas a utilizarse al camión .	➔	15	25 m
B - 5	Cargar las tuberías de 315 mm al camión que se dirigirá al sitio de trabajo.	➔	8	10 m
5 - 6	El camión se dirige al sitio de trabajo	➔	24	3km 20m
6	Bajar los equipos, herramientas y tuberías del camión	●	11	
7	Bajar la tubería a la zanja.	●	6	
8	Tiempo de espera a que las tuberías estén unidas.	◐	30	
D - 9	Trasladar la arena al lugar donde se realizó la excavación	➔	14	100 m
9	Colocar un recubrimiento de arena a la tubería.	●	5	
10	Colocar la primera capa de material de relleno.	●	10	
11	Compactación del terreno	●	15	
12	Colocar la segunda capa de material de relleno.	●	10	
13	Compactación del terreno	●	25	
14	Verificar que el terreno se encuentre en el nivel deseado y bien compactado.	■	10	
TOTAL			183	3 km 255 m

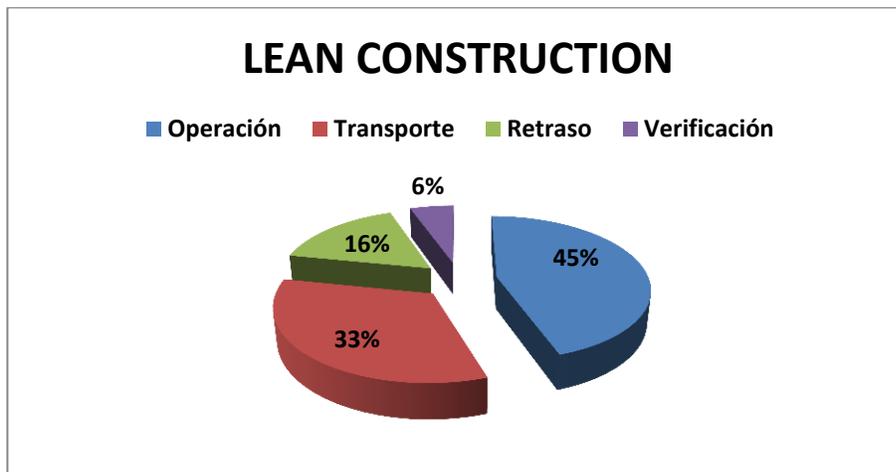
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.7. Mapa Flujoograma "INSTALACIÓN DE TUBERÍAS" aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.8. Resumen de actividades del rubro “INSTALACIÓN DE TUBERÍAS” aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Analizando bien el rubro de “Instalación de tubería” nos podemos dar cuenta que a través de las recomendaciones dadas y aplicando filosofía Lean Construction hubo una mejora en el tiempo de ejecución de la actividad en la Tabla 4.4. Comenzando un día antes los trabajos de excavación nos evitamos un retraso en la obra de aproximadamente 2 horas que puede ser aprovechado en otras actividades por lo tanto al no contar con este tiempo mi porcentaje de operación disminuye, como podemos observar en el gráfico 4.8.

Aunque se disminuyó el tiempo de operación del rubro al cambiar el método constructivo, existen actividades que no podrán modificarse en su tiempo de ejecución. Caso visible en nuestro ejemplo es el transporte que aunque el tiempo es el mismo acapara mayor porcentaje de realización en nuestro rubro.

Por lo general la unión de tuberías se las realiza fuera de la zanja manera que sea más cómodo el trabajo y la colocación de las tuberías máquina de termofusión, pero al realizar la fusión dentro de la zanja podemos avanzar con el relleno y la compactación del tramo anterior

fin de ganar tiempo y evitar posibles retrasos en obra. En este caso el único único material que se logro reubicar fue la arena, con el fin de disminuir el el tiempo de transporte de la misma.

Foto #1 Instalación de tubería

Comienzan con los trabajos de excavación en la obra.



Foto #2 Instalación de tubería

Proceden a la colocación de la tubería en la zanja.

Foto #3 Instalación de tubería

Uso de la máquina de termofusión para la unión de las tuberías de PEAD.

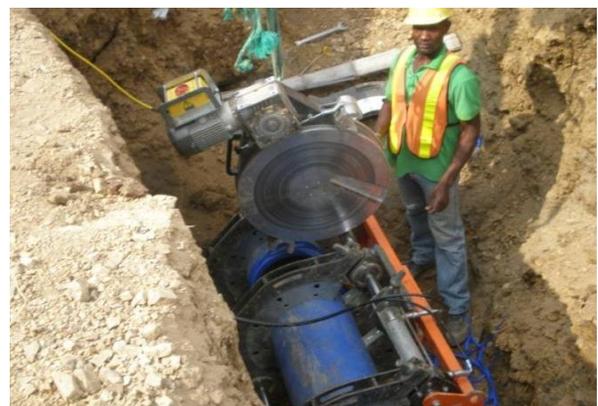




Foto #4 Instalación de tubería

Colocación del recubrimiento de arena en la tubería.



Foto #5 Instalación de tubería

Se realiza la debida compactación del terreno.

4.3. Enlucido de paredes

En este ejemplo se mostrará el proceso tradicional para realizar el enlucido en una pared de 15 metros cuadrados (espesor de enlucido 1,5 cm), en el cual nos daremos cuenta que aplicando los principios Lean Construction cambiando la metodología de trabajo por un proceso más moderno, podremos ahorrar tiempo en la ejecución de dicho rubro.

