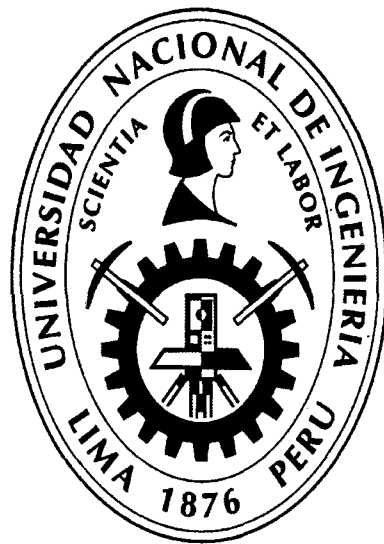


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**METODOLOGÍA PARA LA MEJORA CONTINUA (SHINGO) DEL
SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN CON PREFABRICADOS DE
CONCRETO**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

RONALD ANDRÉ RAMÍREZ VALENZUELA

Lima - Perú

Digitalizado por:

2014

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

A Dios, por siempre guiarme y darme fuerzas, a mi familia, que siempre me han apoyado a lo largo de mi carrera universitaria, y a mis mentores que me tuvieron paciencia y me motivaron a siempre seguir adelante.

AGRADECIMIENTOS

Es para mí una satisfacción terminar la etapa universitaria con un trabajo de investigación de gran importancia por ser la llave para obtener mi título de ingeniero y demostrar que en las aulas de mi alma mater adquirí los conocimientos necesarios para apoyar en el desarrollo de la sociedad, mi país.

Es agradable saber que este logro también les enorgullece a otras personas e instituciones que estuvieron acompañando y confiando en este trabajo, y a quienes brindo mi total respeto y agradecimiento.

Al Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil, dirigida por el Dr. Víctor Sánchez, que me brindo el apoyo académico y motivacional desde el inicio de este proyecto. En este mismo instituto agradeceré por siempre al asesor y amigo Dr. Teófilo Vargas por confiar en mí, en el proyecto y en el desempeño de la investigación, además de agradecerle la formación y experiencia en investigación que adquirí cada día que compartimos.

También debo agradecer a la empresa GyM y a su Programa de Investigación en Ingeniería que me brindo el espacio, información y su conocimiento para llevar a cabo la investigación práctica de la tesis.

Finalmente, debo agradecer a mi alma mater y con ello a mi querida Facultad de Ingeniería Civil que en sus aulas adquirí los conocimientos y las competencias para lograr este trabajo de investigación, que con la guía y confianza de mi asesor el Mgc. Ing. Wilfredo Ulloa logre finalizar con éxito este proyecto.

INDICE

RESUMEN

LISTA DE TABLAS

LISTA DE FIGURAS

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. CONCEPTOS FUNDAMENTALES	1
1.1. PENSAMIENTO SHIGEO SHINGO	1
1.1.1. Shigeo Shingo.....	1
1.1.2. Conceptos básicos para mejorar los sistemas de producción (Shingo)	3
1.1.3. El Modelo Shingo para la Excelencia Operacional	10
1.2. FILOSOFÍA LEAN.....	16
1.2.1. Desarrollo histórico.....	16
1.2.2. Principios de la Filosofía Lean.....	18
1.2.3. Los Tipos de Desperdicios para la Filosofía Lean	19
1.2.4. Lean Construction	21
1.2.5. Sistema de Distribución de Proyectos Lean	26
1.3. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	27
1.3.1. Sistema	27
1.3.2. Sistema Constructivo.....	28
1.3.3. Sistema de Producción.....	28
1.3.4. Procedimiento Constructivo.....	30
1.3.5. Flujo de producción	30
1.4. PERSPECTIVA DE COMPLEJIDAD.....	32
1.4.1. Definiciones de complejidad.....	32
1.4.2. Complejidad en la construcción.....	34
1.4.3. Perspectivas de complejidad en construcción	36

1.4.4. Variabilidad en la Construcción	38
1.5. MEJORA CONTINUA	42
1.5.1. Definición de mejora continua	42
1.5.2. Administración de la mejora continua	43
1.5.3. Mejora continua e innovación tecnológica	45
CAPÍTULO II. PREFABRICADOS DE CONCRETO	47
2.1. PREFABRICACIÓN	47
2.1.1. Niveles de Prefabricación	49
2.2. INDUSTRIALIZACIÓN	50
2.3. TIPOS DE CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA.....	51
2.3.1. Construcción prefabricada parcialmente in situ	51
2.3.2. Construcción prefabricada parcialmente en fábrica	52
2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON PREFABRICADOS	53
2.5. PREFABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO	55
2.5.1. Fabricación.....	55
2.5.2. Manipulación	61
2.5.3. Transporte.....	63
2.5.4. Montaje	65
2.5.5. Articulaciones y Conexiones.....	68
2.5.6. Proyectos de construcción con prefabricadas en el Perú	71
2.5.7. Factores que afectan la productividad en el montaje.....	80
2.5.8. Control de calidad	82
2.6. BENEFICIOS DEL USO DE PREFABRICADOS DE CONCRETO	84
CAPÍTULO III. MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	86
3.1. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	86
3.2. DEFINICIÓN DE MODELO.....	87

3.2.1. Clases de modelos.....	88
3.3. MODELO CONCEPTUAL.....	89
3.4. ANTECEDENTES DEL MODELO DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN	90
3.4.1. Modelo de conversión	90
3.4.2. Modelo Dual: Conversiones y Flujos	94
3.4.3. Modelo de TFV (Transformación-Flujo-Valor).....	95
3.4.4. Modelo de Flujos.....	98
3.5. DESARROLLO DEL MODELO DE FLUJOS PROPUESTO EN LA INVESTIGACIÓN.....	104
3.5.1. Objetivos del modelo.....	104
3.5.2. Límites del sistema.....	104
3.5.3. Clasificación de componentes del sistema	106
3.5.4. Identificación de relaciones entre los componentes del sistema	107
3.5.5. Representación formal del sistema.....	108
3.5.6. Conclusiones y recomendaciones del modelo de flujos propuesto	110
CAPÍTULO IV. MAPEO DEL FLUJO DE VALOR.....	112
4.1. VALOR	112
4.1.1. Ingeniería de requerimientos.....	113
4.1.2. Valor en la teoría de Lean Construction	114
4.2. FLUJO DE VALOR	117
4.2.1. Tipos de actividades en un flujo de valor.....	118
4.3. MAPEO DE FLUJO DE VALOR (VSM).....	119
4.4. DIFERENCIA ENTRE MAPEO DE FLUJO DE VALOR Y ANÁLISIS DE CADENA DE VALOR.....	119
4.5. ETAPAS DE APLICACIÓN DEL VSM.....	120
4.5.1. Etapa 1: Selección de la familia de productos	121

4.5.2. Etapa 2: Creación del VSM Actual.....	122
4.5.3. Etapa 3: Creación del VSM Futuro	130
4.5.4. Etapa 4: Plan de implementación	133
4.6. LIMITACIONES DEL VSM.....	134
4.7. RELACIÓN ENTRE MODELO DE FLUJOS Y MAPA DE FLUJO DE VALOR (VSM)	135
4.8. TIEMPO DE ENTREGA DE PREFABRICACIÓN.....	137
CAPÍTULO V. SISTEMA SHINGO PARA LA MEJORA CONTINUA.....	139
5.1. MECANISMO DEL PENSAMIENTO CIENTÍFICO (STM)	139
5.2. FASES.....	141
5.2.1. Fase Preliminar: Pensamiento analítico	141
5.2.2. FASE I: Identificación del problema.....	144
5.2.3. FASE II: Enfoques para la mejora	147
5.2.4. FASE III: Planes de mejora	157
5.2.5. FASE IV: Implementación	165
CAPÍTULO VI. METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA EN SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN CON PREFABRICADOS	170
6.1. METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA	170
6.2. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA METODOLOGÍA.....	172
6.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA..	174
6.3.1. Proyecto “Patio Taller del Tren Eléctrico”	174
6.3.2. Proyecto “Tren Eléctrico – Línea 1”	184
6.3.3. Análisis del Stock en el sistema de producción	192
CONCLUSIONES	194
RECOMENDACIONES	199
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación es brindar una visión holística de la construcción para poder generar una guía de mejora continua del flujo de producción bajo los principios de la filosofía de producción japonesa de Shigeo Shingo y Taichi Ohno, también conocida como filosofía Lean. La investigación se realizó en proyectos con procesos constructivos con prefabricados de concreto armado.

Shigeo Shingo, denominado genio japonés, fue experto en optimizar los sistemas de producción de fábricas en crisis. Además, junto a Taichi Ohno construyó el Sistema de Producción Toyota (SPT), el cual fue el motor para el desarrollo de la industria japonesa. En los 90's una misión de ingenieros del MIT denominaron al SPT como la "Maquina que Cambio al Mundo".

La filosofía de Shigeo Shingo pretende que los principios que la rigen sean la base para construir una cultura permanente de la excelencia para realizar los procesos del negocio y cumplir con la misión de la empresa.

Los conceptos básicos que Shingo plantea son: dividir el flujo de producción en una red de flujos de procesos y operaciones; respeto por el trabajador; construir sistemas de producción sin stock; eliminación permanente y absoluta del desperdicio; y mejora continua. Estos conceptos básicos son tomados en cuenta en la filosofía Lean Construction, que los agrupa en "generar Valor", "eliminar desperdicio" y "mejora continua".

La construcción es un sistema complejo, dinámico y no lineal con alta variabilidad. La mayoría de los análisis para desarrollar la construcción se realizan de lo particular a lo general, esta percepción analiza a la construcción por partes y no como un sistema. La gestión de la complejidad pretende analizar la construcción como un sistema con sus características propias lo que permitirá que una propuesta de mejora tenga impacto en todo el sistema.

Una solución tendencia para gestionar la complejidad en la construcción es sin duda la utilización de elementos prefabricados en los proyectos de construcción. Los prefabricados son elementos que se fabrican en un ambiente distinto de su

ubicación final, esto permite fabricar los elementos en un ambiente idóneo, obteniendo un sistema de producción flexible.

En el Perú existen algunos proyectos que utilizan elementos prefabricados de concreto en los cuales la buena administración se traduce en la obtención de los beneficios que brindan estos elementos; como son reducción del riesgo de trabajo, reducción del tiempo, reducción de costos, mejora de la calidad, entre otros. La prefabricación es un paso a la industrialización de la construcción, lo que se necesita es difundirla y que se aplique en más proyectos.

Para comprender el sistema de construcción es importante generar un modelo que logre un sistema transparente y fácil de entender. El Modelo de Flujos es una propuesta para modelar el sistema de construcción que pretende identificar los componentes y los flujos que estos generan a través de su interacción. Un flujo es una cadena de procesos que logran un objetivo que puede ser el de crear un producto, entrega de un material, o comunicar una información.

La gestión de flujos es la metodología que mejor ha funcionado en la construcción, como prueba de ello tenemos el Sistema del Último Planificador, que busca proteger la continuidad de estos flujos. El Modelo de Flujos propuesto muestra cinco flujos que son Flujo de Objetos (procesos), Flujo de Sujetos (operaciones), Flujo de Abastecimiento (logística), Flujo de Comunicaciones (programación y diseño) y Flujo de Apoyo (Proveedor interno), estos flujos se desarrollan en un ambiente físico como es la distribución en planta de la obra. El Modelo de Flujos identifica un flujo crítico que es el flujo principal de la producción y que los otros flujos alimentan. La gestión de flujos debe brindar importancia a cada uno de los flujos por igual.

El Modelo de Flujos es un modelo conceptual que solo pretende brindar una interpretación del sistema de construcción basada en flujos. Para lograr un análisis del sistema es necesario llevar el Modelo de Flujos a un modelo cuantitativo. Para ello se evaluó una herramienta Lean denominada Mapa de Flujo de Valor. Los flujos que se presentan en el Modelo de Flujos propuesto se puede apreciar claramente en el Mapa de Flujo de Valor.

El Mapa de Flujo de Valor identifica los actores del sistema de construcción como son el cliente, constructor, y proveedores, que se relacionan a través de

flujos de información y materiales. Todos los componentes se ubican en un mismo diagrama, que es completado con datos e indicadores que se extraen de la información que se recolecta del sistema de producción en el campo.

La elaboración del Mapa de Flujo de Valor consta de 4 etapas: Identificar el producto o familia de productos para analizar, elaborar un Mapa de Flujo de Valor del Estado Actual; Analizar el Estado Actual y proponer un Mapa de Flujo de Valor Futuro; y finalmente, implementar la propuesta.

Para analizar el Estado Actual del flujo de valor, se propone el sistema de mejora continua de Shigeo Shingo, que es un sistema integral de mejora continua para el sistema de producción. Se basa en los estudios e ideas que aportaron los predecesores como Taylor, Gilbreth, Ford, entre otros, y sus cincuenta años de experiencia en implementar mejoras.

El Sistema de Mejora Continua tiene 5 fases: (1) Tener una visión holística y pensamiento analítico del sistema a mejorar; (2) Identificar problemas y desperdicios; (3) Planteamiento conceptuales básicos para mejoras; (4) Crear planes para la mejora; y (5) Trasladar los planes a la realidad. Esta metodología analiza el problema desde una perspectiva de sistema de manera cualitativa y cuantitativa para brindar soluciones en base a la creatividad y con un impacto en todo el sistema.

Finalmente, la metodología de mejora continua compuesta por (1) Modelar el sistema de construcción como un Modelo de Flujos, (2) Crear el Mapa de Flujo de Valor y (3) Aplicación del Sistema de Mejora Continua de Shigeo Shingo; fue aplicado a proyectos de construcción con elementos prefabricados de concreto como “Proyecto de Patio Taller del Tren Eléctrico – GyM” y “Proyecto Tren Eléctrico Línea 1 – Tramo 2” – Consorcio GyM-Odebrecht.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Diferencias entre la Manufactura y la Construcción.....	22
Tabla 1.2. Las 14 características estudiadas por Bertelsen	37
Tabla 1.3. Causas de la Variabilidad.....	40
Tabla 1.4. Responsabilidades y compromiso de Mejora Continua	44
Tabla 1.5. Comparación entre Mejora Continua e Innovación.....	45
Tabla 2.1. Descripción de elementos prefabricados – Proyecto Patio Taller	71
Tabla 3.1. Comparación del control en la Gestión de Flujos y Gestión de Conversiones.....	105
Tabla 3.2. Componentes del sistema de construcción en análisis.....	106
Tabla 3.3. Componentes del sistema seleccionados para el modelo	107
Tabla 4.1. Diferencias entre Mapeo de Cadena de Valor y Mapeo de Flujo de Valor.....	120
Tabla 4.2. Simbología del Mapeo de Flujo de Valor	124
Tabla 4.3. Indicadores en la caja de información para procesos de construcción	125
Tabla 4.4. Oportunidades para reducir los tiempos de entrega de fabricación .	138
Tabla 6.1. Los 5W + 1H para los conceptos.....	193
Tabla 6.2. Los 5 porqués para el concepto de demanda imprevista.....	193

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Producción como una Red de Flujos - Operación y Proceso.....	4
Figura 1.2. La Casa Shingo	12
Figura 1.3. El Diamante Shingo	13
Figura 1.4. Línea de tiempo de la evolución de los sistemas de producción	17
Figura 1.5. Casa de la Filosofía Lean	19
Figura 1.6: Los tres tipos de variaciones.....	20
Figura 1.7. Lean Project Delivery System	26
Figura 1.8. Esquema gráfico general de un sistema	28
Figura 1.9. Esquema gráfico del sistema de producción.....	29
Figura 1.10. Curvas de Mejora continua e Innovación Tecnológica	46
Figura 2.1. Muro prefabricado a pie de la obra.....	52
Figura 2.2. Sistemas de construcción prefabricada.....	54
Figura 2.3. Diagrama de Flujo del Proceso de Fabricación de Viga Prefabricada de Concreto Armado.....	57
Figura 2.4. Bosquejo de planta de prefabricados de concreto.....	59
Figura 2.5. Ejemplo de un ciclo típico de curado con vapor a presión atmosférica	60
Figura 2.6. Curado a vapor con mantas en losas.....	61
Figura 2.7. Equipos para el sistema de manipulación por izaje usados en Perú	62
Figura 2.8. Equipos para el sistema de manipulación por deslizamiento usado en Plantas de Prefabricados en Países Industrializados.....	63
Figura 2.9. Camión con semirremolque acoplado.....	64
Figura 2.10. Camión con Dolly (Patín trasero)	64
Figura 2.11. Equipos de montaje de pequeña capacidad.....	66
Figura 2.12. Equipo de mediana y gran capacidad	67
Figura 2.13. Accesorios y herramientas para montaje	68
Figura 2.14. Conexiones viga-columna.....	69
Figura 2.15. Conexión viga continua entre columnas.....	70
Figura 2.16. Conexiones columna-fundación	71
Figura 2.17. Plano de distribución del Proyecto Patio Taller	72

Figura 2.18. Identificación de elementos estructurales prefabricados en la edificación.....	73
Figura 2.19: Conexiones Viga-Columna – Proyecto Patio Taller.....	73
Figura 2.20. Detalle de la ménsula metálica – Apoyos de las vigas longitudinales y transversales.....	74
Figura 2.21. Detalle de la ménsula de concreto – Apoyos de las vigas carrileras	75
Figura 2.22: Conexión Muro-Fundación – PATIO TALLER	75
Figura 2.23. Detalle del panel y sus conexiones con el cimiento y viga	76
Figura 2.24. Conexión Cabezal-Viga – TREN ELECTRICO.....	77
Figura 2.25. Plano de distribución de la Planta de Prefabricados del Tren Eléctrico.....	78
Figura 2.26. Descomposición de la estructura de los rieles del Tren Eléctrico ...	79
Figura 3.1. La construcción como un sistema abierto	87
Figura 3.2. Representación formal de un modelo.....	88
Figura 3.3. Paso para el desarrollo del modelo conceptual.....	89
Figura 3.4. Modelo de conversión	91
Figura 3.5. Tipos de productividad para la gestión de proyectos basados en el modelo de conversión.....	92
Figura 3.6. Modelo de factores	93
Figura 3.7. Modelo dual de la producción: Conversiones y Flujos.....	94
Figura 3.8. Visión del flujo de producción del TFV. Caso: Pre-armado de Acero (Zapata – Columna).....	97
Figura 3.9. Modelos de Flujos: Tipo Río.....	101
Figura 3.10. Modelo de Flujos: Tipo Fuego.....	102
Figura 3.11. Modelo de Flujos según las 7 precondiciones de Koskela.....	103
Figura 3.12. Modelo de 3 Flujos.....	104
Figura 3.13. Modelo conceptual propuesto del sistema de producción en construcción	109
Figura 4.1. Ingeniería de Requerimientos	113
Figura 4.2. El Valor en un Contexto Global.....	116
Figura 4.3. Representación del Flujo de Valor	117
Figura 4.4. Tipos de actividades en un Flujo de Valor.....	118
Figura 4.5. Herramientas para la selección de la familia	121
Figura 4.6. Representación del Takt Time	123

Figura 4.7. Ejemplo de Mapa de Flujo de Valor Actual.....	129
Figura 4.8. Aplicación del Sistema Kanban en VSM	132
Figura 4.9. Relación del Modelo de Flujos y VSM.....	136
Figura 5.1. Sistema de Mejora Continua (Shingo).....	140
Figura 5.2. Fase Preliminar: Pensamiento analítico	141
Figura 5.3. Fase I: Identificación de problemas.....	144
Figura 5.4. Fase II: Enfoques para la mejora	148
Figura 5.5. Método de 5W1H para entender los fenómenos de los hechos	149
Figura 5.6. Símbolos del diagrama de flujo de objetos (proceso).....	152
Figura 5.7. Esquema de la Metodología del Estudio del Trabajo.....	153
Figura 5.8. Símbolos para el Estudio de Micro-Movimientos (18 Therbligs).....	153
Figura 5.9. Ejemplo de Gráfico de Control	154
Figura 5.10. Ejemplo de Curva ABC	155
Figura 5.11. Ejemplo de Persecución de Metas del Encofrado	156
Figura 5.12. Fase III: Hacer planes de mejora	158
Figura 5.13. Fase IV: Implementación del Plan de Mejoras	165
Figura 5.14. Comparación entre la cultura empresarial de Japón versus Europa- América	169
Figura 6.1. Esquema de Metodología de Mejora Continua.....	170
Figura 6.2. Foto con la distribución del Proyecto Patio Taller.....	175
Figura 6.3. Modelado 3D del Taller.....	175
Figura 6.4. Modelo de Flujos Proyecto Patio Taller de Tren Eléctrico	177
Figura 6.5. VSM del Flujo de Apoyo - Prearmado de viga de acero – PATIO TALLER.....	178
Figura 6.6. VSM del Flujo de Producción de Vigas Prefabricadas – PATIO TALLER.....	179
Figura 6.7. VSM del Proceso Constructivo – PATIO TALLER.....	180
Figura 6.8. VSM MEJORADO del Flujo de Apoyo - Prearmado de viga de acero – PATIO TALLER	181
Figura 6.9. VSM MEJORADO del Flujo de Producción de Vigas Prefabricadas – PATIO TALLER	182
Figura 6.10. VSM del Proceso Constructivo – PATIO TALLER.....	183
Figura 6.11. Modelo de Flujos Proyecto Línea 2 del Tren Eléctrico.....	185
Figura 6.12. VSM del Flujo de Producción de Concreto Pre-Mezclado – TREN ELECTRICO	186

Figura 6.13. VSM del Flujo de Producción de Vigas Prefabricadas – TREN ELECTRICO	187
Figura 6.14. VSM del Proceso de Montaje de Vigas Prefabricadas – TREN ELECTRICO	188
Figura 6.15. VSM MEJORADO del Flujo de Producción de Concreto Pre-Mezclado – TREN ELECTRICO	189
Figura 6.16. VSM MEJORADO del Flujo de Producción de Vigas Prefabricadas – TREN ELECTRICO	190
Figura 6.17. VSM MEJORADO del Proceso de Montaje de Vigas Prefabricadas – TREN ELECTRICO	191
Figura 6.18. Mapa de conceptos para el análisis del Stock Mínimo	192

INTRODUCCIÓN

La presente es una tesis de pre-grado desarrollada como parte del Programa de Ingeniería del CCA-GyM, la cual se titula “Metodología para la mejora continua (Shingo) del sistema de construcción con prefabricados de concreto”, y desarrolla el pensamiento Shingo, la elaboración de un modelo del sistema de construcción y el uso de la herramienta de Mapeo de Flujo de Valor.