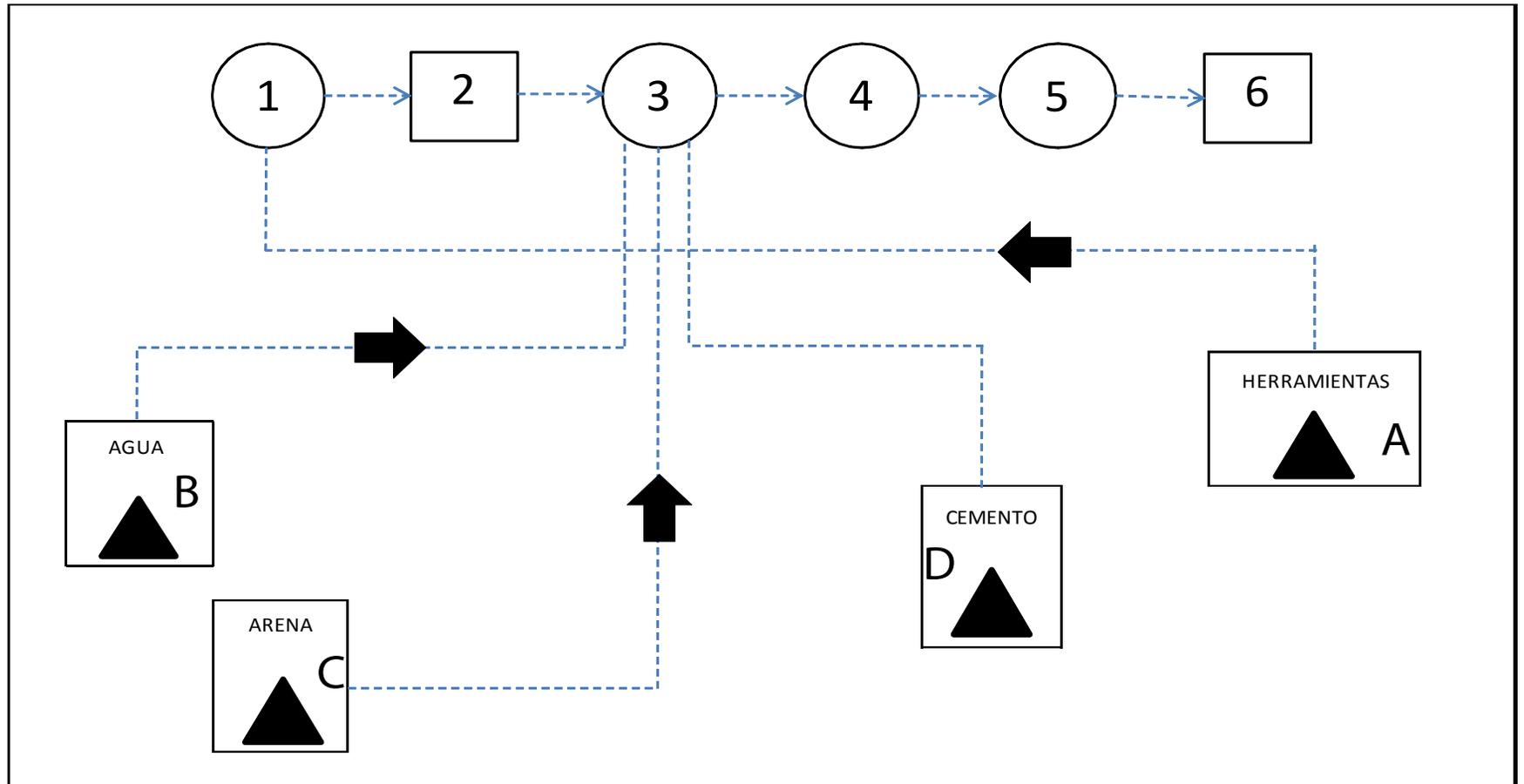
Para la elaboración de este rubro se necesitará de un albañil, un oficial y un maestro de obra y como materiales utilizaremos 3,7 sacos de cemento, agua y arena. Se tendrá en cuenta todos los trabajos que implican en la elaboración de este rubro de principio a fin como la transportación de materiales al sitio de trabajo.

Tabla 4.5. Diagrama de Procesos para “ENLUCIDO DE PAREDES”

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (min)	Distancia
A - 1	Traslado herramientas a utilizarse al sitio de trabajo (herramienta menor, regla de aluminio , tiras de madera, piola, etc).		14	30 m
1	Nivelar o maestrear la pared de manera que no quede sinuosidades después del enlucido.		65	
2	Verificar la cantidad de cemento a usarse producto de los posibles desniveles existentes.		15	
B - 3	Traslado de sacos de cemento al sitio		18	110 m
C - 3	Traslado de agua al lugar de trabajo		12	76 m
D - 3	Traslado de arena al lugar de trabajo		15	85 m
3	Preparación del mortero		120	
4	Empieza el proceso de enlucido		300	
5	Damos el acabado correspondiente		50	
6	Verificamos que tenga un excelente acabado y que el enlucido no presente fisuras.		10	
TOTAL			619	301 m

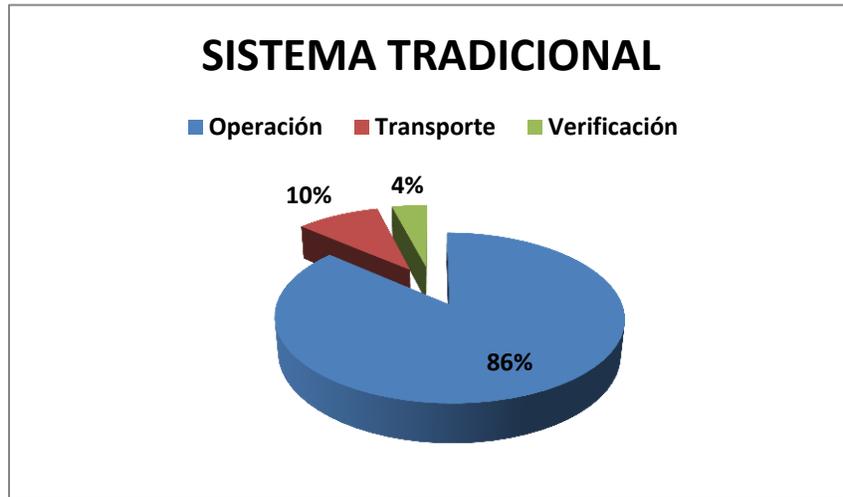
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.9. Mapa Flujograma "ENLUCIDO DE PAREDES"



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.10. Resumen de actividades del rubro “ENLUCIDO DE PAREDES”



Fuente: Elaboración Propia

En el resumen de actividades gráfico 4.10. podemos observar que los porcentajes de las actividades que no agregan valor son bajos (14%), mientras que lo correspondiente a la operación de este rubro ocupa el 86% del tiempo. Por lo tanto para disminuir el tiempo de ejecución del rubro, debemos enfocarnos en el tiempo de operación cambiando el método de enlucido que se aplica. Ya que se utiliza un sistema tradicional y económico para ciertos casos, como por ejemplo en construcción de casas.

Existen obras más grandes como edificaciones en las que se necesitará enlucir mas áreas por lo tanto sería muy conveniente buscar otro método de enlucido en el cual podamos ahorrar tiempo y dinero.

Para mejorar este rubro aplicando los conceptos vertidos sobre Lean Construction podemos dar varias recomendaciones como:

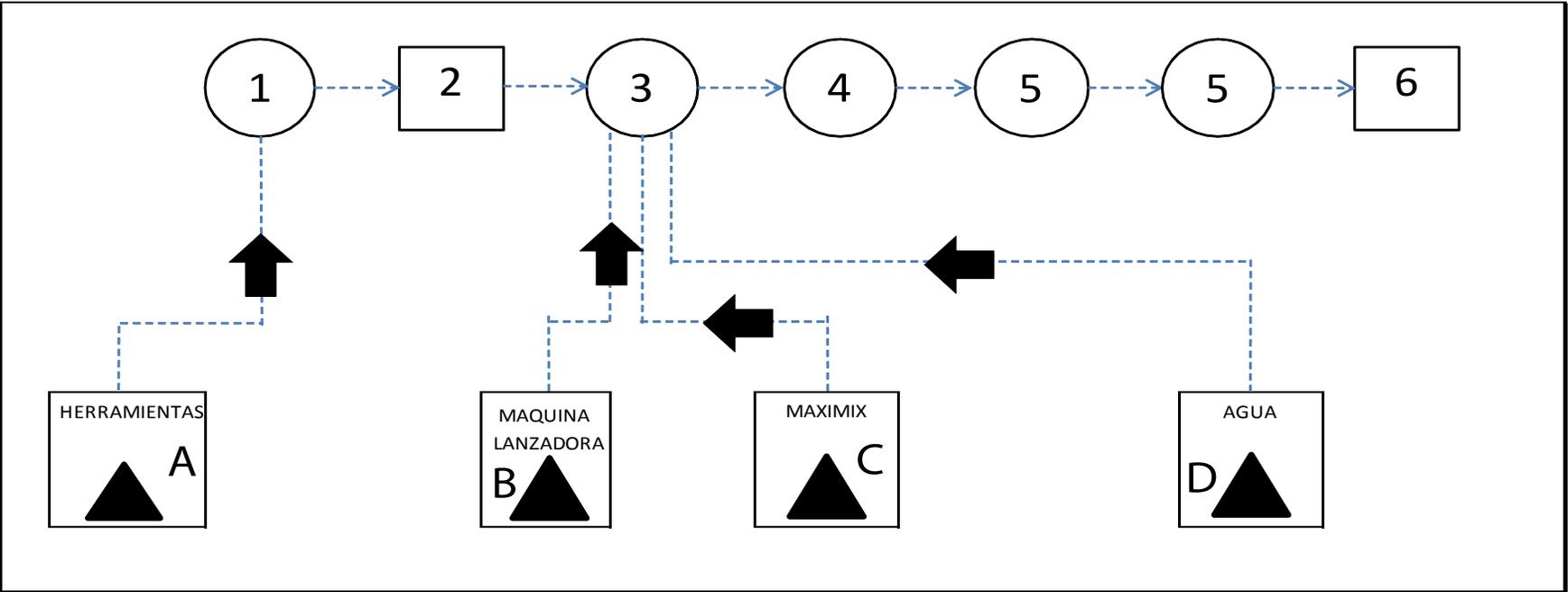
- Determinar la ubicación óptima de los materiales y equipos con el fin de que no hayan cruces en el flujo de los materiales. (*Reducir el tiempo de ciclo*)
- Cambiar el método de enlucido por uno más moderno usando EnlumaX Proyectable y una máquina lanzadora de mortero. (*Mejorar continuamente los procesos de construcción*)
- Haciendo benchmarking con el análisis que se hace en este rubro, incorporaremos esta práctica mejorada en la ejecución en otros proyectos similares de la compañía generando eficiencias en trabajos a futuro. (*Benchmarking*)

**Tabla 4.6. Diagrama de Procesos para “ENLUCIDO DE PAREDES”
aplicando Lean Construction**

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (min)	Distancia
A - 1	Traslado herramientas a utilizarse al sitio de trabajo		5	45 m
1	Nivelar o maestrear la pared de manera que no quede sinuosidades después del enlucido.		65	
2	Verificar la cantidad de enlumaX a usarse producto de los posibles desniveles existentes.		15	
B - 3	Traslado de maquina lanzadora de mortero al sitio		4	23 m
C - 3	Traslado de sacos de enlumaX al lugar de trabajo		33	35 m
D - 3	Traslado de agua al lugar de trabajo		15	60 m
3	Colocacion del enlumaX y agua en la manquina lanzadora.		16	
4	Comienza el proceso de enlucido		123	
5	Damos el acabado correspondiente		65	
6	Verificamos que tenga un excelente acabado y que el enlucido no presente fisuras.		10	
TOTAL			351	163 m

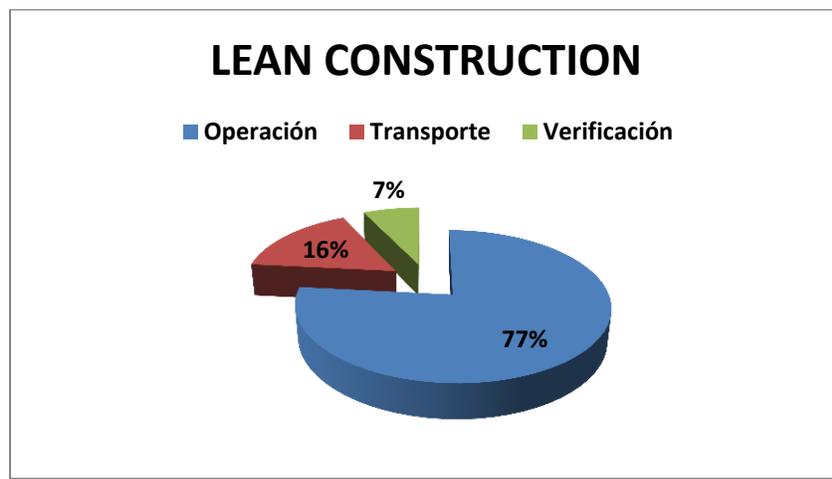
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.11. Mapa Flujograma “ENLUCIDO DE PAREDES” aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.12. Resumen de actividades del rubro “ENLUCIDO DE PAREDES” aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Analizando el rubro de “Enlucido de Paredes” claramente podemos notar una mejoría en el tiempo de operación aplicando los conceptos de Lean Construction y las recomendaciones dadas con anterioridad. En este caso se enfocó prácticamente en reducir el tiempo de operación, ya que los porcentajes de actividades que no agregan valor eran bajos.