El presente estudio se realizó con el objetivo de desarrollar una metodología que permitiera realizar mejoras con mayor impacto y sostenibilidad en obra. La finalidad del estudio es demostrar que el sistema de construcción es complejo, no lineal, y dinámico, el cual necesita un análisis holístico para la identificación de mejoras. También se pretende fomentar el uso de prefabricados y brindar una herramienta para la mejora e innovación en este sistema constructivo, industrializado.

Los proyectos en la que se llevó a cabo este estudio, se desarrollaron varios procesos de manera externalizada, buscando de esta manera industrializar en cierto modo la construcción de la obra. Fue así como se decidió estudiar las vigas prefabricadas de concreto, por ser el elemento que al ser construida de la forma tradicional requiere mayor tiempo, trabajos en altura, y encofrados muy complejos, la prefabricación ayuda a eliminar todos los factores anteriores.

Para la realización de la presente, se contó con el respaldo del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (IIFIC-UNI), y el apoyo de la empresa Graña y Montero brindando todas las facilidades del caso para poder levantar la información requerida de sus proyectos.

La tesis está dividida en seis capítulos. Los tres primeros capítulos muestran el marco teórico, mientras que los tres últimos la investigación desarrollada. En el primer capítulo, se muestran los Conceptos Fundamentales, respecto a las cuales gira la investigación y por tanto, se considera deben de quedar claras desde el principio. Se trata temas como el Pensamiento Shingo, la definición de Sistemas, la Filosofía de Lean Construction, la Complejidad y la Variabilidad en Construcción, entre otros temas de importancia para el entendimiento de la investigación.

En el segundo capítulo, se describe aspectos importantes de la construcción con Prefabricados de Concreto Armado. Se comienza desarrollando la industrialización, Fabricación, Transporte, Montaje, Conexiones, entre otros temas, que será útiles para el análisis de los proyectos.

En el tercer capítulo, se propone un Modelo Conceptual del Sistema de Construcción con Prefabricados. Se realizó un estudio respecto a los modelos conceptuales y de gestión para los sistemas de construcción como el Modelo de Conversión, la Teoría del TFV de Lauri Koskela –Padre de Lean Construction-, el Modelo de Flujos de la Física de Construcción, este último es término nuevo usado en investigaciones de Lean Construction, el cual también se describe en este capítulo.

En el cuarto capítulo, se presenta la técnica del Mapeo de Flujo de Valor (VSM) aplicada a construcción. Se realiza una teorización sobre el Valor, se define Flujo de Valor, y se detalla las etapas para crear un Mapa de Flujo de Valor, herramienta creada para la industria automotriz, considerando su aplicación en la construcción. Esta técnica permitirá analizar el modelo conceptual propuesto en el capítulo anterior.

En el quinto capítulo, se desarrolla la metodología de mejora continua basado en el Pensamiento Shingo – Co-autor del Sistema de Producción Toyota - adaptado para la construcción. A partir del Mecanismo del Pensamiento Científico, sistema de mejora continua única y global que plantea Shingo, se realizó el proceso que se debe seguir para comenzar a pensar sobre mejoras, consecuentemente identificación y propuestas de mejora, para finalmente ser implementadas basándose en el impacto dentro del sistema, beneficio para los involucrados, y aspecto económico.

Finalmente, en el sexto y último capítulo, se realiza una propuesta de la metodología en los proyectos en estudio como son el Patio Taller del Tren Eléctrico en Villa El Salvador y en la Planta de Prefabricados del Tren Eléctrico. Primero se comprueba el modelo conceptual propuesto, luego se elabora el Mapa de Flujo de Valor (VSM) que muestra gráficamente el flujo de producción, para que la metodología de mejora continua identifique oportunidades de mejora y proponga soluciones para la optimización del flujo, para finalmente modificar el VSM proponiendo un estado futuro con mejoras factibles.

CAPÍTULO I. CONCEPTOS FUNDAMENTALES

Una investigación se sustenta en conceptos fundamentales para certificar científicamente su desarrollo, aplicación y resultados. Los conceptos fundamentales sirven de base para futuras investigaciones relativas a esta investigación.

1.1. PENSAMIENTO SHIGEO SHINGO

1.1.1. Shigeo Shingo

Shigeo Shingo es una de las figuras más importantes en la historia de la fabricación en Japón, por su contribución a la mejora de los sistemas de producción, además es considerado un “Genio de la Ingeniería”. Es autor de varios libros sobre ingeniería industrial, sistema de producción Toyota, y mejora continua; de muchos de sus libros se han vendido más de 40 000 ejemplares por todo el mundo.

En su libro Producción Sin Stock: El Sistema Shingo para la Mejora Continua -en el cual se inspira esta investigación-, describe de manera dura los defectos fundamentales en las filosofías de fabricación de Europa y América, los cuales no les permite asimilar y asemejarse a la escuela japonesa. Luego explica los conceptos básicos para mejorar los sistemas de producción y presenta su Mecanismo del Pensamiento Científico (STM - Scientific Thinking Mechanism), que es su metodología de mejora continua.

A. Breve bibliografía

Shigeo Shingo nació en 1909 en la ciudad de Saga, Japón. Asistió a la Secundaria Técnica de Saga y se graduó en el Colegio Técnico Yamanashi. En 1930 trabajó para la Compañía del Ferrocarril de Taipei en donde empieza a enfocarse en la ingeniería industrial estimulado por la lectura de Frederick Taylor¹. En Tokyo en 1937 bajo la tutela de Ken'ichi Horigome estudia los

¹ Frederick Taylor es considerado el “Padre de la Ingeniería Industrial” y autor de la Administración Científica, con el estudio de tiempos.

conceptos de Frank Gilbreth². Las enseñanzas de Ken'ichi Horigome, influyó considerablemente en la vida de Shingo, obtuvo los fundamentos necesarios para desarrollar las técnicas de "Configuración de Maquinas en Menos de Diez Minutos" (SMED - Single-Minute Exchange of Die) y "A prueba de Errores" (Poke-Yoke). Luego, en 1943, Shingo fue trasladado a la planta de fabricación Amano en Yokohama como jefe de la sección de manufactura, en esta planta se le atribuye el incremento del 100% de la productividad.

Shigeo Shingo se unió a Japan Management Associate (JMA) como consultor en 1945. Uno de sus primeros proyectos fue la fábrica de vehículos de Hitachi Ltd. en Kasado, Japón, donde argumenta que el objetivo de la ingeniería industrial es; *"mejorar el proceso, y no las operaciones individuales de forma aislada, ya que cualquier mejora en las operaciones deben medirse por su contribución a la mejora del proceso"*.

En 1954, Morita Masanobu de Toyota Motor Co. asistió a uno de los cursos de Shingo. Cuando regresó a Toyota, aplicó algunos de los conceptos que había aprendido, logrando grandes resultados. Un año más tarde, Shingo fue invitado a Toyota para implementar la ingeniería industrial y la formación para la mejora de la fábrica de la compañía, tanto para sus empleados y proveedores de partes. En ese momento, a poco menos de 10 años con JMA, había trabajado con más de 300 empresas para mejorar el proceso de fabricación y había enseñado sus conceptos innovadores a cientos de profesionales de fabricación en Japón.

Entonces Shingo comenzó su asociación con Taiichi Ohno de Toyota en 1956, una relación que duraría más de veinte años. Fue considerado como un maestro que podía resolver problemas y desarrollar nuevas técnicas mientras que Ohno fue el visionario apasionado. Shingo creó y escribió sobre muchos aspectos de las prácticas de fabricación revolucionarios que se convirtieron en los componentes del Sistema de Producción Toyota. Cuando se le preguntó si era él u Ohno quien creó el Sistema de Producción Toyota, Shingo se llevó todo el crédito, diciendo: "Lo hice, porque yo era profesor de Ohno". Ohno aplicó con éxito muchos de los conceptos de Shingo como SMED y Poka-Yoke que llevó al gran éxito de Toyota. A pesar de ello, se le atribuye únicamente a Taiichi Ohno el éxito de Toyota.

² Frank Gilbreth es autor del Diagrama de Flujo, Estudio de métodos y análisis de micromovimientos o Therblig.

Shigeo Shingo salió de la Asociación de Gerencia de Japón (JMA) en 1959 para fundar el Instituto de Mejoramiento de la Gestión.

La Universidad del Estado de Utah en 1988 reconoció a Shigeo Shingo por sus logros en toda su carrera con un Doctorado Honoris Causa en Ciencias Empresariales y comenzó a conceder el Premio Shingo a la Excelencia en Manufactura a las empresas que demuestren excelencia en prácticas de manufactura que se traduzcan en satisfacción al cliente y excelentes resultados empresariales.

1.1.2. Conceptos básicos para mejorar los sistemas de producción (Shingo)

A. La producción es una red de procesos y operaciones

Los fenómenos de proceso y operación no se habían definido claramente y tampoco se habían distinguido dentro de la producción. Esto debido a que a veces se confunden cuando las operaciones son realizadas por un solo trabajador.

A partir de la división del trabajo propuesto por Adam Smith se distingue el proceso de la operación. La división de trabajo ocurre cuando se divide un grupo de tareas que artesanalmente las hacía un solo trabajador, pasando a que cada tarea sea realizada por un trabajador, lo que aumentó considerablemente la producción y fue el inicio de la producción industrial. Un ejemplo de división de trabajo sería que el Operador A coloque acero de la columna esquina 1, columna esquina 2, columna esquina n, y luego coloque acero de la columna central 1, columna central 2, columna central n. Al finalizar la colocación de acero de las columnas esquina, el Operador B encofra cada columna esquina. A continuación el Operador C llena de concreto la columna. De esta manera, construir columnas pasa sucesivamente por distintos trabajadores (A, B, C, D, etc.) y cada uno realiza el procedimiento requerido.

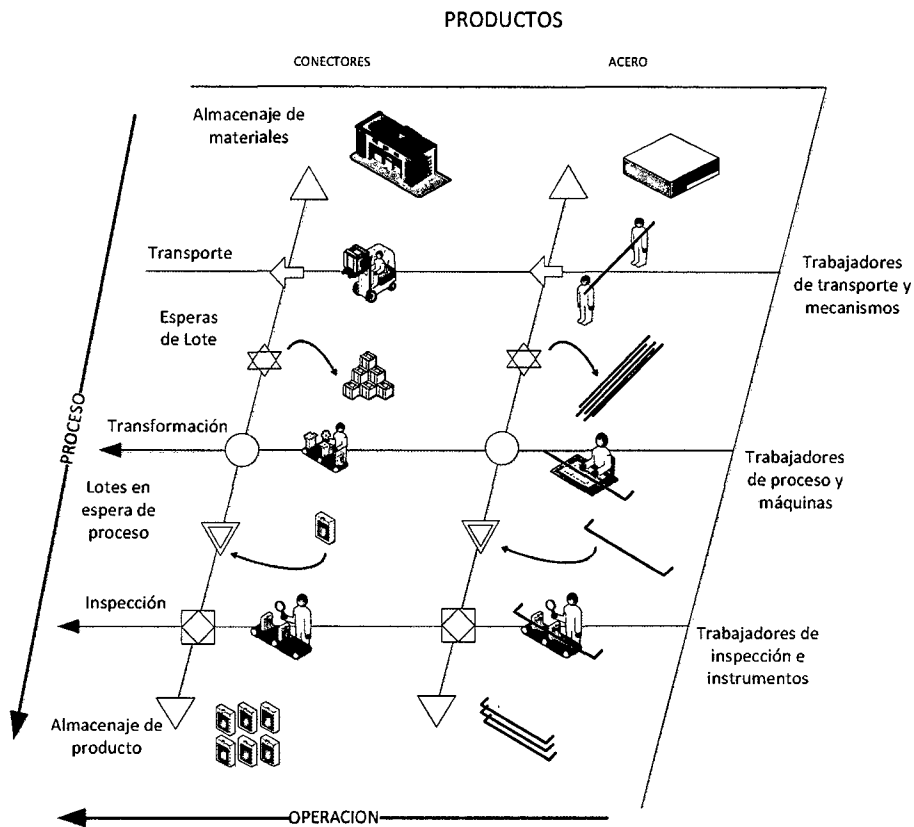
Del ejemplo podemos realizar una distinción y conceptualizar lo siguiente:

(a) Proceso se refiere al flujo de productos de un trabajador - o cuadrilla - a otro, dicho de otro modo, a las fases que necesita para que la materia prima se convierta gradualmente en un producto acabado.

(b) Operación se refiere a la fase en que un trabajador - o cuadrilla - puede trabajar en diferentes productos algunas veces apoyados por máquinas o herramientas, es decir un flujo humano temporal que se centra consistentemente alrededor del trabajador.

Es importante destacar que Gilbreth en 1921 a través de una publicación en ASME³ informó que en la producción existe un flujo que lleva desde materias primas a productos acabados, lo que denominamos proceso, y que el proceso se componen de cuatro fenómenos: transformación, inspección, transporte y demora.

Figura 1.1. Producción como una Red de Flujos - Operación y Proceso



Fuente: Basado en (Shingo, 1987)

Entonces, Shingo argumenta que la producción es una red de procesos y operaciones (Figura I-1) describiendo que los procesos están situados en el eje Y, representa el flujo desde las materias primas hasta los productos terminados,

³ ASME, American Society of Mechanical Engineering

y las operaciones están situadas en un eje X, representando el flujo en el que los trabajadores realizan sucesivamente tareas sobre diferentes piezas. Shingo considera que esta conceptualización es el inicio de la “Quinta Revolución Industrial”. También destaca que cuando se piensa en mejorar la producción, se debe dar prioridad absoluta a los fenómenos de proceso y dejar a las operaciones en segundo plano.

B. Fenómenos de retraso

Para Shingo solo existen dos tipos de retrasos que se diferencian por hechos cualitativos y no cuantitativos como suele suceder.

(a) Retraso por proceso sucede cuando no se ha nivelado bien los procesos, ocurriendo que un lote se queda esperando mientras que se termine de procesar el lote anterior.

(b) Retraso por lote, que se produce cuando se espera que un lote sea procesado completamente para pasar al proceso siguiente, por ejemplo, 100 elementos entran a un proceso 99 se quedan esperando mientras que 1 elemento se está procesando.

C. Dirección basada en la teoría Y

En 1960 Douglas McGregor introduce la Teoría X-Y para dirección de empresas que se basa en asunciones opuestas a la naturaleza humana.

La Teoría X asume que a los trabajadores no les gusta el trabajo y emplea sistemas de evaluación para contrarrestar la pereza. Esto produce que los trabajadores que no rinden sean descartados a través de despido frecuente, lo que ocasiona un ambiente de inseguridad laboral. En consecuencia, los trabajadores se reúnen formando sindicatos para enfrentar a la dirección a través de huelgas, creando así un ambiente de confrontación entre la dirección y los trabajadores.

La Teoría Y asume que a los trabajadores les es grato el trabajo productivo si se les permite trabajar en el proceso de decisiones. La dirección paga un salario fijo periódico y garantiza seguridad laboral con contratos hasta de por vida. Los sindicatos que se forman son para cooperar con la dirección, promoviendo

círculos y programa de mejoras. Es probable que cada persona tenga las características de ambas teorías pero solo una u otra puede dominar en la relación dirección-trabajador.

Shingo fundamenta a través de experimentos realizados en la Fábrica Hawthorne⁴ que la voluntad de trabajar es el factor predominante para llevar a cabo cualquier intento de mejora y competitividad empresarial. Esto porque el trabajador no solo tiene las capacidades físicas sino también las capacidades de tomar decisiones, supervisar, mejorar, etc. La dirección debe crear un ambiente que fomente las características de la Teoría Y en los trabajadores, esto es fundamental para acoger el Sistema de Producción Toyota y los principios de la escuela japonesa.

D. El Stock⁵ es un Mal Absoluto

En ingeniería industrial enseñan el cálculo del lote mínimo, es decir, enseñan a que el stock es un mal pero es necesario. Esto porque permite tener respuestas a circunstancias que se cree son normales en los procesos como por ejemplo, permite un respuesta inmediata a una demanda imprevista, permite que el flujo no pare, permite ocultar fallos de máquinas, entre otras.

Shingo explica que el Sistema de Producción Toyota tiene como principal fin tener Stock Cero, considerando que este es un mal absoluto y en muchos casos es un mal que permite la aparición de otros desperdicios. Ofrece algunas respuestas para tener stock cero, como por ejemplo, acortando "lead time"⁶, uso del sistema "A prueba de errores" (Poke-Yoke) para obtener cero defectos, multiplicando la capacidad de los trabajadores y automatizando su trabajo para evitar complicaciones con ausentismos de trabajadores.

Shingo denomina al stock como una droga para el sistema de producción porque en lugar de ofrecer mejoras en el sistema cuando ocurre problemas, la solución es simple como la de aumentar el stock. El sistema de producción se vuelve dependiente del stock.

⁴ Desde 1924 a 1933, la Western Electric Company realizó una serie de experimentos en su fábrica de Hawthorne.

⁵ Stock, como un inventario de seguridad.

⁶ Lead Time, es el tiempo de desde el pedido del cliente hasta la entrega del producto.

El sistema de producción sin stock es el sistema que predica Toyota y la escuela japonesa, con esta filosofía se crearan sistema de producción cada vez más innovadores. El stock nos impide mejorar, pensando en producir sin stock podemos crear estrategias de mejoras dentro de los procesos y operaciones que sean agresivas y sustanciales.

E. Principio de sustracción de costos

Costo + Beneficio = Precio, está ecuación supone que el status quo de fabricación supondría que no hay necesidad de ninguna mejora. Pero hasta cuándo podría tolerar esta fórmula el mercado?, tal vez se podría mantener si es que no hubiera competidores y la demanda del producto fuera grande, entonces el consumidor está obligado a pagar ese precio. Felizmente, esto no es real y todo proceso puede mejorarse.

El consumidor desea un producto de alta calidad y a bajo costo, además está a la búsqueda de nueva ofertas que satisfagan sus necesidades.

En el sistema de producción de Toyota la ecuación cambia, **Precio – Costo = Beneficio**, en este caso el Precio lo determina la demanda y el Beneficio es lo que queda después de sustraer los costos, entonces la única variable que puede manejar Toyota es el costo y su objetivo es siempre disminuirlo a través de la mejora y eliminación total de los desperdicios. Esta perspectiva impacta en el valor del producto para el cliente externo y la competitividad de la empresa en industria manufacturera.

También podemos variar la formula a **Precio – Beneficio = Costo**, con esta ecuación se busca tener un beneficio que asegure la estabilidad de la empresa. Esta perspectiva impacta en el cliente interno como es el caso de las empresas de construcción, en donde la demanda no determina el precio del producto, por lo tanto, todas las mejoras o desperdicios que se generen beneficiarán o ajustarán a la empresa constructora.

En consecuencia, para la escuela japonesa existe un criterio que exige claramente los esfuerzos continuos para disminuir los costes, y a la vez, exige un compromiso para eliminación de todo desperdicio. El concepto básico del sistema de producción Toyota no es JIT, Kanban, Control de Calidad Total,

Dirección de Teoría Y, entre otras que se le vinculan, sino que son técnicas para lograr el objetivo principal que es eliminar totalmente los desperdicios.

F. Eliminación absoluta del despilfarro

Se dice que con el sistema de producción Toyota se exprime agua de toallas que ya están secas, esta frase nos enseña que a pesar de la optimización, en el sistema de producción Toyota se continúa identificando problemas y mejorando cada vez más, no se siente satisfecho con su status quo.

Se debe mantener una actitud vigilante y observando incansablemente el trabajo para identificar problemas, esto hará posible exprimir agua de toallas secas. Así es como debemos pensar la eliminación total de causas de despilfarro, siempre existen y deben ser eliminadas.

G. Tres pasos de la mejora

Shingo clasifica la mejora según su grado de implementación e impacto sobre el trabajo, estos son: (a) Conceptos básicos, (b) Sistemas para dar forma a estos conceptos, y (c) Técnicas para poner en práctica los sistemas.

Por ejemplo, en el sistema de producción Toyota se usa el famoso sistema Kanban⁷, que muchas empresas copian de Toyota pero no les da resultados, esto sucede porque el sistema Kanban es una mejora de sistema que apoya el concepto básico que es el de no tener inventario o stock cero.

Las mejoras de técnicas son aquellas que mejoran una operación, tarea realizada por el trabajador o máquinas. Por ejemplo, en la actividad de excavación de zanja un peón utiliza pico para remover la tierra y lampa para acopiar el material al borde de la zanja, esta actividad le toma un gran esfuerzo físico y productividad baja. Si en vez del pico le damos al peón un martillo demoledor para remover y un peón más para que continúe con el acopio del material removido con la pala, logrando que los peones se fatiguen menos y obteniendo alta productividad en la excavación de zanja.

⁷ Sistema Kanban, es un sistema para controlar la producción y el inventario basado en tarjetas.

Las mejoras de sistemas permiten optimizar el proceso y los fenómenos del proceso. Por ejemplo, la construcción de estructuras monolíticas en lugar de la construcción de albañilería confinada permite reducir el tiempo, eliminando los procesos de asentado de muro, logrando llenar concreto de elementos verticales y losa al mismo tiempo, y eliminando el tarrajeo - cuando se encofra con elementos metálicos que dejan buen acabado. Para esto ha sido necesario implementar mejoras técnicas (encofrado estructurado, llenado de concreto con bomba, acero dimensionado) que apoyan a la mejora del sistema.