Aunque en este caso estamos observando el gráfico 4.12 con un aumento en los porcentajes de transporte y retrasos que es debido a la disminución del porcentaje de operación del rubro, cabe recalcar que se ha logrado reducir el tiempo de ejecución de 619 a 351 minutos (ahorrando casi 4 horas de trabajo) cambiando el método de enlucido tradicional por uno más moderno, como es el uso de Enlumar Projectable con una máquina lanzadora de mortero.

Aunque el sistema tradicional usando cemento, arena y agua puede que sea más económico que el uso del Enlumar Projectable, en obras más grandes como en edificaciones donde tengamos bastante área para enlucir el uso de una máquina lanzadora de mortero además de facilitar el trabajo, nos ahorraría tiempo y dinero disminuyendo el gasto en la mano de obra.

Foto #1 Enlucido de paredes

Uso de la máquina lanzadora para enlucir las paredes.



Foto #2 Enlucido de paredes

Uso de la regla de aluminio para dar el respectivo acabado y uso de máquina lanzadora de mortero.

Foto #3 Enlucido de paredes

Máquina lanzadora de mortero.



Foto #4 Enlucido de paredes

Colocación de Enlumas Proyectable en la máquina.

4.4. Losas

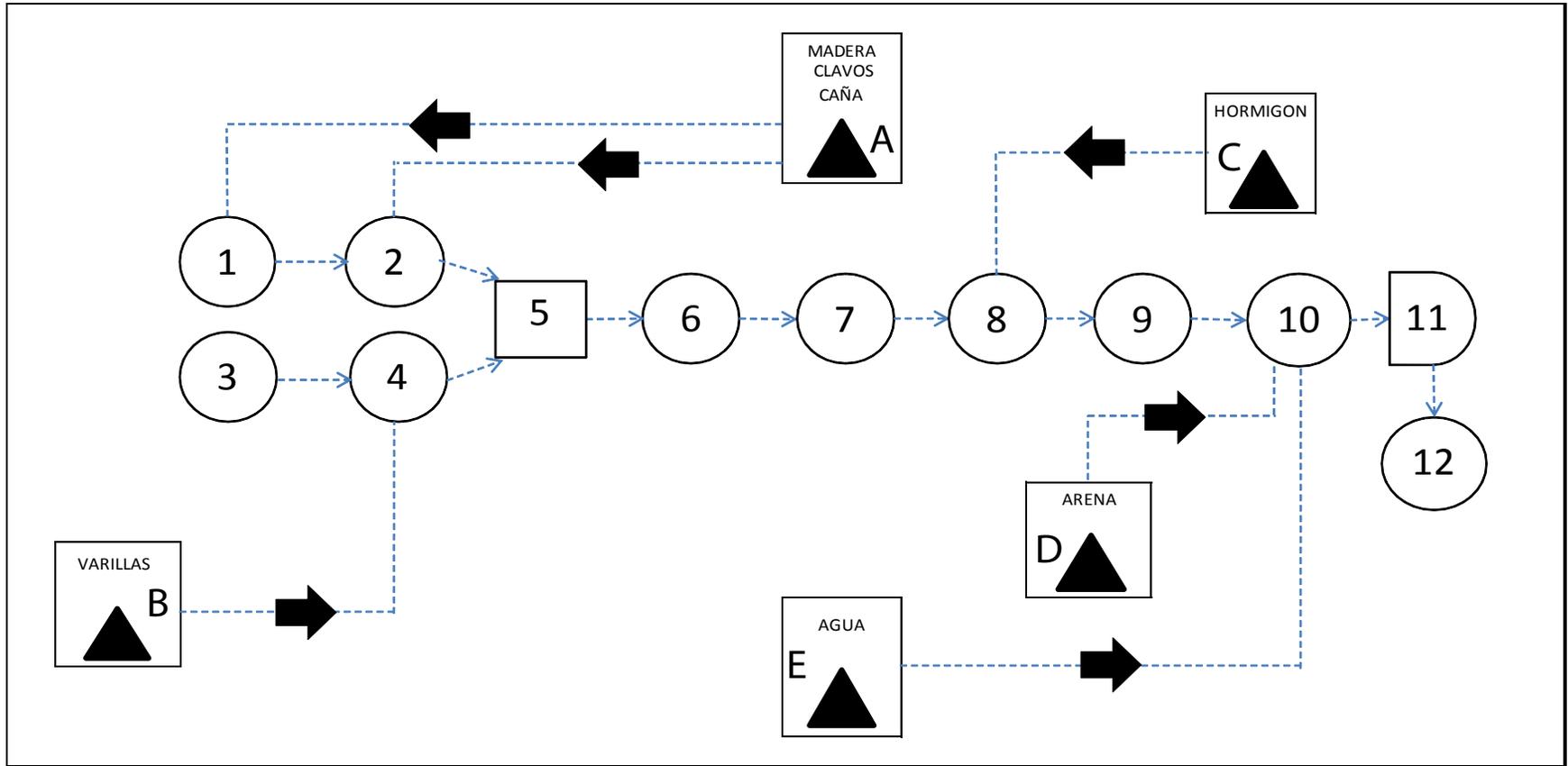
Como último ejemplo se mostrará el proceso de construcción de una losa de aproximadamente 150 metros cuadrados con 20 centímetros de alto. Se aplicará los principios Lean Construction de manera que podamos eliminar las actividades que no agreguen valor y disminuir tiempo de ejecución del rubro, cambiando la metodología de trabajo a través del uso de materiales prefabricados.

Tabla 4.7. Diagrama de Procesos para “LOSAS”

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (días)	Distancia
A - 1	Trasporte de herramientas y materiales (madera, clavos, etc) al sitio de trabajo.		0,09	20 m
1	Emboquillamiento de todas las columnas a niveles inferiores de viga.		1	
A - 2	Traslado de caña al lugar donde se va a encofrar.		0,06	55 m
2	Encofrado de la losa con madera		5	110 m
3	Configuración del acero de refuerzo		2	
B - 4	Traslado del acero al lugar de trabajo		0,09	85 m
4	Comienza el armado del acero de refuerzo de la losa		5	
5	Verificación de la cota de fundición		0,25	
6	Emboquillado de la losa		1	
7	Se realizan las instalaciones sanitarias, eléctricas, telefonía, etc.		2	
C - 8	Transporte de hormigón al lugar de fundición		0,03	20 m
8	Se procede a la fundición de la losa con bomba		0,375	
9	A continuación de procede a realizar el acabado de la superficie de la losa		0,25	
D - 10	Traslado de la arena a donde esta ubicada la losa		0,03	35 m
E - 10	Traslado del agua a donde esta ubicada la losa		0,02	48 m
10	Colocación de arena y agua para el curado		0,25	
11	Tiempo de espera a que el hormigon gane la resistencia adecuada para realizar el desencofrado.		21	
11	Se procede a desencofrar la losa despues de los 21 días		0,5	
TOTAL			38,945	373 m

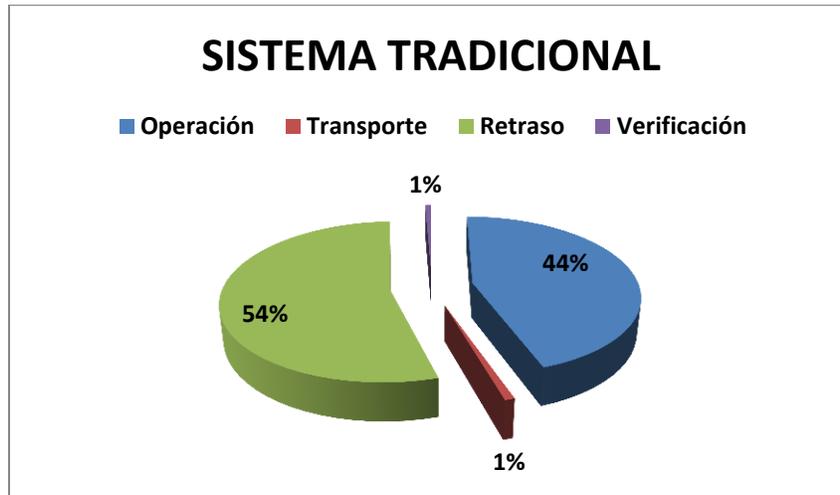
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.13. Mapa Flujograma "LOSAS"



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.14. Resumen de actividades del rubro “LOSAS”



Fuente: Elaboración Propia

En el resumen de actividades gráfico 4.14. claramente podemos observar que la mayor parte del tiempo está destinado a la operación (44%) y al retraso (54%) que se debe a la espera de poder realizar el desencofrado de la losa.

Eliminar el retraso es prácticamente imposible ya que las normas dicen que debemos esperar 21 días para que el hormigón gane el 80% de su resistencia final, y así poder realizarse el desencofrado de la losa.

No podemos eliminar el retraso pero sí podemos disminuir el tiempo de espera y el tiempo de ejecución del rubro aplicando los conceptos de Lean Construction para lo cual tenemos las siguientes recomendaciones:

- Determinar la ubicación óptima de los materiales y equipos con el fin de que no hayan cruces en el flujo de los materiales. (*Reducir el tiempo de ciclo*)
- Cambiar el tipo de hormigón por uno de mayor resistencia inicial reduciendo la espera de 21 días a 10 días para realizar el desencofrado. (*Disminuir tiempo de actividades que no agregan valor, incremento en la*

flexibilidad del output y reducir el tiempo en actividades que no agregan valor)

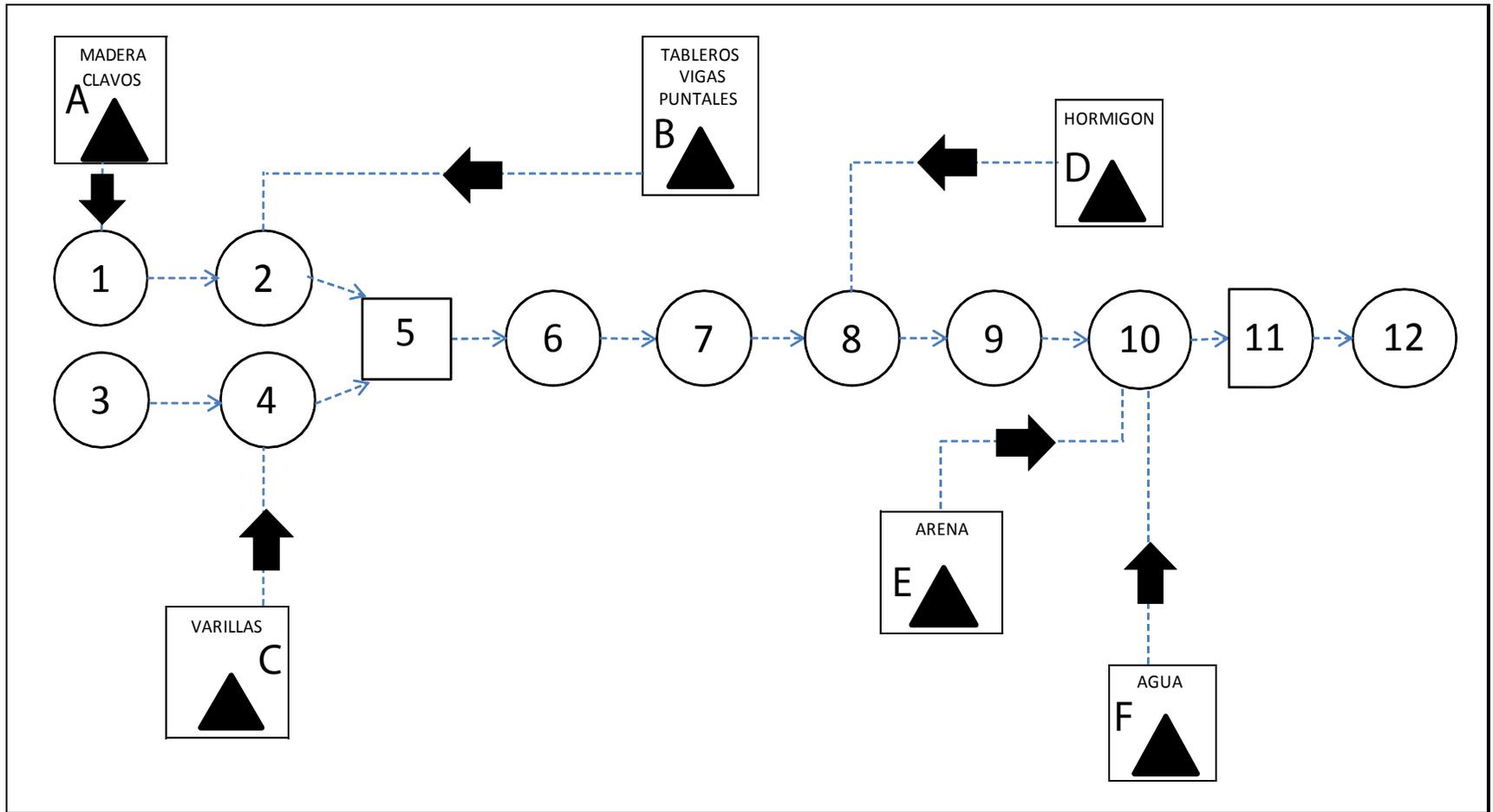
- Usar para el encofrado tableros, vigas y puntales metálicos. (*Mejorar continuamente los procesos constructivos*)
- Haciendo benchmarking con el análisis que se hace en este rubro, incorporaremos esta práctica mejorada en la ejecución en otros proyectos similares de la compañía generando eficiencias en trabajos a futuro. (*Benchmarking*)