Las mejoras de conceptos básicos son aquellas que rompen el paradigma que se tiene del sistema de producción para crear procesos innovadores. Por ejemplo, la construcción con prefabricados elimina la complejidad de construir in situ y logra que la construcción esté más controlada. Para llevar a cabo una mejora conceptual se tiene que implementar también mejoras de sistema y técnicas acorde a dicha mejora conceptual básica.

Shingo predica que la posibilidad de mejoras es infinita en el sentido de que, para cada grupo de conceptos, sistemas y técnicas, existe un grupo de nivel más alto de conceptos, sistemas y técnicas.

H. Sistema de producción según la demanda

La empresa fabrica sus productos para el consumidor -sin el consumidor no tendría sentido crear una empresa-. El consumidor analiza al producto por su calidad, precio, y tiempo de entrega.

Shingo al analizar los sistemas de producción diseñada según la demanda distingue dos tipos: (a) Sistema de producción especulativa, (b) Sistema de producción asegurada.

Cuando el sistema de producción se basa en una **demanda especulativa** se hace uso del estudio de mercado para poder adivinar una posible demanda y producir lotes según esa demanda. Esto ocasiona tener inventario, en consecuencia, el cliente desea el producto de inmediato. Además existen dos fundamentos para esta especulación, el primero es que el plazo de fabricación supera al plazo de compra concedido por los clientes, y se tiene el paradigma de que se fabrica productos más baratos en producción en masa o a gran escala.

Este sistema de producción es el que se aplica en la mayoría de las industrias del mundo.

El sistema de producción basada en una **demanda asegurada** se inspira en el método que aplican los supermercados para mostrar sus productos, lo mismo que fue tomado por Taiichi Ohno para diseñar el sistema de producción Toyota, dicho método consiste en que los productos se presentan en cantidades mínimas y donde se repone un artículo comprado por otro nuevo, antes de la llegada de un nuevo cliente. Este planteamiento significa que el sistema puede satisfacer el plazo de compra cero del cliente; el productor puede garantizar un ciclo de producción de “n” días estables; y el único inventario es lo que está expuesto en la tienda. Esto es lo ideal.

1.1.3. El Modelo Shingo para la Excelencia Operacional

El Modelo Shingo es un modelo de gestión empresarial (Jon M. Huntsman School of Business, 2012) basado en las enseñanzas de Shigeo Shingo, así como la reflexión compartida de Toyota y otras empresas que han alcanzado nuevos niveles de la excelencia operacional. La universidad estatal de Utah, EE.UU. otorga el Premio Shingo a las empresas que demuestren haber instaurado el pensamiento Shingo a sus organizaciones. Este es parecido al Premio Deming que se otorga a las empresas en Japón por la calidad en sus productos, procesos operativos, y procesos organizacionales.

La “Excelencia Operacional” es la relación entre resultados empresariales y el comportamiento basado en principios, es decir, cuando los principios dados por el modelo se convierten en la base para la construcción de una cultura permanente de la excelencia para realizar las actividades y cumplir la misión de la empresa. Excelencia operacional no puede ser un programa, otro nuevo conjunto de herramientas, o una nueva moda de gestión, sino la consecuencia de una práctica de toda la empresa, de comportamientos ideales basados en principios correctos. Mientras que la mejora sea vista como algo externo a la función central del negocio, mientras que sea vista como “algo más que hacer”, la excelencia operacional seguirá siendo difícil de alcanzar.

Sus enseñanzas describen tres niveles de mejoramiento del negocio, que se han traducido en un proceso de transformación, que comprende los principios,

sistemas y herramientas. Shingo comprendió que la verdadera innovación no se logra con una imitación superficial o el uso aislado o aleatorio de las herramientas, técnicas y sistemas, el “saber cómo” –“Know-How”-, sino que requiere el “saber por qué” –“Know-Why”-, es decir, una comprensión de los principios esenciales.

El objetivo final que persigue el modelo es claro: transformación cultural a través de la integración de los principios de excelencia operacional a través de la empresa y sus cadenas de valor para crear una visión completa y sistemática, lo que lleva al constante logro de resultados.

El modelo de Shingo se compone de dos elementos: la casa y el diamante. La casa detalla los principios de la excelencia operativa y el poder de equilibrar el esfuerzo en todas las dimensiones. El diamante representa el proceso de transformación para incorporar los principios de la excelencia operativa en la cultura organizacional.

A. La casa Shingo

El pensamiento Shingo siempre hace referencia a pensar en términos de principios categóricos –esenciales-. La casa Shingo es una categorización de los principios guías de la excelencia operacional. Asociada con cada categoría también están listadas muchos importantes conceptos de soporte.

Los principios guías son muy elevados y un poco abstractos, su entendimiento puede tardar pero trae grandes beneficios a la empresa. Los conceptos de apoyo son un poco más prácticos y se pueden aprender y entender más rápido. Construyen cimientos para los principios guías.

Los principios están categorizados en cuatro dimensiones: agentes culturales, mejora continua del proceso, alineación de la empresa, y resultados – el fin último de toda iniciativa de negocio. Las cuatro dimensiones requieren atención a fin de alcanzar la excelencia. De la misma manera que necesitamos comprender los objetos en tres dimensiones para realmente apreciar todas sus características; la excelencia operativa tiene que ser vista en estas cuatro dimensiones con el fin de comprenderla totalmente. Estas cuatro dimensiones cubren los cinco sistemas esenciales del negocio, como son: desarrollo de

producto/servicio, relaciones con el cliente, operaciones, logística, y una variedad de gestión o sistemas de apoyo administrativo.

Figura 1.2. La Casa Shingo

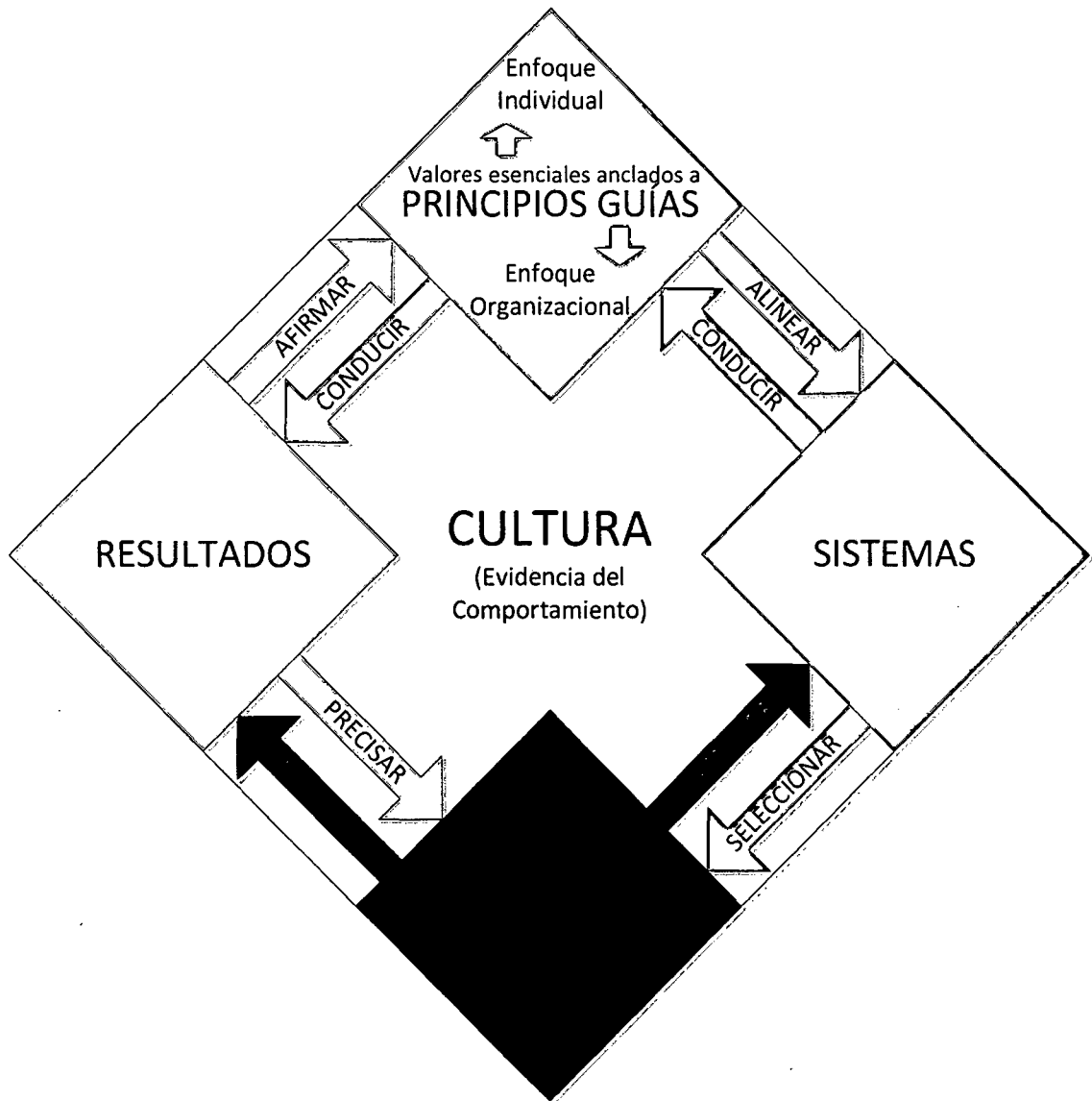


Fuente: (Jon M. Huntsman School of Business, 2012)

B. El Diamante Shingo

El diamante de Shingo muestra cómo debe cambiar la cultura organizacional para hacer efectiva la excelencia operacional. A continuación se describirán los componentes del diamante, (Figura I-3).

Figura 1.3. El Diamante Shingo



Fuente: (Jon M. Huntsman School of Business, 2012)

Enfoque individual: Un líder basado en los principios es uno que tiene profundamente arraigados los principios en su vida y vive conforme con esos principios. Después de haber adoptado principios como lo central en su filosofía, un líder es capaz de conducir a los demás con integridad. Este compromiso personal de ejemplificar los principios antes de dirigir a los demás, se llama enfoque individual.

Enfoque organizacional: Una organización que ha diseñado y alineado los sistemas, estructuras y herramientas para la mejora, va a enseñar, reforzar, y aumentar el compromiso con los principios. Con el tiempo y con el refuerzo continuo, los principios se vuelven profundamente arraigados en las mentes y los corazones de la gente y se convierten en las bases para una nueva cultura.

En el centro del diamante está la cultura real de una organización que es la suma de los comportamientos predominantes en la organización basados en lo que la gente cree que es la forma aceptada y correcta del trabajo. Una evaluación del grado en que una cultura está alineada con los principios de la excelencia operativa, es el enfoque principal del Premio Shingo.

En realidad, la cultura organizacional se desarrolla a lo largo del tiempo y se refuerza por los sistemas, estructuras y procesos existentes. En el modelo Shingo, se basa en la necesidad de un líder basado en los principios dentro de la organización para establecer su brújula interna, los principios de excelencia operacional.

Los principios de excelencia operacional lo encontramos en la casa del modelo Shingo que describe los principios fundamentales del Sistema de Producción Toyota, y la filosofía de Deming, Shingo, Womack, y muchos otros.

Los valores de comportamiento y los valores que no están arraigados en principios, conducen a un comportamiento inapropiado. El comportamiento inapropiado provoca una cultura organizacional disfuncional y no productiva. Para alinear los diversos valores de toda una organización alrededor de los principios se requiere un proceso sostenido, deliberado y sistemático. El modelo sugiere un enfoque sistémico, que lo constituyen los cuatro vértices del diamante.

Experimentar con el principio. Una de los principios de la excelencia operativa es el pensamiento científico, que tiene por objeto fomentar una cultura de experimentación y el profundo aprendizaje. La gente debe ser capaz de poner a prueba cada uno de los principios adoptados por el líder basado en principios.

Sólo cuando la gente vea por sí misma la relación de causa y efecto de los resultados relacionados con los principios, llegarán a comprender

profundamente el valor que el principio tiene para ellos. La repetición a través de muchos ciclos de aprendizaje en el experimento da a la gente una experiencia personal con los principios y los faculta para hacer juicios personales acerca de lo correcto o lo malo del principio.

Alinear los sistemas. En el contexto organizacional, los negocios, gestión y los sistemas de trabajo de la compañía deben estar cuidadosamente diseñados para reforzar la adopción del principio. Los principios alinean el desarrollo de sistemas y los sistemas manejan el comportamiento que es congruente con el principio.

Elegir las herramientas apropiadas. Por décadas, las organizaciones han introducido nuevas herramientas y métodos en un esfuerzo para conducir a la mejora. Desafortunadamente, aprender “cómo” hacer algo sin aprender “porqué” puede llevar al mal uso, abuso y posible distorsión del concepto. Las herramientas deben ser seleccionadas para apoyar a los sistemas, no al revés.

Logro de resultados. Cuanto el resultado refuerza más la aplicación del principio, este realmente le da poder a los empleados para actuar independientemente, de una manera poderosa y alineada con las intenciones de los líderes. La experiencia ha enseñado que hay roles organizacionales claros en una transformación. Los grandes líderes necesitan gastar una porción significativa de su tiempo entendiendo, alineando y comunicando principios y sus valores correspondientes. Ellos deben definir cuidadosamente los comportamientos deseados que esperan en la organización y pensar acerca de la cultura que ellos son responsables de construir.

Los comportamientos apropiados son la evidencia de que los principios y valores están claramente entendidos por los individuos de la organización. Los gerentes deben invertir un tiempo significativo en definir, gestionar y mejorar sistemas y medidas que conduzcan la cultura deseada a través de la organización.

Finalmente, cada persona en la organización necesita de forma activa la aplicación de las herramientas de la mejora continua en el ámbito de su trabajo diario.

1.2. FILOSOFÍA LEAN

“Lean” es un término en inglés –el término equivalente en japonés es “muda”- que se traduce como “desperdicio” y “no agrega valor”, comúnmente se define como “sin pérdidas” por su principio fundamental que es realizar actividades sin desperdicios. Dicho concepto fue descubierto por investigadores del MIT, ellos realizaron una expedición alrededor del mundo para encontrar las mejores prácticas de manufactura, y descubrieron en Japón el Sistema de Producción Toyota desarrollado por Taichí Ohno y Shigeo Shingo, el cual consolidaron en lo que denominaron “Producción Sin Pérdidas” (Lean Production). La esencia – principios, valores, conceptos, sistemas, técnicas y herramientas - de esta forma de producir es denominada “Filosofía Lean” (Lean Thinking), que es aplicable a otros sectores (hospitales, construcción, oficinas, etc.), e incluso es considerada una filosofía de vida.

1.2.1. Desarrollo Histórico

La filosofía Lean recoge el producto de la evolución de la administración de los sistemas de producción, el cual en 1776 inicia Adam Smith con su propuesta de la división del trabajo que elimina la artesanía en su libro “La Riqueza de las Naciones”. Casi cien años después, en 1875 Frederick Taylor, Padre de la Ingeniería Industrial, propuso la Administración Científica con el estudio de tiempos y con ella logró que “un trabajador sea mejor remunerado y la fábrica contaba con mejores utilidades”. Luego, los esposos Gilbreth, seguidores de Taylor, descubren que en todo proceso se pueden manifestar cuatro operaciones, las cuales son: transformación, transporte, espera e inspección. Además, los Gilbreth desarrollaron el estudio de movimientos y propusieron los 18 Therblig – micro-movimientos.

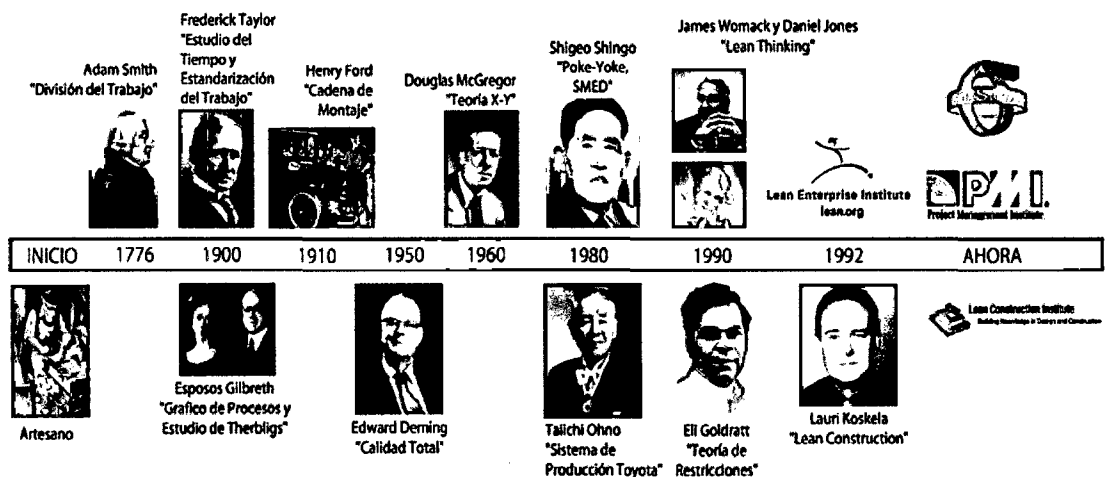
Para 1910, en EE.UU., Charles Sorensen revolucionó la industria automotriz, la Compañía Ford de Henry Ford, creando un sistema de producción como una línea de montaje la cual se iniciaba con el chasis, a lo largo se colocaban las partes necesarias, para que al final de la línea haya un modelo “T” listo para vender. Luego de la Segunda Guerra Mundial, en 1948, en Japón apareció Edward Deming quién fue uno de los actores principales para la notable evolución de un Japón arruinado después de la guerra gracias a la introducción de las Siete Herramientas Estadísticas del Control de Calidad y otros conceptos

fundamentales para la Calidad Total en las empresas japonesas. En 1960, Douglas McGregor propone priorizar al ser humano dentro de la administración de los sistemas de producción con la Teoría X-Y.

Mientras tanto, en Japón, gracias a su espíritu emprendedor y disciplina, la compañía Toyota desarrollo su famoso Sistema de Producción Toyota, que fue inspirado usando los aportes de Taylor, Gilbreth, Ford y Deming. Además de los aportes de sus creadores como Taiichi Ohno quien se inspiró en el funcionamiento de los supermercados de EE.UU. para la creación del sistema Justo A Tiempo, y el ingenio y filosofía de Shigeo Shingo basada en cero stock, cero defectos y mejora continua.

En 1987, Eli Goldratt -físico israelí, Gurú en Administración de empresas- introduce la Teoría de Restricciones para la optimización de los procesos. En 1990, El Sistema de Producción Toyota fue descubierto para el mundo occidental por un equipo del MIT⁸ liderados por James Womack y Daniel Jones, además son quienes dan origen a la acuñación "Lean". Estos investigadores no fueron los únicos pioneros en la materia, pero si los que consiguieron hacer llegar la filosofía lean a través de dos libros: "La máquina que cambió el mundo" y "Lean Thinking". Hoy clásicos de culto.

Figura 1.4. Línea de tiempo de la evolución de los sistemas de producción



Fuente: Elaboración propia

⁸ MIT, Instituto Tecnológico de Massachusetts

El objetivo de la Filosofía Lean es encontrar herramientas que ayuden a eliminar todos los desperdicios y todas las operaciones que no le agregan valor al producto o a los procesos, aumentando el valor de cada actividad realizada y eliminando lo que no se requiere. Por otro lado, sirve para implantar una filosofía de mejora continua que le permita a las compañías reducir sus costos, mejorar los procesos y eliminar los desperdicios para aumentar la satisfacción del cliente interno y externo, además de asegurar e incrementar el margen de utilidad de la empresa. El propósito de la Filosofía Lean es serle útil a la comunidad ofreciendo productos de bajo precio y de calidad, lo cual implica estar en busca de la mejora continua. La Filosofía Lean se puede resumir en, “El sistema más eficiente al menor costo con la más alta calidad, operando en un entorno que respeta y enriquece el espíritu humano”.

1.2.2. Principios de la Filosofía Lean

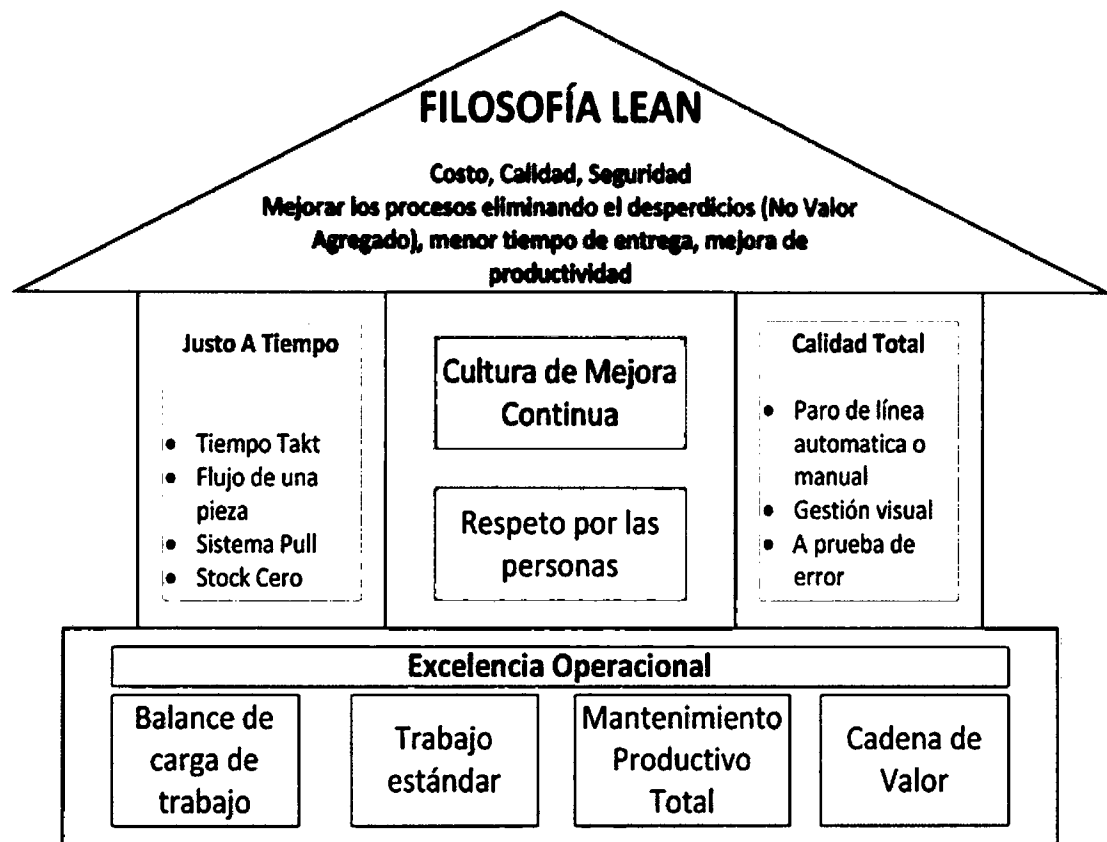
Son cinco los principios de la “Filosofía Lean” que lograron que la industria japonesa y toda aquella que la halla implementado logre el éxito. Estas son:

- (1) Definir el Valor desde la perspectiva del cliente,
- (2) Identificar el Flujo de Valor,
- (3) Flujo Continuo,
- (4) Sistema “Pull”, y
- (5) Buscar la Perfección.