Tabla 4.8. Diagrama de Procesos para “LOSAS” aplicando Lean Construction

PROCEDIMIENTO	ACTIVIDAD	SIMBOLO	Tiempo (días)	Distancia
A - 1	Trasporte de herramientas y materiales (madera, clavos, etc) al sitio de trabajo.		0,09	20 m
1	Emboquillamiento de todas las columnas a niveles inferiores de viga.		1	
B - 2	Traslado de tableros, vigas y puntales metálicos donde se va a trabajar.		0,08	50 m
2	Encofrado de la losa con los materiales metalicos		3	
3	Configuración del acero de refuerzo		2	
C - 4	Traslado del acero al lugar de trabajo		0,09	44 m
4	Comienza el armado del acero de refuerzo de la losa		5	
5	Verificación de la cota de fundición		0,25	
6	Emboquillado de la losa		1	
7	Se realizan las instalaciones sanitarias, eléctricas, telefonía, etc.		2	
D - 8	Transporte de hormigón al lugar de fundición		0,03	20 m
8	Se procede a la fundición de la losa con bomba		0,375	
9	A continuación de procede a realizar el acabado de la superficie de la losa		0,25	
E - 10	Traslado de la arena a donde esta ubicada la losa		0,03	16 m
F - 10	Traslado del agua a donde esta ubicada la losa		0,02	28 m
10	Colocación de arena y agua para el curado		0,25	
11	Tiempo de espera a que el hormigon gane la resistencia adecuada para realizar el desencofrado.		10	
12	Se procede a desencofrar la losa despues de los 21 días		0,5	
TOTAL			25,965	178 m

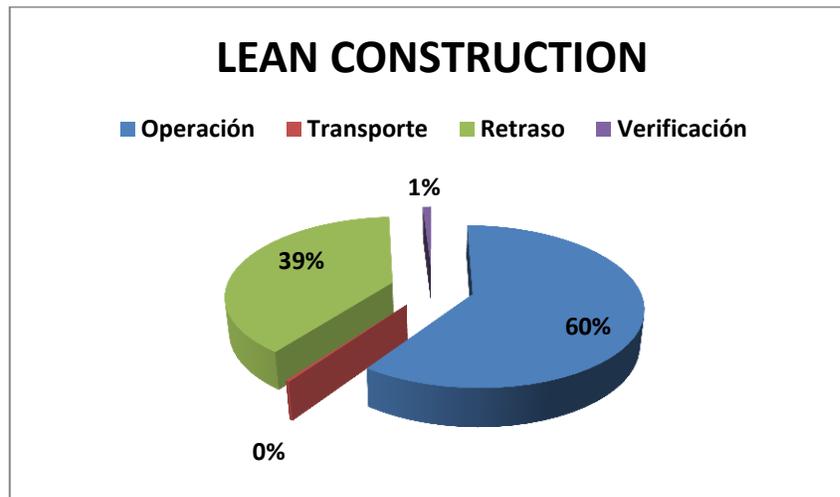
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.15. Mapa Flujograma "LOSAS" aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4.16. Resumen de actividades del rubro “LOSAS” aplicando Lean Construction



Fuente: Elaboración Propia

Realizando una comparación entre los resultados obtenidos en el sistema tradicional con los resultados aplicando Lean Construction, podemos notar que hubo una mejora en la ejecución del tiempo del rubro gracias a las recomendaciones citadas anteriormente.

Disminuyó el tiempo de las actividades que no agregan valor, en este caso fue el retraso por el desencofrado de la losa y se lo puede ver reflejado en el gráfico 4.16 que el porcentaje de retraso bajó del 54% al 34%. Todo esto se debe al uso de un hormigón de alta resistencia inicial en la losa.

Así mismo el aumento del porcentaje de operación no solo se debe a la reducción de los tiempos de retraso que se dió en la obra, sino también al implemento de nuevas herramientas y métodos constructivos como es el uso de tableros, vigas y puntales metálicos que ayudan aumentar el rendimiento de la mano de obra de los obreros siendo más eficientes en su trabajo y así poder disminuir el tiempo de ejecución del rubro.

Foto #1 Losas

Trabajos de emboquillamiento de columnas.



Foto #2 Losas

Uso de tableros, vigas y puntales metálicos.



Foto #3 Losas

Se preparan para la fundición de la losa.

Foto #4 Losas

Proceden a darle el acabado correspondiente a la losa.