En la Filosofía Lean, el valor es determinado por el cliente final. Lo que significa identificar lo que el cliente está dispuesto a pagar, lo que crea valor para el cliente distinto a los desperdicios de la producción que no crean valor. Todo el proceso de producción y entrega de un producto debería ser examinado y optimizado desde la perspectiva del cliente. Una vez que el valor este definido, se puede explorar el flujo de valor, siendo todas las actividades – tanto las que agregan valor como las que no – que se requieren para llevar el producto desde la materia prima hasta el producto final para el cliente. A continuación, los procesos que generen desperdicios deben ser eliminados y el flujo puede ser introducido en los restantes procesos que agregan valor. El concepto de flujo

consiste en procesar una sola pieza a la vez, desde la materia prima hasta convertirse en un producto acabado, para moverlas una por una a la siguiente estación de trabajo sin tiempo de espera en el medio. "Pull" –Tire- es la noción de la producción a un ritmo de la demanda del cliente interno. La perfección se alcanza cuando la gente dentro de la organización se da cuenta de que el proceso de mejora continua de la eliminación de residuos y la reducción de errores al tiempo que ofrece lo que el cliente quiere en realidad, se hace posible. El diagrama de la casa (Figura I-5) puede ayudar a comprender la Filosofía Lean de la escuela japonesa.

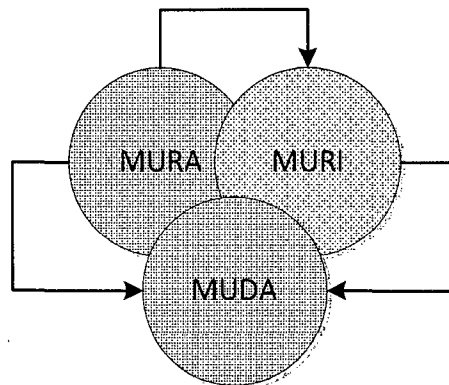
Figura 1.5. Casa de la Filosofía Lean



1.2.3. Los Tipos de Desperdicios para la Filosofía Lean

Para la Filosofía Lean existen tres tipos de variaciones que dan pie a los desperdicios. Estas variaciones son Mura, Muri y Muda.

Figura 1.6: Los tres tipos de variaciones



Fuente: (Liker, 2004)

Mura (Desigualdad), la producción o carga de trabajo irregular o fluctuante debido a mala planificación, personal paralizado, equipos no operativos, falta de insumos o demanda irregular.

Muri (Sobrecarga de personas o equipos), Se traduce en problemas de seguridad y calidad.

Muda (Sin valor agregado), busca los ocho desechos. Estos son:

- (1) **Sobre producción**, se crea en la producción más productos o información o pruebas o tratamientos de lo necesario.
- (2) **Inventario**, acumulación de productos o información.
- (3) **Transporte**, desplazamiento de materiales o personas o información.
- (4) **Desplazamiento innecesario**, desplazamiento de personas para acceder o procesar materiales o información.
- (5) **Espera, espera de materiales**, personas paralizadas por falta de materiales, información o trabajo en proceso, en espera de ser procesado.
- (6) **Productos defectuosos**, errores o equivocaciones que hacen necesario repetir el esfuerzo para corregir el problema, o rehacer el producto.

(7) **Sobre-procesamiento**, procesar más de lo necesario para hacer el producto deseado.

(8) **Creatividad desaprovechada de empleados**, perder oportunidades de mejoramiento por no hacer participar o escuchar a los empleados.

1.2.4. Lean Construction

Lean Construction surgió gracias al informe de investigación que elaboró el Dr. Lauri Koskela como parte de su Visiting Scholar en el Center for Integrated Facility Engineering, Universidad de Stanford, California. Gregory Howell, actual presidente del Instituto de Lean Construction y Glenn Ballard, creador de Last Planner⁹ (Ballard H. G., 2000), acuñaron el nombre de Lean Construction debido a que el trabajo de Koskela es un intento (Koskela L., 1992) por adoptar el Lean Manufacturing¹⁰ a la Construcción. Lean Construction es una filosofía en desarrollo que se evidencia en las Conferencias Anuales del Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC).

Adaptar una filosofía creada en la industria de manufactura, a la construcción, se torna complicado porque existe diferencia en muchos aspectos, pero esto parece ser cierto a nivel de proyecto, no lo es tanto a nivel de las operaciones de construcción debido a que son propias de la producción industrial (Serpell Bley, 2002), por ejemplo: Procesos de producción en serie – habilitado de acero -, actividades repetitivas, productos pequeños en grandes volúmenes – concreto -, y periodos cortos de producción.

En la Tabla 1.1, se presentan las diferencias que existen en la industria manufacturera y la construcción, lo cual es importante tener en cuenta para una mejor comprensión de las técnicas que fueron creadas en manufactura, para su adaptación en la construcción, considerando sus limitaciones.

⁹ Last Planner, o último planificador es una forma de planificar a corto tiempo minimizando la variabilidad con grandes resultados en los proyectos de construcción

¹⁰ Lean Manufacturing es la aplicación Lean Thinking a la producción en fabrica, teniendo como ejemplo principal al Sistema de Producción Toyota.

Tabla 1.1. Diferencias entre la Manufactura y la Construcción

CARACTERÍSTICA	MANUFACTURA	CONSTRUCCIÓN
Productividad	Alta	Media a Baja
Organización	Lineal/Funcional/Jerárquica, con fuerte integración vertical, estable	Asesoría/Matricial/Proyecto, con fuerte integración lateral, flexible; varía con el tiempo
Series de Productos	Producción en masa, cíclica, basada en estudios de mercado. Compradores anónimos, casi sin influencia en la producción	Un solo producto, construido a gusto del cliente, quien tiene la última palabra
Producto	Pequeño, transportable, barato e inventariable. Substituible	Grande, inamovible, caro
Diseño del producto	Integrado con la producción	Diseño no integrado con producción
Ciclo de producción	Corto	Largo
Centros de costo	Intensivos en capital/tecnología	Intensivos en mano de obra, activos fijos mínimos
Control	Programas y presupuestos confiables, buen control de calidad	Es común el incumplimiento de los programas y presupuestos. Control de calidad deficiente
Mano de Obra	Permanente, estaciones de trabajo fijas y estables	Itinerario, alta movilidad en la obra
Seguridad	Entorno relativamente protegido	Trabajo riesgoso
Entorno	Protegido del clima, se puede acumular inventarios para protegerse de problemas externos	Susceptible a variaciones del clima, a los atrasos en las entregas de materiales, etc.
Ubicación	Urbana, con fácil acceso a mano de obra, materiales y equipos	Urbana/rural, puede ser muy inaccesible, lejana
Nueva operación	Se adaptan equipos y herramientas al nuevo producto	Sitio nuevo, nuevas fuentes de personal y proveedores de materiales. Casi todo es nuevo
Investigación	Permanente	Mínima o nula
Calidad de los productos	Buena	Razonable en general.
Grado de Innovación	Bueno	Bajo

Fuente: Basado en (Serpell Bley, 2002)

A. Nueva Filosofía de Construcción

En la propuesta de (Koskela L., 1992) describe al sistema de producción tradicional con el cual se gestiona la construcción como procesos de conversiones. La nueva filosofía describe a la producción como conversiones y

flujos, donde solo las conversiones añaden valor. Los flujos no se consideran dentro de la gestión tradicional, lo cual causa pérdidas y una gestión ineficiente.

La nueva visión propone que un proyecto de construcción consiste de tres flujos básicos (proceso de diseño, proceso de material y proceso de trabajo) y flujos de soporte. Para la mayoría de organizaciones estos procesos se repiten de proyecto en proyecto con varias modificaciones.

La nueva filosofía se basa en dos conceptos principales como son el sistema Just in Time (JIT) y Control Total de la Calidad (TQC). Son conceptos estratégicos para mejorar la productividad, calidad y flexibilidad en todo proyecto de construcción, e incluso en toda la empresa (Imai, 1998).

Just In Time, es un sistema de producción que se enfoca en reducir o eliminar inventarios dentro del proceso. También es conocido como sistema “pull”, ya que la producción es iniciada por la demanda interna actual en vez de planes basados en estimaciones. Este sistema trajo consigo técnicas como reducción de tamaño de lote, reducción del tiempo de configuración de máquina, optimización del layout, entre otras.

Control Total de la Calidad, la calidad ha ido evolucionando. La calidad al principio era un inspección al 100% de los productos terminados, luego (Deming, 1982) se pasó al muestreo y al uso de la herramientas estadísticas, además sugiere asegurar la calidad en la fuente, con el sistema “A prueba de Errores” - Poke-Yoke- de (Shingo, 1987). La calidad total es: (1) Calidad en todos los departamentos del proyecto y empresa, (2) Control de calidad desde los trabajadores hasta los gerentes, y (3) expandir la noción de calidad para cubrir todas las operaciones de la compañía.

B. Principios Lean

Existen tres principios que son los fundamentales para poder entender, pensar y actuar en *Lean*: **Generar Valor, Eliminar Desperdicios y Mejora Continua.**

(Koskela L., 1992) Propone que la filosofía de Lean Construcción debe seguir ciertos principios para optimizar el diseño, construcción, y control en la práctica, los cuales se pueden consolidar en los 3 principios fundamentales mencionados

en el párrafo anterior. Los 11 principios de Lean Construction se describen a continuación.

1. Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor, busca eliminar aquellas actividades que generan pérdidas, o bien aquellas que generan tiempos no productivos en el proceso. Sin embargo, existen actividades que no agregan valor pero que son necesarias para aquellas que agregan valor, este tipo de actividades deben ser reducidas y suprimirlas a través de la aplicación de nuevas tecnologías.

2. Incremento del valor del producto/servicio a partir de las consideraciones de los clientes externos/internos, el concepto de valor debe ser considerado desde el punto de vista del cliente (interno y externo). De esta forma, debe ser conocido lo que el cliente valora para garantizar su satisfacción. El cliente interno valora reducir costos y tiempo por procesos eficientes, y el valor para el cliente externo se halla en la investigación del mercado y respaldo post-venta.

3. Reducción de la variabilidad. La construcción presenta variabilidad en sus procesos y productos debido a los materiales defectuosos, procedimientos no estandarizados y necesidades específicas de los clientes involucrados en el proceso. Tener en cuenta que la variabilidad ocasiona que la generación de desperdicios incremente la cantidad de actividades que no agregan valor.

4. Reducción del tiempo de ciclo, teniendo en cuenta que el tiempo de ciclo está formado por el tiempo de los procesos que lo conforman, el tiempo invertido en transformación, inspección, espera y movimiento, los tres últimos deben ser reducidos o eliminados para reducir el tiempo de ciclo por ser consideradas actividades que no agregan valor. Lo que se debe tener en cuenta es: (a) Realizar la entrega lo antes posible al cliente interno. (b) Disminuir las interrupciones en los procesos de producción. (c) Sectorización en áreas y volúmenes iguales. (d) Reducir el tamaño del lote.

5. Simplificación de procesos, se puede conseguir enfocándose en dos aspectos: (a) Reducir el número de componentes del producto, y (b) Reducir el número de pasos en el flujo de materiales, de información y de producción consiguiendo reducir las actividades que no agregan valor al producto final.

6. Incremento de la flexibilidad de la producción, se puede entender desde un enfoque en diferentes aspectos: (a) Minimizar el tamaño de los lotes de transferencia para atender mejor la demanda, (b) Personalización del producto, y (c) Entrenar a trabajadores que puedan cumplir múltiples funciones, y/o realizar diversas actividades en la producción.

7. Transparencia del proceso, es indispensable porque al no tener visible el proceso se incrementan los errores, se reduce la visibilidad de los mismos, y se disminuye la motivación para la mejora. Para conseguirlo, es recomendable un adecuado control de calidad en los procesos bajo estudio y establecer una metodología de ordenamiento y limpieza básicos para eliminar lo inservible, como por ejemplo, el método de las "5S" (organización, ordenamiento, limpieza, estandarización y disciplina).

8. Enfoque del control al proceso completo, permite tener una acción proactiva en solucionar las causas de problemas que ocasionan desperdicios e incrementan el tiempo del proceso. Para esto, primero el proceso completo debe de ser identificado, para luego poder ser medido, interpretado y mejorado.

9. Mejora continua del proceso, en la construcción, se busca la efectividad en el uso de los recursos (material, equipos, humano, entre otros) mediante la aplicación de técnicas de análisis, para finalmente obtener mayores niveles de calidad, productividad, y seguridad, de forma continua en el tiempo.

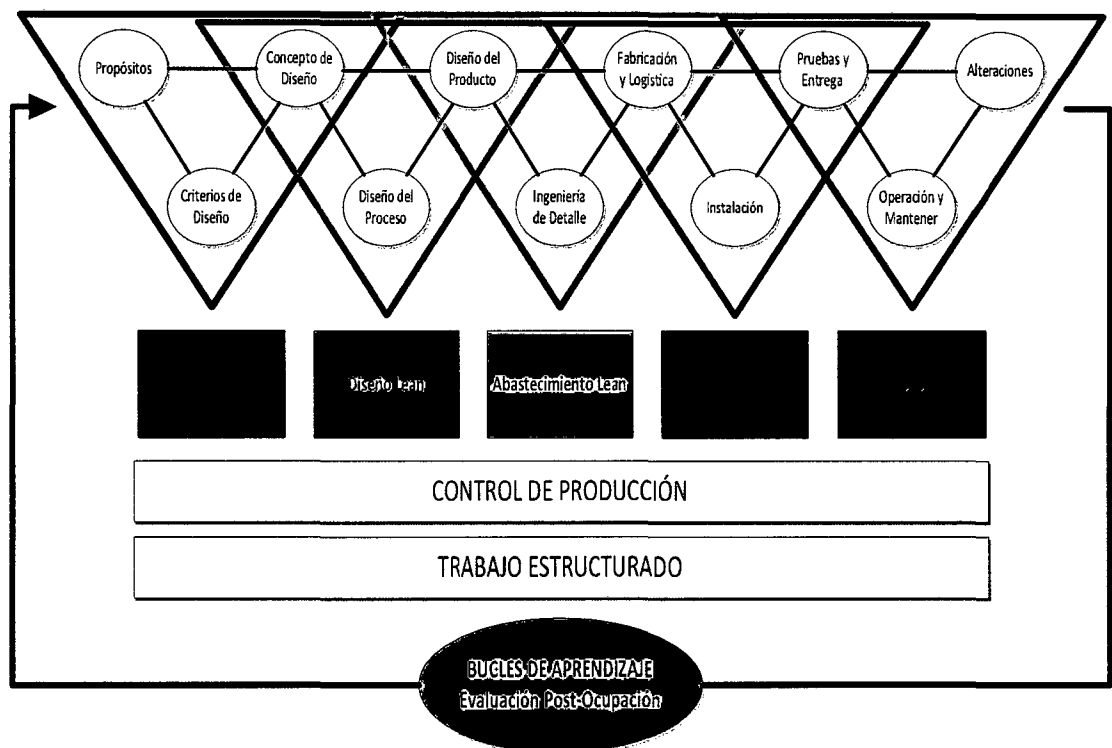
10. Balance de mejoramiento del flujo con mejoramiento de la conversión, es importante tener en cuenta que cuando mayor sea la complejidad del proceso de producción, mayor es el impacto del mejoramiento de los flujos. Asimismo, al mejorar el balance del flujo, se consiguen disminuir las pérdidas existentes dentro del mismo, lo cual trae como consecuencia un aumento de la productividad.

11. Benchmarking, es un método para mejorar procesos a través de la comparación con otros procesos internos o de empresas líderes mediante la identificación de desperdicio y mejoras realizadas para así conseguir una reconfiguración de los procesos.

1.2.5. Sistema de Distribución de Proyectos Lean

Glenn Ballard a través del Instituto Lean Construction¹¹, quienes en su visión global de la Gestión de Proyecto basados en la Filosofía Lean proponen su modelo “Sistema de Distribución de Proyectos Lean” (Lean Project Delivery System - LPDS), que contempla 5 fases compuestas por: (1) Definición del Proyecto, (2) Diseño Lean, (3) Abastecimiento Lean, (4) Ensamblaje Lean, y (6) Uso; cada una estas fases está compuesta por una triada de módulos que se traslapan al cambios de fase, siendo en total 13 módulos, 2 de los cuales se extienden a los largo de todas las fases.

Figura 1.7. Lean Project Delivery System



Fuente: (Ballard, 2008)

¹¹ Instituto Lean Construction, es el instituto que se forma en 1997 basándose en el estudio realizado por el Dr. Lauri Koskela sobre la aplicación de la filosofía japonesa a la construcción llamada Nueva Filosofía de Producción que luego fue acuñada Lean Construction.

1.3. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN

Comprender que es el sistema de construcción será importante para el desarrollo de la investigación. Todo objeto, sociedad, individuo, es un sistema o parte de un sistema, en la construcción es igual.

En la construcción se usan dos términos refiriéndose a sistemas, como son el sistema constructivo y el sistema de producción, y seguro otros más, pero los dos primeros serán descritos más adelante. También se aclarará términos importantes como son el procedimiento constructivo y flujo de producción.

Es indispensable que toda investigación identifique el sistema donde se desarrollará, ya que, un sistema es un ser orgánico, complejo y dinámico. Por lo tanto, un sistema requiere de un análisis holístico aún si se estudia todo el sistema o a solo uno de sus componentes.

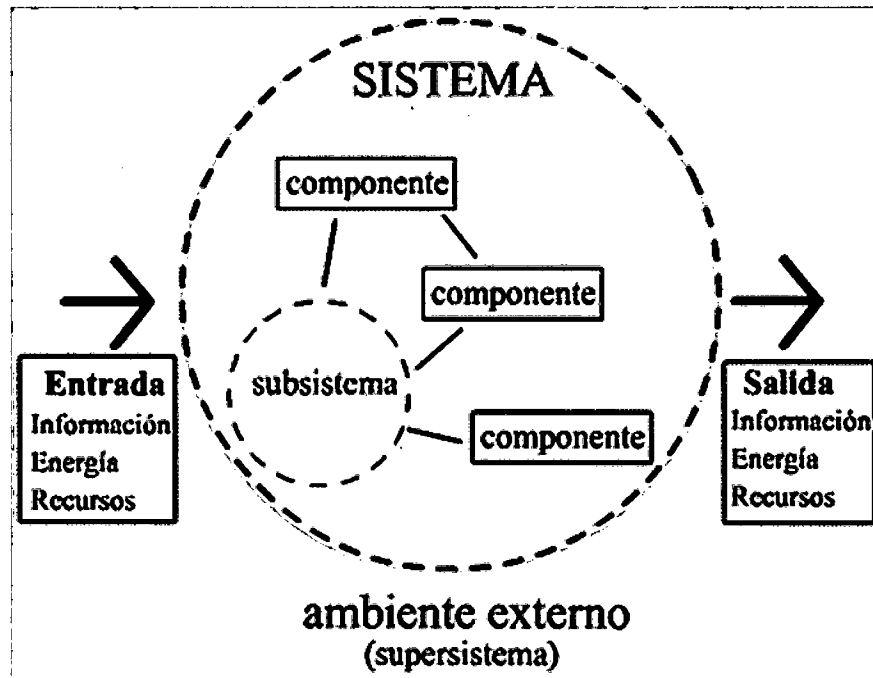
1.3.1. Sistema

Este término es, tal vez, el más trabajado y conceptualizado en todos los equipos y contextos de la ciencia. Una de las definiciones más claras nos dice: Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí, de forma tal que un cambio en un elemento afecta al conjunto de todos ellos. Los elementos relacionados directa o indirectamente con el problema, y sólo estos, formarán el sistema. Para estudiar un sistema debe conocer los elementos que lo forman y las relaciones que existen entre ellos.

También los sistemas se identifican como conjuntos de elementos o entidades que guardan estrechas relaciones entre sí y que mantienen al sistema directa o indirectamente unido de modo más o menos estable y cuyo comportamiento global persigue, normalmente, algún tipo de objetivo, por ejemplo, optimizar la producción.