5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

En nuestro medio, la Gerencia de Proyectos en la construcción de obras civiles ha sido un tema que no se ha tratado de forma profunda, ya que siguen utilizando metodologías que han quedado en el pasado y no han logrado acabar con los problemas crónicos que se encuentran en el área de la construcción.

Este trabajo de grado tuvo como objetivo trasladar la filosofía Lean Construction a nuestro país para lo cual hemos demostrado a través de varios ejemplos que podemos alcanzar una reducción del tiempo de ejecución de distintas actividades, no solo enfocándonos en las actividades que no agregan valor (retraso, transporte y verificación) sino también cambiando los métodos constructivos por otros más modernos.

Logramos entender con los distintos casos que la aplicación del Lean Construction mejora la producción y aumenta el rendimiento en obra, optimizando costos y tiempos del proyecto. Por lo tanto la implementación de esta filosofía en el país es factible debido al reconocimiento de la importancia de la Planificación y Control en los Proyectos de Ingeniería.

5.2. Recomendaciones

Como observamos en el capítulo 4 después del análisis en cada rubro, pudimos sugerir varias recomendaciones que nos ayuda a mejorar la producción y aumentar el rendimiento en obra, teniendo como objetivo principal disminuir el tiempo de ejecución del proyecto.

El principio fundamental del Lean Construction es eliminar las actividades que no agregan valor por lo tanto hay que enfocarnos en hacer una excelente planificación de manera que no se produzca retrasos en obra. Así como también debemos determinar la ubicación óptima de los materiales y equipos, con el fin de no desperdiciar tiempo en el traslado de los mismos de un lugar a otro.

Mejorar continuamente los procesos constructivos con ayuda de herramientas que faciliten el trabajo, el uso de encofrados prefabricados o cambiando el método de construcción por otros más modernos que hace que disminuya el tiempo en la elaboración de cualquier trabajo.

Todas estas recomendaciones debemos complementarlas con el buen control diario, supervisando de la mejor manera para que todos los procesos conlleven a una terminación satisfactoria del producto. Y de esta forma incorporar esta práctica ya mejorada en la ejecución de otros proyectos similares de la compañía generando eficiencias en trabajos a futuro.

6. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- <http://vanguardia-is.blogspot.com/2012/06/metodos-de-produccion.html>
- Pau Puigpelat Barrado (2012), Tesina: Desarrollo de una Herramienta para la Implementación de Lean Construction, Universidad Politécnica de Catalunya, España
- Trabajo: Lean Construction: Implicaciones en el uso de una nueva filosofía, con miras a una mejor administración de proyectos de Ingeniería Civil en República Dominicana. http://www.laccei.org/LACCEI2011-Medellin/StudentPapers/CM008_Despradel_SP.pdf
- Murillo Rountree Gabriel, Administración de Empresas Constructoras, Imprenta Offset Graba, Guayaquil – Ecuador, 1989, 1ra ed.
- Instituto de la Construcción y Gerencia, Tecnología en la Construcción, Fondo Editorial ICG, Lima – Perú, 2002, 1ra ed.
- Botero Luis & Álvarez Martha, 2003, Identificación de Pérdidas en el Proceso Productivo de la Construcción, Revista Universidad EAFIT No. 130 <http://bdigital.eafit.edu.co/ARTICULO/HRU0380000130200305/13005.pdf>
- <http://innovadoresdelmarketing.blogspot.com/2009/11/receta-para-curar-la-miopia-en-el.html>
- Folleto Serie Construcción Civil, Lean Construction; Directrices y Herramientas para el Control de Perdidas en la Construcción Civil, edición Sebrae, Brazil.
- Ficha Técnica Intaco: http://www.intaco.com/sites/default/files/producto/guia-tecnica/ft_enlumar_proyectable.pdf
- Koskela Lauri, 1992, Application of the New Production Philosophy to Construction, Center for Integrated Facility Engineering – Stanford University.

Anexos 1: Especificaciones Técnicas Del Enlumar Proyectable

CONSTRUCCIÓN Y REVESTIMIENTO DE PAREDES

Enlumar® Proyectable

Mortero para enlucir con máquina proyectora

Descripción

Enlumar Proyectable es un mortero cementico de gran trabajabilidad, modificado con polímeros y aditivos de alta calidad, especialmente formulado para enlucir mediante lanzadora de mortero o máquina proyectora en capas desde 5 mm hasta 20 mm de espesor sobre paneles de poliestireno expandido con malla de refuerzo y concreto en interiores y exteriores.

Sobre superficies de

- Paneles de polietileno expandido con malla de refuerzo.
- Concreto.
- Mampostería

Ventajas

- Máxima rapidez de instalación.
- Calidad constante, mezcla predosificada.
- Modificado con aditivos especiales que reducen el fisuramiento y aumentan la resistencia a la flexión y tensión.
- Excelente adherencia, no descuelga.
- Modificado con aditivos fluidificantes que aumentan la plasticidad del mortero.
- Reduce el desperdicio y se logra mayor limpieza en el trabajo.

- Aumenta la productividad en obra, al aumentar la velocidad de instalación.
- Facilita la estimación de costos.
- Mayor bienestar al requerir menos esfuerzo físico.
- Excelente combinación entre resistencia, trabajabilidad y economía.
- Duradero, contiene arena de alta calidad, limpia y libre de sales de cloruro.

Modo de empleo

Preparación de la superficie:

Superficies de poliestireno expandido con malla de refuerzo: La superficie debe estar limpia, bien adherida y libre de polvo, aceite, grasa, cera, pintura y cualquier otro contaminante. En instalaciones exteriores, evite que la temperatura de los paneles supere los 27 °C. Prepare suficiente área de acuerdo con la capacidad de la máquina lanzadora. Asegúrese de que los paneles estén perfectamente aplomados y anclados en su sitio y que todas las juntas estén bien reforzadas.

Superficies de concreto o mampostería: La superficie debe estar limpia, bien adherida y libre de polvo, aceite, grasa, cera, pintura, eflorescencia y cualquier otro contaminante. Si la superficie supera los 27 °C, humedézcala con agua para bajar la temperatura. Humedezca la superficie antes de colocar el enlucido. Prepare suficiente área de acuerdo con la capacidad de la máquina lanzadora, con sus debidas maestras o guías. Si la instalación llevará malla para anclaje mecánico, ésta debe estar al menos a 3,2 mm de distancia de la superficie.