Un sistema puede ser abierto o cerrado. Los sistemas cerrados - o mecánicos - funcionan de acuerdo con predeterminadas relaciones de causa y efecto y mantienen un intercambio predeterminado también con el ambiente, donde determinadas entradas producen determinadas salidas. En cambio un sistema abierto - orgánico - funcionan dentro de relaciones causa-efecto desconocida e indeterminada y mantienen un intercambio intenso con el ambiente.

Figura 1.8. Esquema gráfico general de un sistema



Fuente: (Hernández Cárdenas, 2005)

1.3.2. Sistema Constructivo

Los proyectos en construcción pueden ser diferenciados por su función estructural y materiales de construcción. Generalmente, las construcciones de edificaciones corresponden a cuatro diferentes sistemas constructivos como son: sistema de albañilería confinada, sistema de muros vaciados en concreto utilizando encofrado, sistema aporticado – marcos compuestos por columnas y vigas de concreto o acero- y sistema combinado – unión de muros vaciados en concreto y mampostería estructural. (Ministerio de Vivienda, 2009)

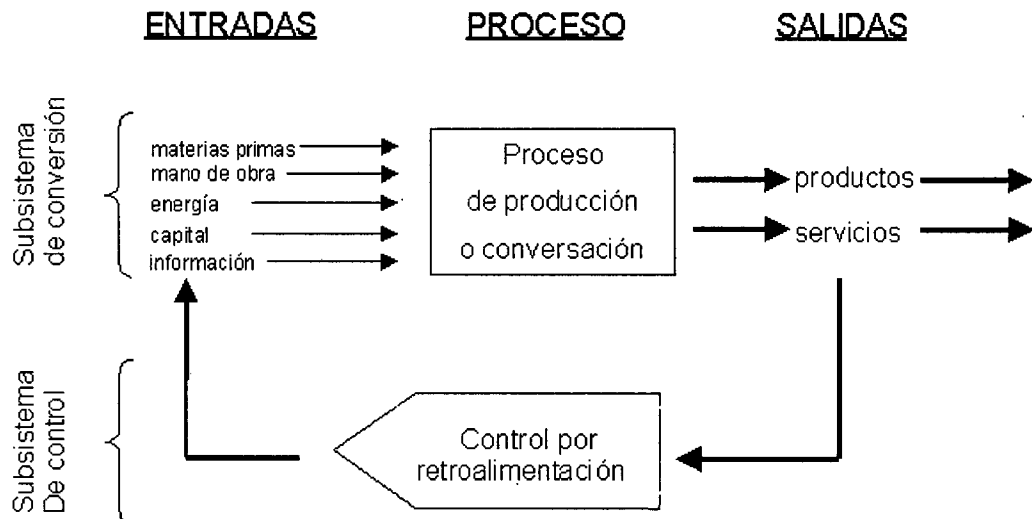
1.3.3. Sistema de Producción

Las empresas son *sistemas* completamente *abiertos* con sus respectivas dificultades. Las empresas importan recursos a través de sus entradas, procesan y transforman esos recursos y exportan el resultado de ese procesamiento y transformación de regreso al ambiente a través de sus salidas.

Un sistema de producción es entonces la manera en que se lleva a cabo la entrada de las materias primas (que pueden ser materiales, información, etc.) así

como el proceso dentro de la empresa para transformar los materiales y así obtener un producto terminado para la entrega de los mismos a los clientes o consumidores, teniendo en cuenta un control adecuado del mismo.

Figura 1.9. Esquema gráfico del sistema de producción



Fuente: (Schroeder, 2004)

A. Tipos de sistemas de producción

En ingeniería industrial se describen algunos tipos de sistemas de producción.

Sistema de producción por montaje, es la creada por la empresa automotriz Ford. La propia naturaleza del producto hace que este se vaya ensamblando en sucesivas etapas que convergen hacia un tronco principal: la línea de montaje final. Se configuran así verdaderas redes en las que cada punto de unión es alimentado por algunos o muchos componentes, dando lugar a una estructura con tiempos asociados.

Sistema de producción JAT¹². El Justo a Tiempo introduce flexibilidad al sistema de producción en masa, fabricando solo lo que se necesita en el momento que se necesita. La programación se realiza en la línea de montaje final y cada centro de trabajo pide al centro de trabajo anterior solo el número de piezas que necesita para seguir el proceso productivo, es por eso, que el sistema JAT es un

¹² JAT, es las iniciales de Justo A Tiempo, o más conocido como Just In Time, JIT.

sistema PULL porque cada centro de trabajo posterior pide al anterior las piezas que necesita para continuar la producción.

Sistema de producción para stock. En ella se reciben frecuentes pedidos de los clientes que dan lugar a órdenes de producción o trabajo. Estas son generalmente de variada índole y se complementan con los recursos disponibles, que a veces resultan insuficientes y otras veces quedan en gran medida ociosas. Aún más, es corriente que ciertas estaciones se hallen abarrotadas y otras con muy poca labor. Cobra especial significación la preparación o alistamiento de la maquinaria para pasar de una producción a la siguiente. Cada pedido suele requerir una programación individual y soluciones puntuales a los problemas que trae aparejados.

1.3.4. Procedimiento Constructivo

Es el método o técnica de cómo se realizará una actividad en construcción, por ejemplo procedimiento constructivo para encofrar, o colocar acero. Depende mucho del sistema constructivo, además son los procedimientos a seguir dentro del sistema de producción.

Los procedimientos constructivos son las reglas diseñadas por el proyectista y las normas vigentes para realizar una actividad en construcción con el fin de obtener productos según las especificaciones. El constructor o contratista puede tener como ventaja competitiva procedimientos constructivos propios. Todo proceso constructivo está influenciado por 3 factores principales, como son: la mano de obra, los materiales, y los equipos o máquinas.

1.3.5. Flujo de producción

La Filosofía Lean se preocupa en la eliminación del desperdicio: "Desperdicio" se define como sobre o baja producción, tiempo de espera, transporte, procesamiento inapropiado, inventario de materiales innecesario, movimiento innecesario, y defectos de producto. En el marco de la Filosofía Lean, existen principios, métodos, técnicas, y herramientas que pueden ser aplicadas para eliminar uno o más de los desperdicios mencionados. La Filosofía Lean tiene 5 principios básicos: (1) Definir el valor desde la perspectiva del cliente, (2) Identificar el flujo de valor, (3) Lograr flujo adecuado en la producción, (4)

Programar la producción usando “Pull”, y (5) Buscar la perfección. En esta investigación se pretende implementar algunos de estos principios.

El sistema de producción tradicional procesa lote a lote, ocasionando colas – demoras o esperas en inventario para el próximo proceso. Esto debido a que el sistema de producción se desintegraba en departamentos por cada tipo de actividades tales como corte, montaje, soldadura, o pintado. Dicho sistema causa varios tipos de desperdicio, tal como se define en la Filosofía Lean: sobreproducción, tiempo de espera, transporte, inventario, y movimiento innecesario. Asimismo, el tiempo de entrega total del sistema de producción por lote es largo debido principalmente a los desperdicios mencionados anteriormente.

Por lo contrario, el flujo de producción es un término para describir todos los pasos esenciales que se necesitan para conseguir un trabajo hecho en un flujo constante, continuo, sin movimientos perdidos, sin interrupciones, sin lotes y sin colas; cumpliendo el objetivo final del principio de flujo, que es eliminar todas las paradas en todo el proceso de producción. En un sistema de flujo, las actividades de operación se ordenan en una secuencia con el fin de hacer fluir el sistema. Cuando solo se mueve un producto a la vez, se le llama “flujo de una sola pieza”.

Los sistemas de flujo eliminan en gran medida los desperdicios, retrasos, y tiempos de espera generados por el sistema de producción tradicional. Ellos reducen inventario y transporte, que posteriormente se traduce en menos movimiento laboral y en menor ocupación del espacio. Sin embargo, implementar un sistema de flujo, especialmente un método de flujo de una sola pieza, tiene ciertos requisitos. El tiempo de configuración de una máquina debería ser corto, o incluso instantáneo, a partir de una especificación del producto al siguiente. El tamaño de un producto debería ser adecuado: un producto demasiado pequeño conduce a un uso ineficiente de tiempo de preparación. Los trabajadores necesitan ser capacitados en diferentes habilidades para desarrollar más tareas.

1.4. PERSPECTIVA DE COMPLEJIDAD

La complejidad y la teoría de sistemas complejos son aspectos en los que cada vez existe mayor interés, y tal vez la mayoría de sistemas en nuestra vida deben ser comprendidos desde esta perspectiva.

Dado que la mayoría de sistemas existentes se caracterizan por su no linealidad -sus resultados no son proporcionales a sus entradas- y se enriquecen con su retro-alimentación, un enfoque analítico formal no sería necesario, ya que, las ecuaciones no pueden ser resueltas pero la mayoría si pueden ser simuladas. Tampoco se puede utilizar un enfoque estadístico puro, tal como se utiliza en la mecánica cuántica.

Considerando el sistema como un todo, abre las posibilidades de nuevas características y comportamientos que no se encontraron con el enfoque tradicional, y esta visión contribuye en gran medida a la comprensión del sistema en cuestión. Esto se ha demostrado en diferentes campos como la meteorología, biología, tráfico y economía. También la gestión en general ha sido provechosamente estudiada y comprendida en esta nueva perspectiva.

Este es un argumento fuerte para observar e interpretar la construcción en una perspectiva de la complejidad y, el crear y administrar nuevos paradigmas de gestión de proyectos, en comparación con el enfoque reduccionista que se utiliza tradicionalmente en la organización y operación de los proyectos.

1.4.1. Definiciones de complejidad

La complejidad es una ciencia emergente como resultado del creciente número de artículos científicos en los últimos años, sin embargo, no se tiene una definición común de la complejidad.

Los gerentes de proyecto usan el término "proyecto complejo", sin tener claro su significado, cuando el proyecto es algo más que un "gran proyecto". (Edmons, 1999) plantea que la complejidad se relaciona con algunos conceptos como: el tamaño, cuando el proyecto es un complejo habitacional o la micro mecánica del concreto; se pueden tornar complejos; la ignorancia de la cura de una enfermedad o la predicción de sismos; conduce a la afirmación de su complejidad, el tamaño del sistema, como diagramas de red con muchas

actividades interdependientes, así como, la cantidad de información necesaria para describir un sistema; la variedad, se asocia a lo complejo, por la cantidad de formas que puede adquirir un objeto, o la cantidad de formas que lo componen; finalmente, el orden y desorden, la calificación de complejo está influenciada por la percepción y por la facilidad o dificultad de describir el objeto.

(Baccari, 1996) Propuso que la complejidad debe ser operacionalizada¹³ en términos de diferenciación – la cantidad de elementos variados, por ejemplo, tareas, especialistas, equipos, entre otros - e interdependencia – el grado de interrelación entre estos elementos - , y se aplica a las dimensiones relevantes de la gestión de proyectos, tales como son: organización, tecnología, ambiente, información, toma de decisiones y sistemas.

(Vargas, 2013) La complejidad es aquella propiedad de una expresión de lenguaje la cual es difícil formular para expresar el comportamiento total, aun cuando se cuente con la información completa respecto a sus componentes atómicos (o mínimos) y su interrelación.

(Edmons, 1999) Considera que la definición de complejidad no puede ser genérica, para ser útil, debe referirse a un sistema en la realidad. Es más, puede variar según el aspecto que interese a quien esté efectuando el análisis.

La razón de que no se llegue a una definición clara puede ser que casi cualquier problema puede ser visto como complejo. Por lo tanto, los sistemas complejos no son una clase especial de sistemas sino una manera de mirar a cualquier sistema, contrario al punto de vista ordenado que ha propuesto el enfoque del reduccionismo¹⁴ de la ciencia occidental desde el Renacimiento. La interpretación del estudio de complejidad significa el estudio holístico del sistema - como un todo - , sin simplificaciones, y la observación de la interrelación entre los elementos tanto como los propios elementos.

¹³ Definir un concepto o variable de manera que se puede medir o expresarse cuantitativamente.

¹⁴ Reduccionismo, en el enfoque filosófico según el cual la reducción es necesaria y suficiente para resolver diversos problemas de conocimiento. Estudiar los sistemas a través del análisis de sus componentes individualmente, y de esa forma simplificar el estudio.

1.4.2. Complejidad en la construcción

La visión general de la construcción es que es un fenómeno ordenado y lineal que puede ser organizado, planeado y dirigido por pocas personas que distribuyen la información hacia niveles inferiores. Frecuentemente ocurren fallas en el presupuesto y programación que hace pensar que tal vez no tenga una naturaleza ordenada y predecible, sino – como algunos estudios lo han comprobado – que la construcción es un fenómeno complejo, no lineal y dinámico, que frecuentemente se encuentra en los límites del caos.

La gestión de proyectos entiende a la construcción como un fenómeno ordenado y simple – por lo tanto predecible – que puede ser dividido en contratos, fases, actividades, paquetes de trabajo, asignaciones, etc., para ser ejecutados independientemente. La construcción también es vista como un proceso lineal y secuencial que puede ser planeado en cualquier grado de detalle por medio de un adecuado esfuerzo y ejecutado de acuerdo con los planes.

(Nassar & Hegab, 2006) La complejidad afecta los objetivos del proyecto en términos de tiempo, costo y calidad, e incluso para la asignación de recursos. La visión de complejidad debe por lo tanto ser más enfocada al discutir nuevos paradigmas de gestión de proyectos.

Se propone que la percepción de la naturaleza del proyecto descrita como ordenada y lineal es una equivocación fundamental, por ejemplo, la dinámica del entorno no es tomada en cuenta. La gestión de proyectos debe percibir el proyecto como complejo - fenómeno dinámico en un entorno complejo y no lineal.

La complejidad en construcción es determinada por la naturaleza complicada del proceso de diseño, que es causada por el hecho de que no existe una solución óptima para enfrentar los problemas, y donde las precondiciones son definidas en paralelo con las soluciones. La misma clase de complicaciones es a menudo encontrada en la fase de construcción. Los diferentes interesados tienen diferentes metas y objetivos, pero deben colaborar para que se complete exitosamente el proyecto. El compromiso es el camino a seguir en muchos casos.

El proyecto puede lucir como un proceso de línea de montaje secuencial, siendo está una perspectiva distante de la realidad. Pero en detalle, el proceso es altamente paralelo. Muchas actividades del proyecto no son interdependientes y pueden ser ejecutadas en cualquier secuencia o incluso en simultáneo sin algún efecto sobre el resultado.

La falta de estandarización de procesos añade complejidad por lo que en muchos casos corresponde a los trabajadores elegir cómo realizar su trabajo. Normalmente no se proporciona una descripción formal del proceso, y las instituciones de regulación y respaldo del sector construcción no interfieren en los límites contractuales con la forma de trabajo que se lleva a cabo, lo que aumenta la informalidad en el diseño de procesos de bajo nivel. Pero también a nivel de subcontrato no existe un proceso secuencial. El subcontratista puede tener su propia manera de ejecutar el trabajo.

El clima puede cambiar la secuencia, y eventos imprevistos pueden imponer cambios en la secuencia, que en gran medida se puede realizar teniendo impacto solo en la programación general, es lo que se piensa. Los planes y programas presentan una visión lineal idealizada de lo que debería ocurrir, pero no de lo que en realidad ocurre. El planeamiento no refleja exactamente la realidad, sino un planteamiento de lo que se quisiera lograr.

La naturaleza dinámica del proyecto proviene de la incertidumbre en los flujos que alimentan las tareas reales. (Koskela L. , 2000) Identifica siete flujos y demuestra que incluso pequeñas incertidumbres en estos flujos dan lugar a incertidumbres sustanciales en la ejecución planeada de las propias actividades. (Ghio Castillo, 2001) Estudios del uso del tiempo de trabajo indica que solo aprox. el 30% es usado para las propias tareas, aprox. 30% para preparaciones que pueden o no ser parte de las actividades y el resto es pérdidas. Las incertidumbres de hecho existen en la construcción.

Sin embargo, los eventos imprevistos no se distribuyen uniformemente. Algunas actividades no tienen problemas y toman quizás tan solo el tiempo neto más 10% del mismo, mientras que otras pueden tardar hasta diez veces el tiempo neto. Estudios de la variabilidad de la productividad indican que la distribución de la duración ni siquiera está normalmente distribuida como uno puede esperar, sino más bien es caótica. Estas fluctuaciones se igualan más o menos durante la

vida del proyecto, pero ellos lo hacen obvio porque las programaciones nunca son rígidamente seguidas en detalle. La razón es simple, la programación de un proyecto de construcción no se cumple porque no puede ser seguida fácilmente.

1.4.3. Perspectivas de complejidad en construcción

El aspecto de complejidad debe observarse por lo menos en tres perspectivas.

Primera, el propio proyecto como un proceso de línea de montaje es a menudo más complicado, paralelo y dinámico, y por lo tanto más complejo que lo contemplado en una gestión de proyecto tradicional. El error es la visión ordenada del entorno. Todos los suministros se cree están hechos de acuerdo con la programación –poco fiable- del proyecto, y todos los recursos tales como equipos y personal se suponen en espera, con total disposición para el proyecto. Además, no se consideran los cambios que ocurren en el proyecto. Sin embargo, esto no se parece a lo que se observa en la realidad de los proyectos.

Segundo, casi todos los proyectos de construcción están divididos en partes que son subcontratadas a empresas individuales. La industria de la construcción está por lo tanto muy fragmentada y sus empresas cooperan en constantes patrones de cambio, decidido principalmente por las ofertas más bajas para el proyecto en cuestión. Ellos también están entrelazados, como cada empresa al mismo tiempo participa en más de un proyecto, utilizando la misma capacidad de producción. Realizar el mapeo de la cadena de suministro en cualquier proyecto es difícil.

Tercero, el proyecto y la obra constituye un lugar de trabajo para seres humanos y un lugar para la cooperación e interacción social –humano-, que constituye –debido a la característica temporal- un gran sistema social transitorio. Este aspecto a menudo se oculta por el hecho de que el personal de la obra no es contratado para el puesto donde trabaja. Su lealtad está dividida entre su profesión y el trabajo a realizar, a menudo su profesión tiene la prioridad. La gestión de proyecto tradicional a menudo deja de lado este aspecto y no percibe a las cuadrillas en la obra como sus propios empleados en la empresa virtual, que es formada para el proyecto.

(Bertelsen S. , 2003) Analiza en detalle la complejidad en estas tres perspectivas basadas en la introducción de las 18 características de los sistemas complejos de (Lucas, 2013) y demuestra que todas las 18 características pueden ser encontradas en construcción - en su estudio solo considera 14 por ser más estables - aunque algunas en menor grado. Y se pueden encontrar en las tres dimensiones.

Tabla 1.2. Las 14 características estudiadas por Bertelsen

COMPONENTES	INTERRELACIÓN	RESULTADOS
<i>Agentes autónomos:</i> El sistema esta compuesto por agentes independientes, de los cuales varios no son identificados, además no se diseña la organización por lo que debe surgir una auto-organización para el control o liderazgo	<i>Valores indefinidos:</i> Los valores y resultados del sistema no se pueden especificar inicialmente, estos se crean por la interacción con el entorno	No lineal: Sus resultados no son proporcionales a sus entradas
<i>No-estándar:</i> Siguen reglas particulares bajo las mismas leyes globales	<i>Paisaje adaptativo:</i> La evolución gradual se rige por las mejores opciones de éxito diagramado en un paisaje adaptativo	Emergencia: Emergen propiedades gracias a las formas de sinergia o cooperación que van más allá de simples ideas de suma
<i>Co-evolución:</i> Evolución independiente para ajustarse dentro del sistema	<i>No uniforme:</i> Sus partes libres permiten diferentes asociaciones o movimiento, permitiendo agrupamiento y cambios con el tiempo y espacio	Atractores: Existen diferentes comportamientos posibles para el mismo sistema
<i>Auto-modificación:</i> Sufren adaptaciones dinámicas según su posición actual		Cambios de fase: El proceso de retroalimentación conduce a cambios repentinos de las propiedades del sistema
<i>Causalidad descendente:</i> Las partes son afectadas por las propiedades emergentes del conjunto		Impredecible: El comportamiento del sistemas es impredecible
<i>Auto-reproducción:</i> Pueden clonar copias idénticas o editadas, incluyendo mutaciones que permiten nuevas estructuras del sistema disponibles		

Fuente: (Bertelsen S. , 2003)

1.4.4. Variabilidad en la Construcción

Los procesos productivos son variables. Hay diferencias entre dos elementos, a pesar de que sean el mismo producto y los recursos necesarios para producirlos (tiempo, materiales, mano de obra) varían (Koskela L., 1992). La variabilidad es todo lo que aleja al sistema de producción de un comportamiento lineal y predecible.

La variabilidad se define como todo aquello que impide que los procesos se lleven a cabo de manera previsible. (González & Alarcón, 2003) Variabilidad es la calidad de no-uniformidad de una clase de entidades. Está muy relacionada con la aleatoriedad de un fenómeno. La desviación estándar y la varianza son medidas de variabilidad en una muestra o proceso.

Para (Dos Santos & Powell, 1999) La variabilidad son las desviaciones en relación a un valor objetivo – promedio o patrón – o límites de tolerancia. La variabilidad causa en la práctica demoras en la programación y errores en el producto.

Cada vez que un proceso está sujeto a la variabilidad, todos los aspectos de rendimiento de ese proceso variarán. Incluso una variación mínima en la calidad puede influenciar en la percepción del cliente de la calidad global.

A. Clasificación de la variabilidad

Deming sostiene que existen dos tipos de variabilidad en el flujo de producción: variación de causa común, que afecta permanentemente al proceso y con frecuencia puede ser modificada por la gerencia; y la variación de causa especial, más fácil de eliminar y que se presenta en forma imprevista (Mary, 1988).

(Koskela L. , 2000), considera dos tipos de variabilidad en los flujos de producción:

(a) Variabilidad en los tiempos de proceso; y

(b) variabilidad en el flujo.

La variabilidad en los tiempos de proceso, se refiere al tiempo requerido para procesar una tarea en una estación de trabajo. Este tipo de variabilidad consiste de variabilidad natural (fluctuación debido a diferencias entre operadores, máquinas y material), detenciones aleatorias, preparaciones, disponibilidad de operadores y trabajo rehecho (debido a calidad inaceptable).

Por otro lado, la variabilidad en el flujo, significa variabilidad en la llegada de materiales a una estación de trabajo.

Para el caso de la investigación se considera que la variabilidad se clasifica en variabilidad natural y variabilidad inducida.

Variabilidad natural, es producto de los factores aleatorios inherentes al proceso y es muy difícil y costoso para controlar o eliminar (Dos Santos & Powell, 1999). Está muy relacionada con las operaciones llevadas a cabo por personas, es decir, la mayoría de las actividades de la construcción. Al ser inherente a las acciones humanas, no se puede eliminar. También se relaciona con el número de pedidos de los clientes y el clima. Sin embargo, su influencia en la variación de costos y tiempos de entrega en los proyectos no es determinante, en realidad es mínima.

Variabilidad inducida, es debida a las causas que pueden ser identificadas y son más fácil de controlar -causas asignables- (Dos Santos & Powell, 1999). De acuerdo a su origen, se distinguen tres casos: Debido a paralizaciones imprevistas por la falta de materiales, falla de equipos, entre otros; Debido a paralizaciones previstas por cambio de frente de trabajo o de sector o diferente actividad. Son propias de la programación de obra, se tiene cierto control pues el ingeniero puede modificar el tamaño del sector o lote.; y finalmente, debido a re-trabajos, como consecuencia de problemas en la calidad, se incurre a actividades que no agregan valor. Los re-trabajos van en contra de la capacidad real del proceso y disminuyen la productividad.

B. Causas de variabilidad en construcción

La variabilidad en la construcción está presente por ser un sistema complejo, dinámico y no lineal, además, en la práctica se han identificado aspectos que podrían considerarse causas de la variabilidad en construcción.

Tabla 1.3. Causas de la Variabilidad

CAUSA	EXPLICACIÓN
Cambios en ingeniería	Se da cuando no hay una adecuada integración de las áreas de diseño (sanitario, estructura, arquitectura) ocasionando interferencias entre ellas.
Cambios del cliente	Requerimientos de último momento por parte del cliente o deseo de cambio por no satisfacerle lo que se está construyendo.
Diferentes tipos de productos en el proyecto	Ventanas y puertas de diferente modelos, tamaños, formas.
Disponibilidad de la mano de obra	Los trabajadores están designados a más de una actividad y el ausentismo.
Fallas mecánicas	Para del equipo por avería afectando al proceso, disponibilidad mecánica menor con el tiempo.
Falta de materiales	Mala coordinación con los proveedores para traer sus productos a tiempo.
Retrabajos	Deficiente proceso y falta de control de calidad
Ritmo de trabajo del operador	El operador es un ser humano que se cansa y no puede mantener su rendimiento, producto de la fatiga.
Trabajos defectuosos	Se origina por no tener procedimientos estandarizados.
Transporte de materiales	Mala distribución de los materiales en el layout de obra debido a recorridos largos. En el caso de concreto pre-mezclado, el retraso de los camiones mixer debido al tráfico.
Falta de información	No existen canales de comunicación establecidos ni el modo de comunicación.

Fuente: Modificado de (Navarro Hayashida, 2010)

C. Impacto de la variabilidad en proyectos de construcción

La variabilidad afecta las tasas de producción y puede bajar la productividad general del proyecto. Cuando la variabilidad se incrementa, se traduce en tasas de producción más bajas y pérdidas de capacidad (González & Alarcón, 2003). Con la variabilidad, los trabajos en progreso aumentan. Inclusive, la teoría de colas reconoce que el incremento de la variabilidad en un sistema incrementa los tiempos de espera (Hopp & Spearman, 1995). Fundamentalmente la variabilidad en los proyectos de construcción produce ineficiencias graves que se traducen en plazos más largos y costos más altos e implican la reducción de otros indicadores relevantes.

Para (Dos Santos & Powell, 1999), el costo de la variabilidad para la sociedad es mucho más grande que el costo de la variación propia, como consecuencia de que se debe brindar garantía al producto, así también, el costo de reparación y el tiempo que pierden los clientes esperando por las reparaciones.

La variabilidad puede inducir fluctuaciones y condiciones inesperadas, causando que los objetivos de un proyecto sean inestables y ocultando los medios para lograrlo. La variabilidad no agrega valor al proyecto y a menudo resulta en que los proyectos no reúnen los requerimientos de calidad. La incertidumbre en un proyecto es el mayor culpable de pérdidas (actividades que no agregan valor).

La variabilidad e incertidumbre magnifican el significado de interdependencias dentro de los sistemas de producción. Por lo tanto, es muy importante reducir la variabilidad no solo en términos de desviación del valor objetivo sino también en términos de variación en relación a los límites de tolerancia.

La variabilidad en los cuellos de botella, en particular, tiene un efecto dramático sobre la capacidad de todo el sistema de producción, desde el enfoque común, cuando se producen retrasos, es tratar de igualar la capacidad de procesamiento global con la capacidad de los cuellos de botella (Shingo, 1987). En los sistemas de producción que están implantando JIT, la reducción de variabilidad en productos y tiempo es un requerimiento fundamental. En estos sistemas, todo puede llegar a detenerse si un sub-producto no está dentro de los límites de tolerancia y entregado en el momento adecuado (Deming, 1982).

1.5. MEJORA CONTINUA

En los últimos tiempos, la gran mayoría de los sectores industriales y de servicio a nivel mundial, han experimentado un crecimiento rápido y sostenido de competencia directa y globalizada. El Perú no está ajeno a ese fenómeno a través de su comercio internacional, firmas de Tratados de Libre Comercio e inversión del exterior. Esta coyuntura ha creado un nuevo escenario en el cual las empresas están dando importancia a las operaciones, gestión de procesos, calidad e incluso innovación con el fin de conseguir una ventaja competitiva, ser competitivos en el mercado para no desaparecer (Deming, 1982).

La competitividad en las empresas depende en gran medida de su habilidad para operar de manera eficaz en dimensiones tales como el costo, la calidad, la productividad, el respeto al trabajador, la flexibilidad y la innovación, con el fin de adaptarse a las demandas y requerimientos del mercado. Por tal motivo, mientras la alineación de las operaciones con las prioridades estratégicas es un elemento vital para la competitividad, la mejora continua de los procesos y operaciones juega un rol clave en la búsqueda de una competitividad a largo plazo.

Sin embargo, la mejora continua va más allá de su integración con la estrategia de la empresa. Sus beneficios en la gestión de procesos puede ser cuantificada de manera directa en la empresa. Algunos beneficios son: (a) Evaluar y reducir los recursos que se utilizan; (b) Facilidad para reducir costos operativos; (c) Funciona como un método para comprender el proceso - cómo las entradas se transforman en salidas; (d) Provee un mecanismo para encontrar soluciones, y prevenir problemas y errores en el trabajo; (e) Reducir tiempos de los procesos; (f) Se puede establecer de una manera más efectiva y sistemática la medición del trabajo; (g) Permite orientar mejor a la empresa hacia el cliente; (h) Aporta un visión sistemática y transversal de la organización; e (i) Favorece la participación, la comunicación y el trabajo en equipo entre empleados y directivos.

1.5.1. Definición de mejora continua

La mejora continua se inserta dentro de la filosofía desarrollada por Edward Deming, utilizada ampliamente y con excelentes resultados, por los japoneses, y

divulgada a todo el mundo como Calidad Total. En Japón a esta filosofía la denominan Kaizen.

Kaizen – mejora continua -, es una palabra japonesa compuesta por Kai que significa “la acción de enmendar, cambio” y Zen que significa “beneficioso”. La filosofía Kaizen supone que nuestra vida personal, familiar, social y de trabajo merecen ser mejoradas de manera constante. En la empresa, Kaizen es mejoramiento progresivo que involucra a todos, incluyendo tanto a gerentes y trabajadores por igual (Imai, 1998).

El mensaje de la estrategia de KAIZEN es que no debe pasar un día sin que se haya hecho alguna clase de mejoramiento en algún lugar de la compañía.

El punto de partida para el mejoramiento es reconocer la necesidad, la cual proviene del reconocimiento de un problema. Si no se reconoce ningún problema tampoco se reconoce la necesidad de mejoramiento. La complacencia o “la satisfacción con el “status quo” es el archienemigo de la mejora continua (Shingo, 1987).

Para la mejora continua el mejoramiento no es superficial sino de evolución positiva. Deming dijo: “Apagar un incendio no es mejoramiento. Encontrar una situación fuera de control, hallar la causa especial y eliminarla, sólo equivale a volver a poner el proceso donde estaba desde un principio. No es un mejoramiento del proceso.” (Mary, 1988)

1.5.2. Administración de la Mejora Continua

Para el buen funcionamiento de la mejora continua debe aplicarse una administración orientada al proceso, donde el gerente debe apoyar y estimular los esfuerzos para mejorar la forma en que los empleados hacen su trabajo. Tal estilo de administración supone una visión a largo plazo y, por lo general, requiere un cambio de comportamiento (Imai, 1998).

La administración de la mejora continua tiene dos componentes principales (Imai, 1998): mantenimiento y mejoramiento. El mantenimiento se refiere a mantener los estándares tecnológicos, administrativos y de operación mediante entrenamiento y disciplina en las personas; el mejoramiento se refiere a mejorar los estándares.

Como la mejora continua involucra a todos en la organización. Será importante conocer cuáles son los compromisos que asumen las personas según su rango jerárquico en la empresa. Ver Tabla I-4.

Tabla 1.4. Responsabilidades y compromiso de Mejora Continua

ALTA GERENCIA	GERENCIA DE PROYECTO Y STAFF	SUPERVISORES	TRABAJADORES
Estar decidida a introducir la mejora continua como estrategia de la compañía	Desplegar y ejecutar las metas de mejora continua dictadas por la alta gerencia a través del despliegue de las políticas	Usar la mejora continua en los roles funcionales	Dedicarse a la mejora continua a través del sistema de sugerencias y de las actividades de grupos pequeños
Proporcionar apoyo y dirección para la mejora continua aplicando recursos	Usar la mejora continua en capacidades funcionales	Formular planes para la mejora continua y proporcionar orientación a los trabajadores	Practicar la disciplina en la obra
Establecer políticas para mejora continua	Establecer, mantener y mejorar los estándares	Mejorar la comunicación con los trabajadores y mantener una moral elevada	Dedicarse a un autodesarrollo continuo para llegar a ser mejores solucionadores de problemas
Realizar las metas de mejora continua a través del despliegue de la política y auditorías	Hacer a los empleados conscientes de la mejora continua a través de programas de entrenamiento intensivo	Apoyar las actividades de los grupos pequeños (como los círculos de calidad*) y el sistema de sugerencias individual	
Construir sistemas, procedimientos y estructuras que conduzcan a la mejora continua	Ayudar a los empleados a desarrollar habilidades y herramientas para la solución de problemas	Introducir disciplina en la obra	Ampliar las habilidades y el desempeño en el puesto con educación transversal
		Proporcionar sugerencias de mejora continua	

Fuente: (Imai, 1998)

1.5.3. Mejora continua e innovación tecnológica

La mejora continua es un filosofía que toda empresa debería contar para ser competitivos pero también la innovación tecnológica ha demostrado ser una fuente importante para la competitividad. Estos dos términos muestran una diferencia cultural respecto al paradigma de la competitividad, la mejora continua es una visión oriental y la innovación tecnológica es una visión occidental. Tanto la mejora continua como la innovación tecnológica causan mejoras por lo que analizarlas y compararlas es indispensable, ver Tabla I-5.

Tabla 1.5. Comparación entre Mejora Continua e Innovación

ITEM	MEJORA CONTINUA	INNOVACIÓN
Objetivo	Pequeños pasos, detalles, ajustes más precisos.	Pasos grandes. Saltos en la eficiencia. Cambio abrupto.
Participación	Todos en la empresa, esfuerzo en grupo.	Especialistas de la empresa y externos, selección de unos pocos "campeones"
Enfoque	Eficiencia de procesos de flujo	Eficiencia de conversiones
Plazo de tiempo	Continuo e incremental	Intermitente y no incremental, volátil
Tecnología invocada	Know-how interno, mejores practicas	Avances tecnológico externo, nuevas invenciones, nuevas teorías
Incentivo	Superar las limitaciones en la reducción de la variabilidad o la compresión de tiempo de ciclo	Nueva tecnología superior o necesidad de ampliación de la capacidad
Requisitos prácticos	Requiere de poca inversión pero gran esfuerzo para mantener la mejora	Requiere una inversión grande, pero muy poco esfuerzo para mantener
Modo de acción	Mantenimiento y mejora	Desechar y reconstruir
Transferibilidad	Principalmente idiosincrático: incorporado en el sistema de equipamientos, habilidades, procedimientos y organización	Transferible: incorporadas en el equipamiento individual y habilidad de operación relacionada

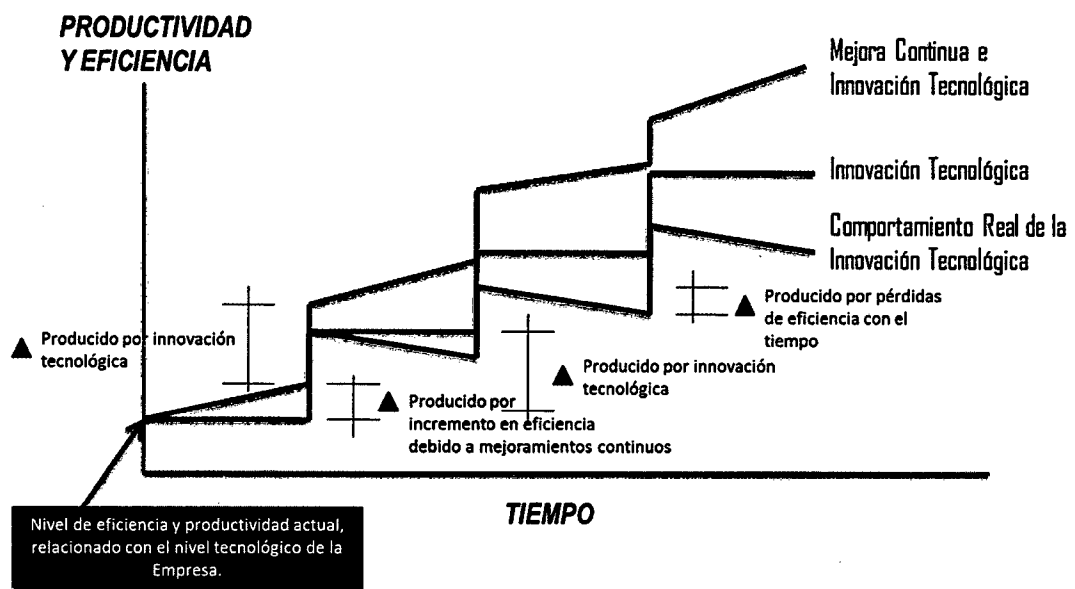
Fuente: (Koskela L., 1992)

La innovación implica una mejora drástica – un gran salto – en el statu quo como resultado de una inversión grande en nueva tecnología y equipo incentivado por el desarrollo tecnológico externo y por la demanda del mercado. La innovación tecnológica se da en el producto y en los procesos como los primeros motores de cambio.

Sin embargo, para la innovación tecnológica es especialmente importante la filosofía de mejora continua, de modo de que las empresas no se estanquen ni

se conformen con los logros de una innovación. De tal forma, las empresas que han obtenido una ventaja competitiva al adoptar una innovación, podrán mantener dicha ventaja en el tiempo. Caso contrario, solo realizar innovación tecnológica tiende a generar pérdidas de eficiencia con el tiempo, hasta que se produzca una innovación tecnológica que remplace a la desgastada. En la Figura I-6 se ilustra lo dicho anteriormente.

Figura 1.10. Curvas de Mejora continua e Innovación Tecnológica



Fuente: Basado en (Ghio Castillo, Bascuñan W., De Solminihac T., & Serpell Bley, 1998)

CAPÍTULO II. PREFABRICADOS DE CONCRETO

Hoy en día, en algunos campos, la construcción cada vez se asemeja más a un proceso industrial, que tiene como producto los elementos prefabricados. Hay campos de la construcción en donde estos métodos son los únicos que se utilizan, por ejemplo, en puentes vehiculares, puentes peatonales, tanques de almacenamiento; también en naves industriales, y en alguna medida viviendas de clase media y baja, entre otros.

La construcción usando elementos prefabricados surge de la necesidad de lograr proyectos en menor tiempo y mayor calidad, a través de gestionar la complejidad de los proyectos de construcción y controlar la variabilidad presente en los componentes del sistema constructivo.

2.1. PREFABRICACIÓN

La industria del cemento y del concreto ha evolucionado significativamente, desde el uso de aditivos especiales, pasando por el concreto pre-mezclado, hasta llegar a los elementos prefabricados. Los elementos prefabricados más comunes son: columnas, losas, vigas y muros. (Ghio Castillo, Bascuñan W., De Solminihac T., & Serpell Bley, 1998), creen que existe una tendencia hacia la industrialización de la construcción en países en vías de desarrollo, como Chile y Perú, y el uso de elementos prefabricados se verá incrementada significativamente.

La prefabricación es anterior a la industrialización, por ejemplo el ladrillo es el primer elemento de la construcción que ha sido prefabricado, producido fuera de la obra con sistemas que se han prolongado a través del tiempo hasta nuestros días.

La prefabricación se puede definir a partir de conocer los siguientes términos (Ballard & Arbulu, 2004): fabricar, montar, construir, manufacturar, pre-montar, producción, pre-fabricar, y pre-construir.

- Producción: Para Lean Construction, la producción abarca tanto diseño y construcción.

- Fabricar: proveer materiales con propiedades deseadas tales como dimensiones, densidad, resistencia a la tracción, conductividad, etc., mediante moldeo, corte, calentamiento, mezcla, separación, etc.
- Montar: unir elementos entre sí mediante pernos, soldadura, encolado, clavado, etc.
- Construir: crear un objeto material por medio de la fabricación y/o montaje.
- Pre-fabricar: fabricar todo o parte de un objeto en cualquier otro lugar que no sea su posición final.
- Pre-montar: montar todo o parte de un objeto en cualquier otro lugar que no sea su posición final.

"Pre-fabricar" y "Pre-Montar" son actividades antes de un punto de referencia en el tiempo, lo cual en construcción es típicamente instalación en la obra. La "Manufactura" funciona en una fábrica - aunque no siempre -, dedicado a construir múltiples copias de un diseño ya existente, e incluir tanto fabricación y montaje. "Construir" también cubre tanto fabricación y montaje, pero no está restringido a la producción en fábrica.

Junto con lo anterior, se necesita un término que abarque pre-fabricación y pre-montaje. Dadas las definiciones previas, el término necesitado pareciera ser "Pre-construir" y su compañero "Pre-construido", pero no son términos de uso común ni los únicos con ese significado. Pre-manufacturación sugiere producción en fábrica, la cual es muy estrecha, dado que la de "pre-fabricar" y "pre-montaje" pueden ocurrir en la obra; por ejemplo, pre-montaje de pórtico de acero estructural en un espacio adyacente a la ubicación de montaje, o pre-fabricar concreto en camiones mixer. Entonces, el mejor término parece ser Pre-Fabricación, el cual es a menudo usado para indicar "construir" algo por adelantado desde un cierto punto de referencia temporal.

Entonces, en un proyecto de construcción hay prefabricación a medida que en la obra existan operaciones de montaje y, por lo tanto, no hay prefabricación cuando todo el proceso de transformación de materiales y de unión de elementos se realiza sin procesos de montaje. La prefabricación se puede

realizar en una fábrica que esté ubicada en otro sitio, o en la misma obra, y por lo tanto, relativamente cerca de la estructura.

2.1.1. Niveles de Prefabricación

Para (Ghio Castillo, Bascuñan W., De Solminihac T., & Serpell Bley, 1998) (Chile) existen diferentes niveles de prefabricación, aunque el objetivo en todos los casos es obtener una producción masiva de calidad uniforme, alta productividad, y a bajo costo.

Prefabricación cerrada: Es un sistema en el que un solo fabricante confecciona el total de los elementos que constituyen la obra.

Prefabricación abierta: Es el proceso en el que se incluyen componentes prefabricados provenientes de diversos fabricantes independientes. Este tipo de prefabricación permite una mayor libertad en la elección de los elementos prefabricados, además de liberar al constructor del hecho de poseer una industria de prefabricados que podría presentar costos superiores a los recursos del constructor.

Prefabricación liviana: Corresponde a aquella que produce elementos que pueden ser colocados por uno o dos hombres. Las industrias asociadas a tales elementos se caracterizan por adecuarse a la condiciones de la construcción, y generalmente responden a un mercado fluctuante y su radio de acción es más bien amplio.

Prefabricación pesada: Corresponde a aquella que utiliza elementos de gran peso, que deben ser manipulados por maquinaria pesada. Las industrias asociadas a tales elementos se caracterizan por poseer una instalación de gran envergadura física y, en general, con un radio de operación inferior a los 200 km. Además, los medios de transporte son parte del equipo industrial.

Prefabricación parcial: Construcción parcialmente prefabricada, corresponde a la prefabricación de parte de los elementos que conformarán la estructura. Se apunta a un grado intermedio entre la construcción *in situ* y la prefabricación integral. Está podría ser la definición de los elementos pre-armados como armaduras de acero o encofrados.

Prefabricación integral: Construcción ampliamente prefabricada, todos los elementos constructivos se prefabrican antes de ser finalmente instalados en la obra. Se apunta al grado máximo de prefabricación.