Mezclado:

Ajuste el agua limpia en la máquina proyectora para garantizar un mortero plástico y homogéneo (ver cuadro de dosificación en datos técnicos).

Colocación:**Sobre superficies de polietileno expandido con malla de refuerzo:**

Coloque la boquilla lanzadora de mortero perpendicularmente a la superficie a enlucir, a una distancia de 10 cm a 15 cm. Proyecte sobre los paneles con un movimiento horizontal en forma ascendente hasta cubrir el espacio entre el polietileno y la malla. Espere a que la primera capa tenga la suficiente dureza para soportar el peso de la segunda. Coloque las guías o maestras en el espesor requerido y proyecte entre maestras. Nivele con regla trapezoidal o con codal de aluminio mientras el mortero esté trabajable. Una vez que esté ligeramente seco al tacto, del acabado final con paleta de madera, llana de goma o llana metálica. El secado puede variar de acuerdo con las condiciones climáticas de la obra. Proteja el Enlumar Proyectable de la lluvia durante las primeras 8 horas.

Sobre concreto o mampostería: Previamente instaladas las guías o maestras, coloque la boquilla lanzadora de mortero perpendicularmente a la superficie a enlucir, a una distancia de 10 cm a 15 cm. Proyecte entre maestras con un movimiento horizontal en forma ascendente hasta lograr un espesor de 5 mm a 20 mm. Si la instalación lleva malla para anclaje mecánico, cubra primero con mortero el espacio entre la superficie y la malla; espere a que obtenga suficiente dureza antes de colocar la siguiente capa. Nivele con regla trapezoidal o con codal de aluminio mientras el mortero esté trabajable. Una vez que esté ligeramente seco al tacto, del acabado final con paleta de madera, llana de goma o llana metálica. El secado puede variar de acuerdo con las

condiciones climáticas de la obra. Proteja el Enlumas Proyectable de la lluvia durante las primeras 8 horas.

Limpieza:

Lave las herramientas y el equipo con agua y jabón, luego de su uso.

Curado:

Se recomienda empezar el curado con agua a partir del día siguiente después de la colocación y extenderlo por 72 horas.

Presentación Datos técnicos

Ecuador / Perú:

- Presentación Saco de 40 kg
- Color Gris

Rendimiento

Espesor del enlucido (mm)	Rendimiento en m2 por saco
5	4,0 – 4,4
10	2,0 – 2,2
15	1,3 – 1,5
20	1,0 – 1,1

Un saco de 40 kg de Enlumas Proyectable produce aproximadamente 20 litros de mortero. Estos rendimientos dependen de las condiciones de la superficie. Realice pruebas previas para estimar el rendimiento real en la obra.

Dosificación de agua	Ecuador / Perú	
	Clima Frío	Clima Caliente
Cantidad (L)	7,0 a 7,5	7,0 a 7,5
Presentación (kg)	40	40

Información		Ecuador / Perú	
		Clima Frío	Clima Caliente
Flujo ASTM C 1437	Porcentaje	65	65
Contenido aire ASTM C 231	Porcentaje	12	12
Fragua ASTM C 266	Inicial (min)	140	150
	Final (min)	270	260
Resistencia compresión ASTM C 109	7 días (kg/cm ²)	120	88
	28 días (kg/cm ²)	138	132
Resistencia flexión ASTM C 580	7 días (kg/cm ²)	23	16
	28 días (kg/cm ²)	28	19
Resistencia tensión ASTM C 307	7 días (kg/cm ²)	14	12
	28 días (kg/cm ²)	18	16

Datos Técnicos:

Recomendaciones

El exceso de agua en la mezcla disminuye las propiedades mecánicas y la calidad del mortero. Procure que la superficie y el producto estén frescos en el momento de la aplicación. No utilice agua para mezclar con temperatura mayor de 25 °C. Evite dejar el mortero más de 20 minutos en la máquina proyectora o en la manguera. En caso necesario, se puede aplicar el Enlumas Proyectable manualmente. En espesores mayores a los 20 mm, aplique el Enlumas Proyectable en dos o más capas. Espere mínimo 24 horas entre capas. Deje la primera

capa rugosa y humidézcala antes de colocar la segunda. Sobre superficies muy lisas, imprime con Maxicril y aplique el mortero mientras el imprimante esté pegajoso. No utilice Plasterbond ni otros adhesivos reemulsificables antes de la aplicación del Enlumas Proyectable. En superficies muy absorbentes, procure llevar al punto de saturación superficie seca. En condiciones climáticas adversas, utilice cortinas o pantallas para evitar los rayos directos del sol y fuertes corrientes de viento. Evite dar acabado al enlucido si se encuentra muy fresco, ya que esto puede generar fisuras o desprendimientos. El tiempo de almacenamiento es de 6 meses en su empaque original cerrado, en lugar fresco y bajo techo.

Precauciones

Puede producir irritación o quemaduras en ojos, piel y vías respiratorias. Use equipo de protección personal adecuado. Ventile el área de uso.

Primeros auxilios:

Contacto con ojos, lave con agua por 15 minutos. Ingestión, tome agua. Irritación de piel, problemas respiratorios o en caso de intoxicación, lleve al paciente al médico y aporte el empaque de este producto o la Hoja de Seguridad.

Garantía

INTACO garantiza que este producto está libre de defectos y que se desempeñará de la manera descrita en la hoja técnica, siempre y cuando se sigan las instrucciones de aplicación y recomendaciones del fabricante. INTACO repondrá el valor de compra de cualquier producto que se pruebe defectuoso. INTACO no se responsabiliza por daños indirectos, consecuentes o resultantes del mal uso del producto, negligencia o incumplimiento de las condiciones de la garantía. Los datos de dosificación y rendimientos son susceptibles de variación

debido a las condiciones particulares de cada construcción. Es responsabilidad del cliente comprobarlos y definirlos en cada obra. INTACO se reserva el derecho de modificar la actual ficha técnica sin previo aviso.

Última versión CT: 2012-06-12⁸

⁸ Información adquirida en Página Web Intaco: http://www.intaco.com/sites/default/files/producto/guia-tecnica/ft_enlumas_proyectable.pdf