2.2. INDUSTRIALIZACIÓN

La industrialización no depende del lugar físico donde se ejecuta el trabajo, ni con que el trabajo se realice en serie o no. Existe industrialización si se ha desarrollado una tecnología mecanizada para la construcción, sea o no prefabricada. La producción en serie se justifica por el volumen del producto solicitado, y porque permite la amortización de la maquinaria. Es importante tener en cuenta que, en un proceso de industrialización, solo se cambia el procedimiento constructivo, no el producto final. La esencia y la base de la industrialización es producir un objeto con reducida mano de obra calificada, con máquinas utilizadas por los obreros especializados, o con máquinas automáticas.

Para que exista industrialización (Ghio Castillo, Bascuñan W., De Solminihac T., & Serpell Bley, 1998), se deben dar tres factores simultáneamente: innovación tecnológica, capitales para la inversión y un mercado que logre amortizar la inversión inicial. Si cualquiera de estos factores no se diera, el proceso de industrialización finalmente fracasará.

El sistema constructivo industrializado es un modelo de construcción a través de la adecuada planificación de tareas y presupuesto, y una selección de equipos y materiales puede generar elevados rendimientos en obra y optimizar los recursos, sin afectar las condiciones económicas ni la generación de empleo.

La industrialización no se refiere a la producción de productos nuevos sino a la producción de forma tecnificada de cualquier producto con materiales disponibles. El material no es el que determina si un producto es industrializado sino la forma en la que el producto fue fabricado.

La industrialización tiene como objetivos en obra: incrementar la velocidad de trabajo, exactitud en tiempos de construcción, eficiencia en el control de obra, anular tiempos muertos, precisión dimensional, y acabados perfectos; en la organización y planificación, se tiene como objetivo: mejor planificación

financiera, mejor coordinación de actividades, y mano de obra no especializada; También en el costo impacta mediante: presupuestos más precisos, y mejor control de materiales.

Las metas de la industrialización son las mejoras de los procesos: Reducir los procesos en obra y proporciona las ventajas de la repetición. Sin embargo, (Koskela, 1992) el proceso total de construcción tiende a convertirse en uno más complejo y vulnerable cuando se utilizan dos localidades para la fabricación (taller y obra) y aumentan las necesidades de coordinación.

La industrialización normalmente alarga los flujos de procesos y los hace más complejos que en la construcción tradicional en el sitio (aunque los flujos de procesos en la obra normalmente se acortan y simplifican). Estos procesos deben mejorarse a fin de darse cuenta del potencial que ofrece la industrialización. En la industrialización, la mejora de procesos no se ha tomado como meta en sí misma.

La construcción industrializada requiere procesos controlados considerablemente mejores que la construcción tradicional –artesanal-. Por ejemplo, tanto los requisitos para la exactitud dimensional como la cooperación dentro de los procesos del diseño y el planeamiento de procesos son más importantes en la construcción industrializada.

Por lo tanto, parece ser una hipótesis recomendable que los procesos mal controlados de diseño, fabricación y ejecución de obra, a menudo han consumido los beneficios teóricos que se derivan de la industrialización.

2.3. TIPOS DE CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA

En esta investigación se estudia dos tipos de construcción como son: la parcialmente in situ y la parcialmente en fábrica. Estos tipos de construcción ya se han llevado a cabo en el país.

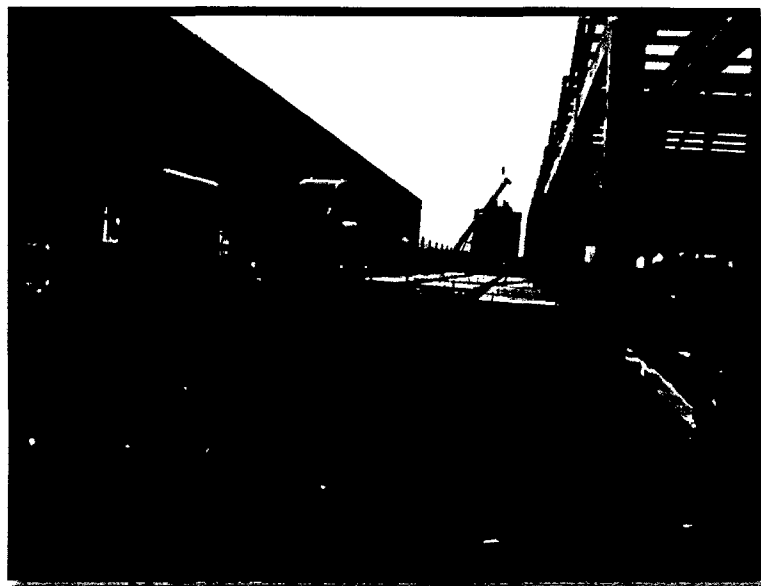
2.3.1. Construcción prefabricada parcialmente in situ

Un paso intermedio en el camino hacia la industrialización, es la prefabricación parcialmente in situ. En este tipo de construcción se prefabrican ciertos elementos al pie de la obra, sin perder los beneficios de la prefabricación.

Algunas de las ventajas de la prefabricación in situ, son combinar los beneficios de la prefabricación, que representa inversiones limitadas, las cuales son bastante menores que las que se requieren para instalar una fábrica. Adicionalmente, los costos de transporte se reducen substancialmente debido a que implica un solo transporte interno dentro de la obra.

Los sistemas de prefabricación in situ, que se pueden encontrar en un proyecto son: el pre-armado de acero, donde los elementos vienen pre-dimensionados de fábrica y arman la armadura en obra; igualmente con el encofrado; por motivos de inversión y bajo número de elementos –que no hace posible invertir en empresas de prefabricados- también se instalan mini-plantas de prefabricados de concreto en obra.

Figura 2.1. Muro prefabricado a pie de la obra



Fuente: Proyecto Patio Taller del Tren Eléctrico

2.3.2. Construcción prefabricada parcialmente en fábrica

Con el objetivo de mejorar la productividad, reducir las dificultades inherentes del trabajo in situ y, en algunos casos, superar la imposibilidad de construir ciertos elementos en obra, se han desarrollado sistemas constructivos en los cuales parte de las operaciones son llevadas a cabo en la fábrica, independientemente del sitio de construcción. Las piezas construidas son transportadas a la obra para ser montadas en la edificación.

Este tipo de sistemas de prefabricación necesitan una inversión mayor que los sistemas de prefabricación in situ y de los sistemas de construcción tradicional, por lo que es necesario una mayor demanda de elementos prefabricados de un número significativo de obras para lograr amortizar la inversión.

En el marco de esta tendencia hacia una construcción donde prima la prefabricación abierta – a través de la alta demanda y la formación de empresas en un mercado competitivo - los precios deberán acomodarse a la competencia, bajando hasta lograr una estabilidad y nivel de precios adecuados para la demanda.

En el Perú, a través de sus proyectos de envergadura como el tren eléctrico, puentes y otros, se han formado empresas de prefabricado. En la actualidad existen empresas proveedoras de plantas para prefabricados, como por ejemplo la empresa alemana Vollert que ofrece el equipamiento de alta tecnología para la instalación de una planta completa. Ver Anexo N°1.

2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS CON PREFABRICADOS

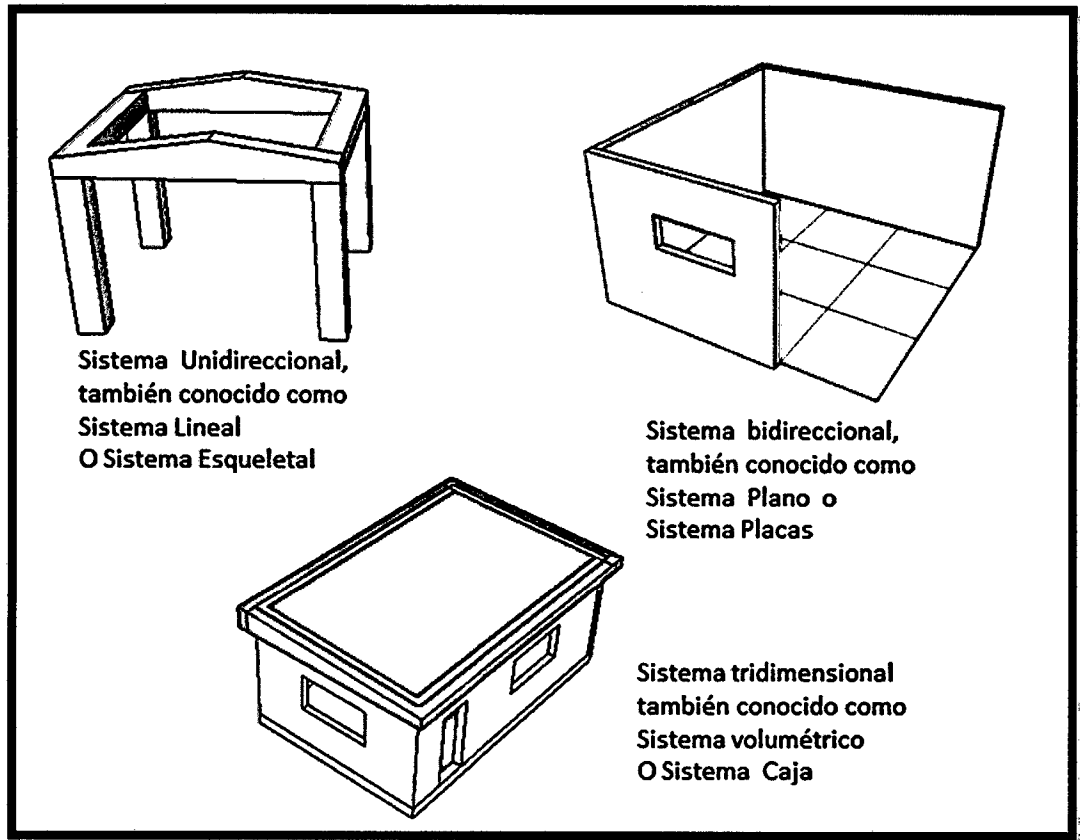
Los sistemas constructivos con prefabricados se suelen dividir de acuerdo al tipo de estructura a utilizar. La estructura es la base necesaria en donde se realizarán las instalaciones sanitarias, eléctricas y otras, acabado arquitectónico, e inmobiliario. Pese a que en muchos casos la estructura no es lo más importante en cuanto a costo y complejidad, la naturaleza de nuestra industria en nuestro medio la ha convertido en el centro de cualquier sistema constructivo. De manera general, los sistemas constructivos con prefabricados pueden clasificarse en unidireccional, bidireccional, y tridireccional. Ver Figura 2.2.

Ninguno de estos sistemas es mejor o peor que el otro. Cada uno tendrá una mayor o menor eficiencia, considerando las características del proyecto y la inversión inicial. A medida que se va pasando de los sistemas unidireccionales a los sistemas tridireccionales, se va perdiendo flexibilidad en favor de las ventajas inherentes al aumento de la producción en fábrica.

Para el elemento caja al llegar a la obra el único trabajo que queda es anclarlo en el suelo o encima de otra caja. Sin embargo, la caja puede ser un elemento

de diseño limitado. Las dimensiones que fija el transportista y las variaciones limitadas que se pueden realizar en las cajas, son consideraciones a tomar en cuenta. En este sistema, las instalaciones y los acabados se hacen en fábrica con el propósito de abarcar la producción de principio a fin.

Figura 2.2. Sistemas de construcción prefabricada



Fuente: (Ghio Castillo, Bascuñan W., De Solminihac T., & Serpell Bley, 1998)

El sistema esqueletal permite más libertad que el de caja en cuanto a diseño y elección individual. Las desventajas se encuentran en el montaje porque no se realiza en la fábrica sino que se tienen que hacer en obra y con los procedimientos constructivos tradicionales. Es el más usado en Perú

El sistema en caja es preferido por los países con alta industrialización en la construcción para zonas residenciales con viviendas de poca altura. Los esqueletos de preferencia se utilizan en construcciones de mayor altura en donde existe mayor necesidad de flexibilidad y menor volumen de encofrado.

En el sistema bidireccional podemos distinguir el sistema de placas y de paneles, la diferencia básica la constituye la escala. En el primero, los elementos pueden ser tan grandes como el espacio y la construcción lo requieran. Los paneles se utilizan en edificios de poca altura. El sistema de paneles ha tenido mucho auge en Chile en zonas residenciales con gran crecimiento y acceso limitado, ya que, los períodos de construcción son cortos, existe baja necesidad de mano de obra tradicional calificada y el transporte de los materiales es mínimo.

Los sistemas constructivos con prefabricados necesitan de pocos trabajadores en obra. La mano de obra necesaria para producir un módulo de construcción es cada vez menor y en nivel de especialización de los obreros, puede ser menor que el de aquellos empleados en la construcción tradicional, en donde el uso de artesanos ha podido ser reemplazado por el de mano de obra especializada.

2.5. PREFABRICACIÓN DE ELEMENTOS DE CONCRETO

La prefabricación de elementos de concreto tiene etapas importantes que existen en todo sistema constructivo con prefabricados:

(1) Fabricación; (2) Manipulación; (3) Transporte; (4) Montaje; y (5) Conexión.

2.5.1. Fabricación

La fabricación es la etapa en la cual se elabora el elemento de concreto en condiciones diferentes a la que se realizaría en obra. Pero no por ello deja de tener los mismos componentes o procedimiento de fabricación diferente.

En el proceso de fabricación, las varillas de acero son cortadas y dobladas – actualmente se pide acero pre-dimensionado¹ al proveedor -, para luego, montar las varillas habilitadas dándole forma a la armadura antes de ser colocadas en el encofrado.

¹ El acero pre-dimensionado es un valor agregado del proveedor de acero, entregando a la fábrica o a obra el acero cortado y doblado según lo especificado en los planos.

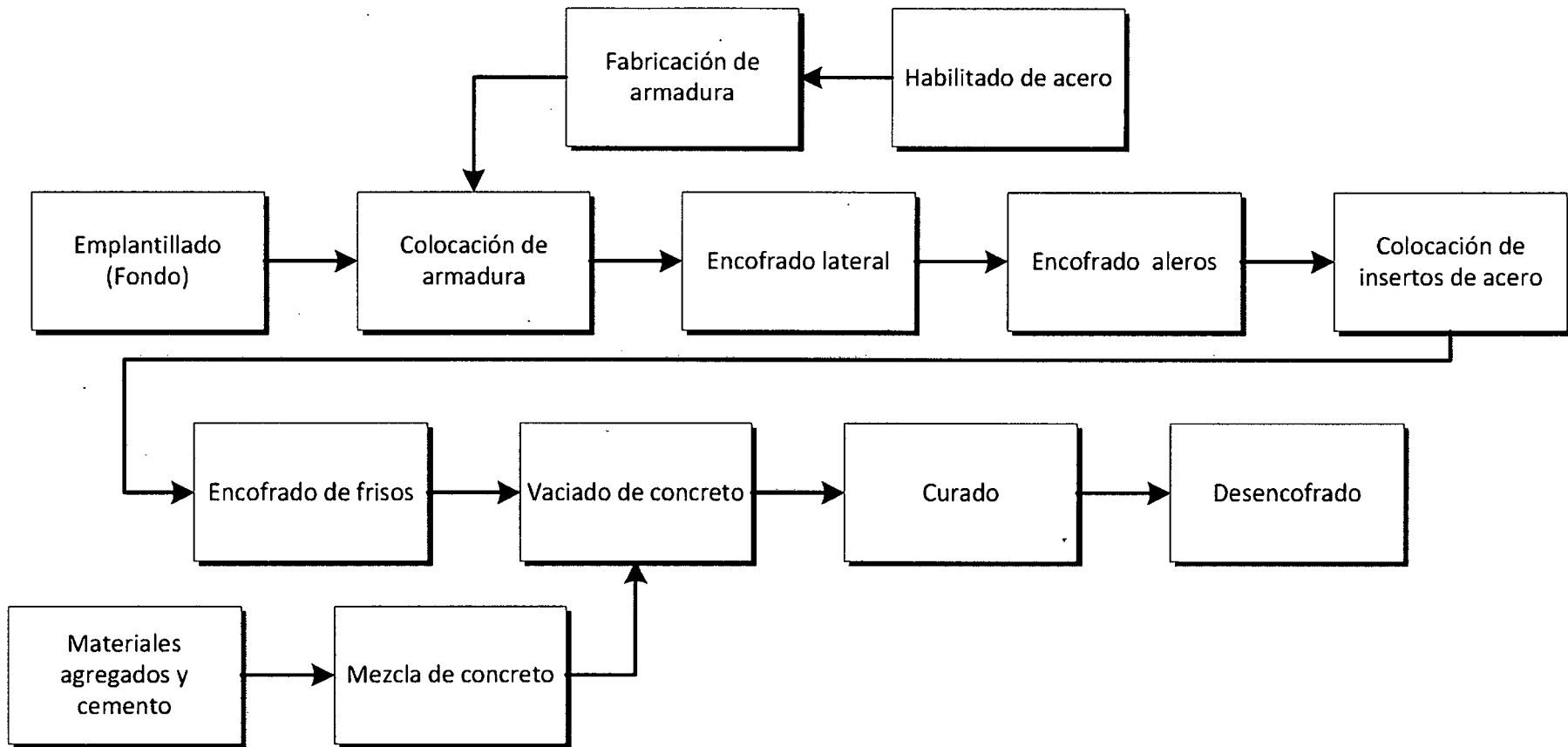
El proceso de fabricación de las armaduras se conduce de manera paralela a la faena de vaciado de concreto, lo que facilita y acelera el proceso de prefabricación de éstas. Las armaduras usualmente se fabrican en un espacio diferente a la zona del encofrado, para lo cual se le adhiere varillas de refuerzo para que no se descuadren en el transporte.

A menudo, los insertos y otros elementos de sujeción son asegurados a la armadura. En los casos en donde los elementos a ser fabricados sean de dimensiones similares, pero que posean diferentes cantidades y/o disposiciones de refuerzo, se deberían marcar el encofrado antes de vaciar el concreto.

Mientras que una cuadrilla fabrica las armaduras de acero, otra prepara el encofrado para la colocación del acero para la luego vaciar concreto. Las piezas con concreto son desencofradas y transportadas a los sitios de almacenaje o a la espera de ser transportadas a obra. Antes de colocar el concreto, se deberá revisar que el acero cumpla con los planos de diseño, además de aplicar la adecuada capa de aceite u otro desmoldante en el desencofrado.

El proceso de vaciado de concreto no varía del proceso de vaciado de concreto de tradicional en elementos convencionales. La trabajabilidad del concreto se encuentra, por lo general, en el rango de los 5" de asentamiento como resultado del ensayo del cono de Abrams. Se suelen utilizar vibradores manuales de inmersión y vibradores de moldaje. El concreto se suele curar con vapor de modo de acelerar el proceso de reutilizar el encofrado. Es frecuente el uso de resistencia estructural en el concreto del orden de 280 – 350 kg/cm², aunque es fácil superar esos valores cuando se requiera. Después de desencofrar las piezas, es común que éstas sean almacenadas durante algún tiempo, eliminándose la posibilidad que sean dañadas en cualquier forma. Todos los retoques o reparaciones deberán ser realizadas a la brevedad. Durante la manipulación y transporte, los elementos están expuestos a sufrir daños leves, o a ser manchados por otro tipo de materias. Eso deberá ser minimizado, en la medida posible.

Figura 2.3. Diagrama de Flujo del Proceso de Fabricación de Viga Prefabricada de Concreto Armado

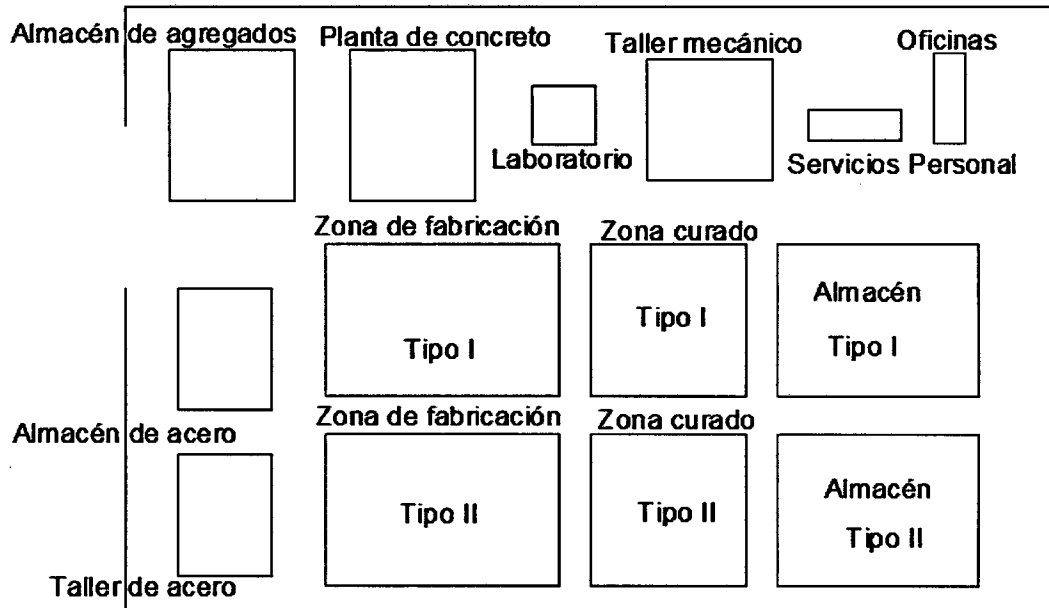


A. Componentes de la planta de fabricación

La construcción con el uso de prefabricados se divide entre dos polos: el sitio del proyecto – obra - y la fábrica de prefabricados. A continuación se presentarán algunos de los componentes más frecuentes en fábrica.

- Oficina administrativa
- Oficina de Staff del Proyecto
- Ambiente de servicios del personal
- Almacén de materiales para concreto
- Espacio para almacenar el acero
- Almacén de máquinas y herramientas
- Almacén de insertos, dados de soporte, cables de izajes, etc.
- Planta de fabricación de concreto
- Taller de fabricación de armaduras
- Taller mecánico
- Sistema de transporte de concreto dentro de planta
- Planta de producción de los elementos (concreto, vibrado, frotachado), además del encofrado.
- Sistema de izaje y transporte de elementos prefabricados dentro de la fábrica (puente grúa, grúas móviles, sistema de rieles, etc)
- Planta de curado acelerado
- Equipo para ensayo e inspección
- Elementos de almacenaje de agua, combustibles, y otros.
- Sitio para almacenaje de piezas terminadas

Figura 2.4. Bosquejo de planta de prefabricados de concreto



Fuente: Basado en (Ghio Castillo, Bascuñan W., De Solminihac T., & Serpell Bley, 1998)

La planta presentada arriba es convencional, actualmente existe plantas mucho más modernas que se asemejan a las plantas de manufactura. Las plantas con mayor tecnología puede fabricar elementos prefabricados de menor tamaño que la planta convencional. Ver Anexo N°1.

B. Curado acelerado

Luego que el concreto es vaciado en el molde comienza el fraguado² y casi al mismo tiempo se debe comenzar el curado³, el que le permitirá una fragua adecuada y obtener la resistencia y durabilidad requerida.

En plantas de prefabricado tener productos en proceso que duran largo tiempo no es lo más adecuado. El proceso crítico es el fraguado y curado del concreto que es el proceso físico-químico que debe sufrir el concreto para llegar a tener la resistencia y durabilidad óptima para su traslado y montaje. La soluciones que se

² Fraguado es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del concreto.

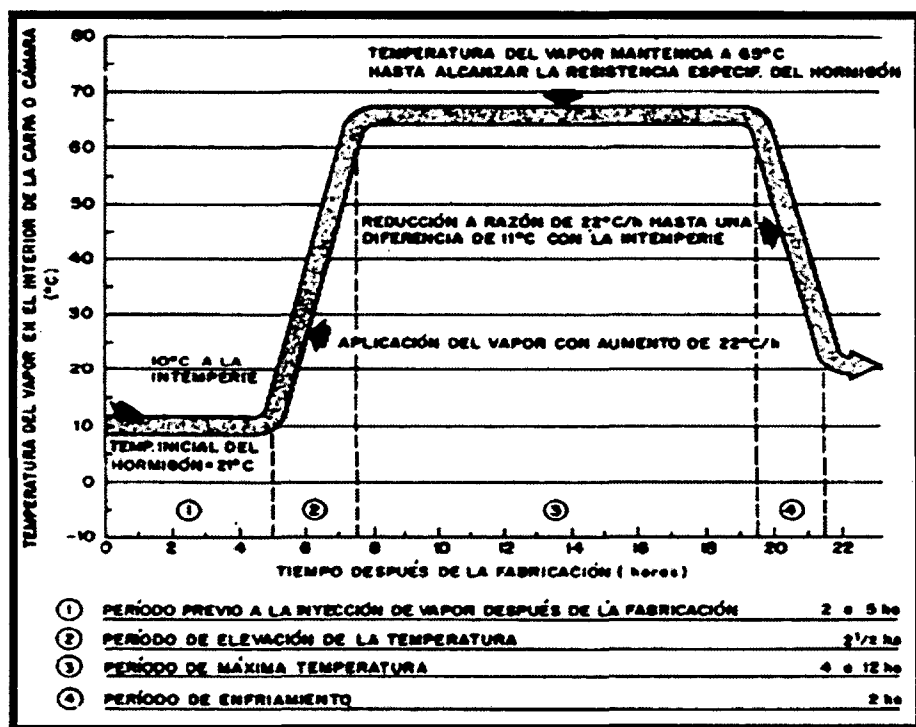
³ Curado es el proceso que busca mantener saturado el concreto para que los espacios de cemento fresco se cristalicen producto de la reacción química de los componentes del concreto, y conseguir la resistencia a la comprensión de diseño. El curado controla la temperatura y humedad en el interior y exterior del elemento de concreto.

plantean son añadir aditivos a la mezcla, fabricar un concreto de mayor resistencia al requerido y un curado acelerado.

Cuando se trata de elementos prefabricados, es económicamente eficiente, acelerar el proceso de curado y, por ende, el desarrollo de mayor resistencia inicial. Esto permitirá que los elementos de concreto puedan ser desencofrados en lapsos menores y por lo tanto, los moldajes puedan ser reutilizados un mayor número de veces para un mismo periodo de tiempo.

Una técnica usada es el curado con vapor, existiendo dos métodos: (1) Curado con vapor a la presión atmosférica para estructuras cerradas moldeadas en sitio y piezas prefabricadas de concreto, y (2) curado a alta presión en autoclave para pequeñas unidades prefabricadas. Bajo condiciones de presión atmosférica, la temperatura se puede mantener entre aproximadamente 50 – 85 °C por periodos de 12 y 72 horas. Cuando las piezas son curadas bajo presión, curado con vapor a alta presión en autoclave, se pueden aplicar temperaturas por sobre los 160 °C, por tiempos entre 5 – 36 horas.

Figura 2.5. Ejemplo de un ciclo típico de curado con vapor a presión atmosférica

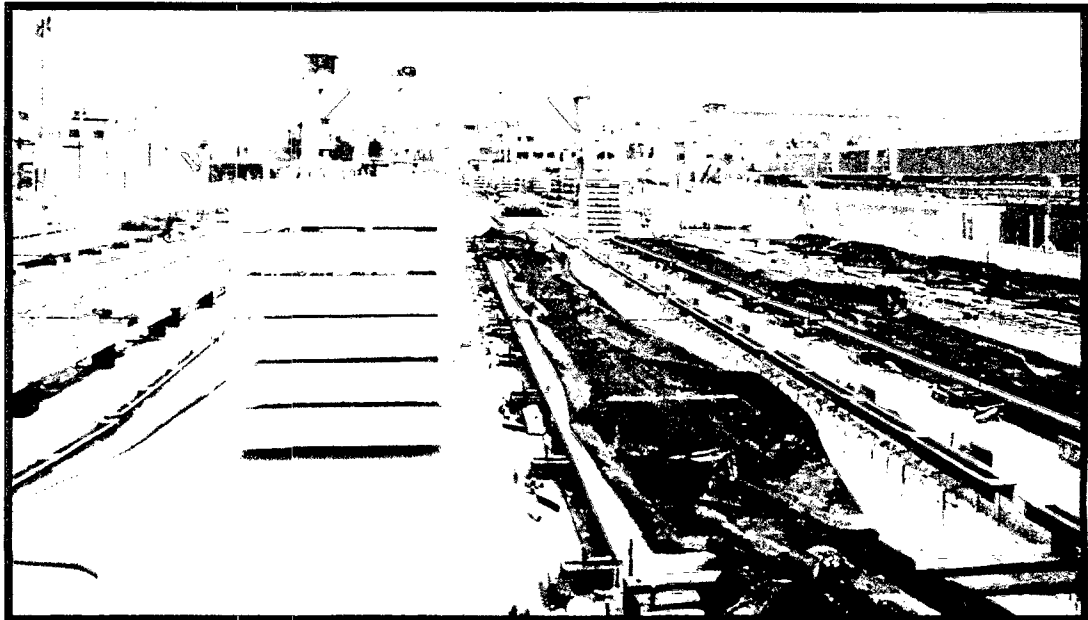


Fuente: (Instituto del Cemento Portland Argentino)

El ciclo de curado por vapor consiste en (1) un intervalo inicial de espera, previo a la acción del vapor; (2) un período de incremento de temperatura; (3) un período en que se mantiene la temperatura constante; y (4) un período de disminución de temperatura. Un típico ejemplo de curado por vapor a la presión atmosférica se muestra en siguiente figura.

En la práctica, el curado con vapor se realiza con mantas mojadas con agua caliente o aditivos que aumenten la temperatura. Las mantas cubren todo el elemento prefabricado.

Figura 2.6: Curado a vapor con mantas en losas



Fuente: Planta de prefabricados del Tren Eléctrico – Línea 1

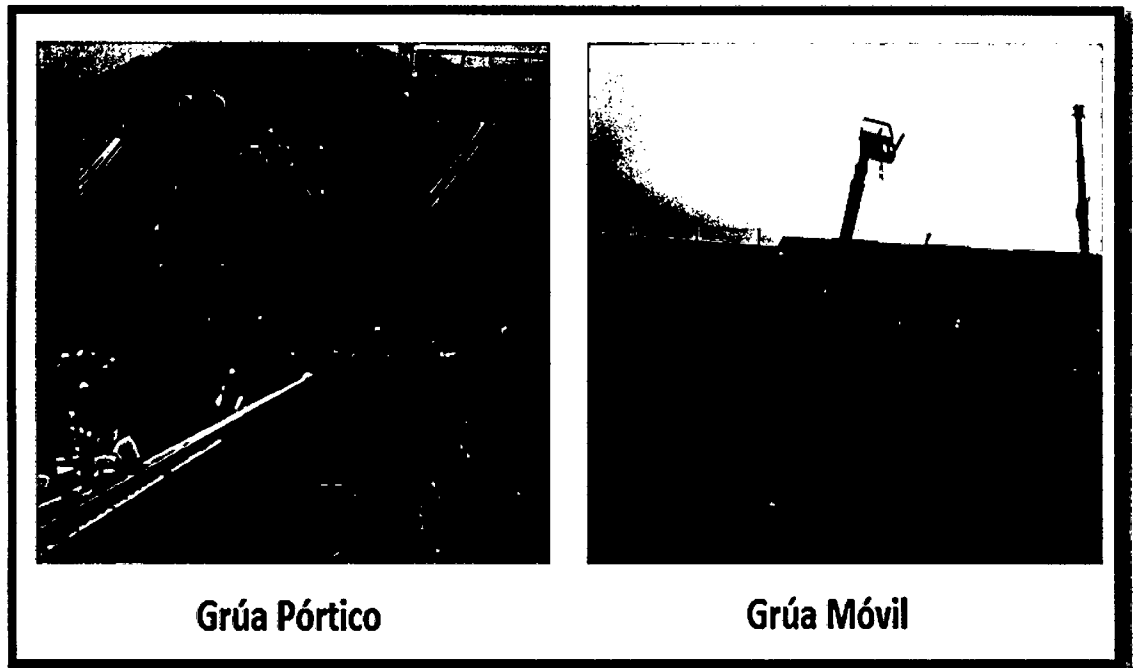
2.5.2. Manipulación

Las técnicas de manipulación en fábrica se pueden dividir en dos esquemas.

- (a) Sistemas de manipulación mediante izaje; en que se deberá contar con algunas de las herramientas y equipos de transporte vertical y montaje. En principio, se deberá escoger entre grúas horquillas, grúas móviles, grúas torre, grúas pórtico, o una combinación de ellas, de modo que se satisfaga las necesidades específicas de la planta de prefabricación a un costo mínimo. En este tipo de procedimiento, se construyen los

elementos prefabricados en una determinada posición fija dentro de la obra (sitio de producción), procediendo a transportarlos al sitio de almacenaje una vez que éstos hayan alcanzado la resistencia especificada.

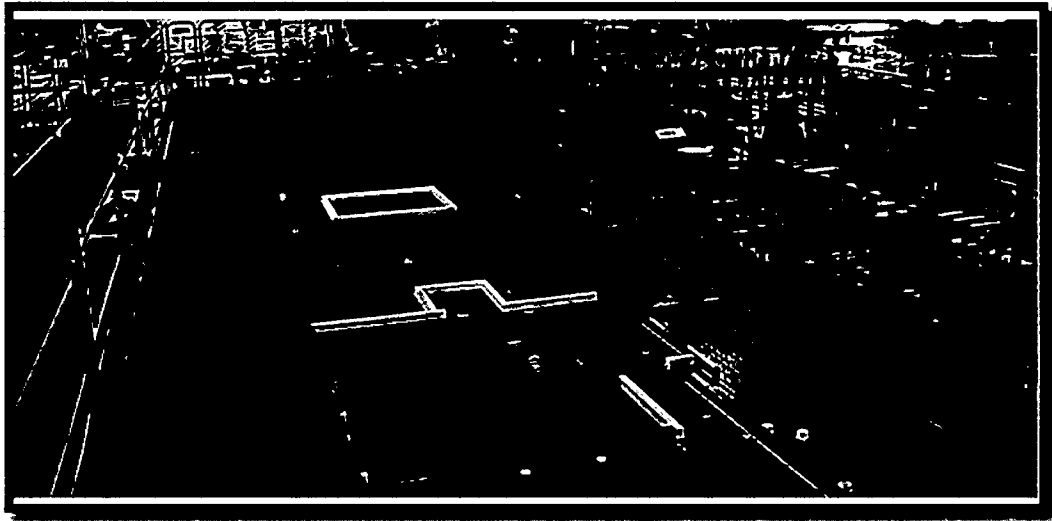
Figura 2.7. Equipos para el sistema de manipulación por izaje usados en Perú



Fuente: Proyectos Tren Eléctrico y Patio Taller

- (b) Sistemas de manipulación por deslizamiento: en donde la utilización de equipos de izaje y transporte vertical se reducen al mínimo. Los elementos prefabricados se construyen sobre elementos que se deslizan sobre rieles, por lo que la construcción se conduce de manera similar a la producción de autos u otros productos industriales hechos en serie. Algunos de estos sistemas para la manipulación de elementos prefabricados son carros montados sobre rieles, similares a los trenes; deslizadores o patines con bajo coeficiente de fricción; y planchas de teflón con muy bajo coeficiente de rozamiento. En todos estos casos, la inversión inicial en equipos de manipulación de elementos es substancialmente menor que cuando se utiliza equipo de izaje.

Figura 2.8. Equipos para el sistema de manipulación por deslizamiento usado en Plantas de Prefabricados en Países Industrializados



Fuente: Planta de Prefabricados WECKENMANN

2.5.3. Transporte

Al seleccionar el proceso constructivo, es necesaria la correcta evaluación del transporte. Esta evaluación decide si los elementos serán fabricados en planta fija, en planta móvil o a pie de obra. La incidencia del costo del transporte en el costo total de la obra es directamente proporcional a la distancia por recorrer y a la complejidad del flete. Existen dos tipos de fletes: los que por sus características de peso y dimensiones se ejecutan con equipos de transporte ordinario y los que exceden el peso y dimensiones permitidos en las normas y reglamentos locales para lo cual se requiere equipos de transporte especializado.

A. Equipos de transporte especializado

Los elementos prefabricados como vigas suelen ser de gran longitud y muy pesadas para lo que se requiere de vehículos de transporte especiales, usados en países con alto nivel de prefabricación. Dentro de los cuales se incluyen:

- (a) Camión con semirremolque acoplado, es un camión de carga pesada o también conocido como camión de cama baja usado para el transporte de maquinaria pesada y elementos prefabricados de gran tamaño.

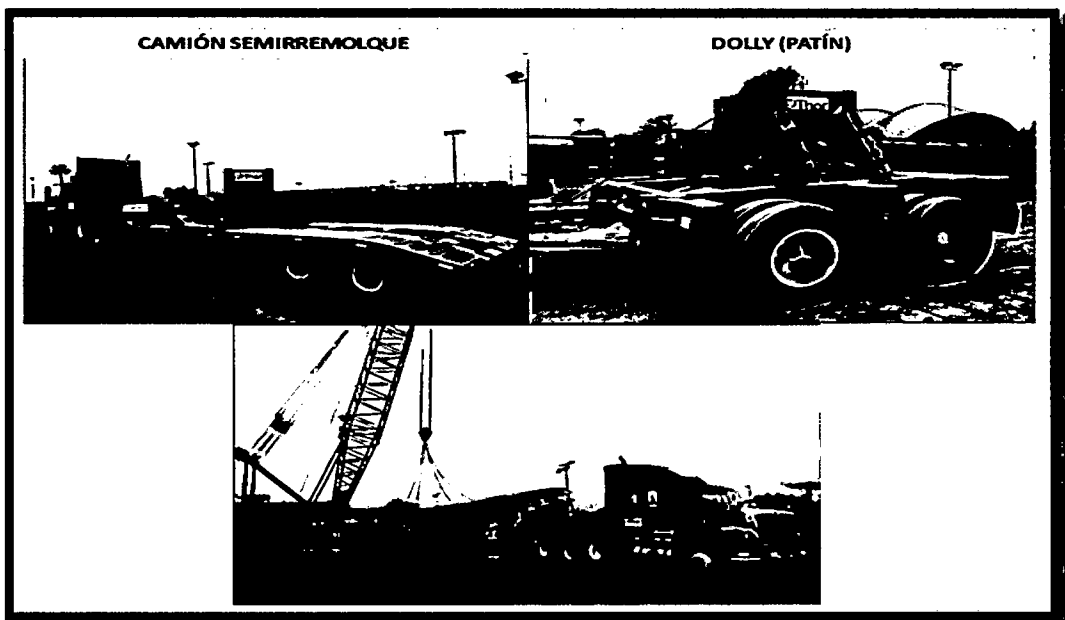
Figura 2.9. Camión con semirremolque acoplado.



Fuente: Proyecto Patio Taller

(b) Camión con Dolly (Patín trasero). Este es un vehículo especialmente diseñado para llevar elementos de gran longitud colocando los extremos en el camión y en el patín, a la vez que la viga prefabricada forma una especie de chasis uniendo el camión con el patín.

Figura 2.10. Camión con Dolly (Patín trasero)



Fuente: Proyecto Tren Eléctrico

B. Reglamentos y seguridad

Dependiendo de la ruta a tomar, el transportista deberá respetar las normas y reglamentos. Entre las más importantes están: (1) El transporte tendrá horario restringido, generalmente de madrugada. (2) Las combinaciones vehiculares especiales⁴ no podrán transitar en convoy⁵. (3) Las rutas deben estar previstas y señaladas en el permiso. (4) Dependiendo de las dimensiones deben llevar una o dos unidades piloto⁶ las cuales deben conducir, abanderar y apoyar la logística del transporte. (5) En condiciones climatológicas adversas, el transporte debe detenerse en un sitio seguro hasta que éstas sean favorables para continuar. (6) Todas las unidades deberán transitar con las circulinas y los faros principales encendidos. (7) Dependiendo de la combinación vehicular y del tipo de carreteras, se especifican velocidades máximas y cargas máximas por llanta y por eje.

2.5.4. Montaje

En las obras de estructuras prefabricadas, el montaje representa entre el 10 y 30 % del costo total de la obra. Por lo tanto, hay que considerar que los equipos de montaje por ser especializados y generalmente de gran capacidad, tienen costos elevados, por lo que resulta indispensable un buen planeamiento de todas las actividades. Los rangos de capacidad de las grúas se basan en condiciones ideales: 1) Nivel de piso firme. 2) Viento en calma. 3) No llevar la carga lateralmente ni balanceándose. 4) Buena visibilidad. 5) La maquinaria debe estar en buenas condiciones.

A. Equipos de montaje

Los equipos de montaje para elementos prefabricados los podemos dividir en dos grupos:

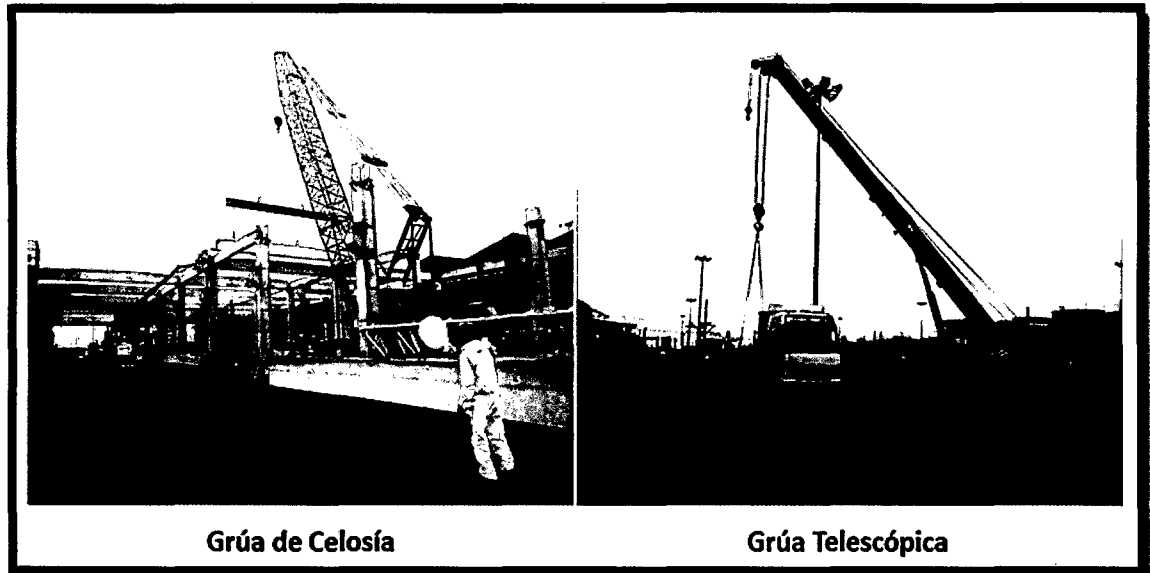
⁴ Vehículos especiales destinados al transporte de carga indivisible - no puede ser fraccionada sin afectar su naturaleza - de gran peso y/o volumen acoplados mediante mecanismos de articulación.

⁵ Grupo de vehículos o combinación de vehículos que simultáneamente realizan un transporte de mercancía con el mismo origen y destino, sin efectuar maniobras de rebase, manteniéndose a una distancia constante entre vehículos.

⁶ Vehículos motorizados, dotado de elementos de señalización preventiva, para conducir y guiar el tránsito vehicular especial o las combinaciones vehiculares con o sin carga.

Equipos de pequeña capacidad: como las grúas hidráulicas para los elementos como losas cortas y viguetas, los elementos para fachadas y muros. Estas grúas hidráulicas se dividen en telescópicas y estructurales o de celosía.

Figura 2.11. Equipos de montaje de pequeña capacidad



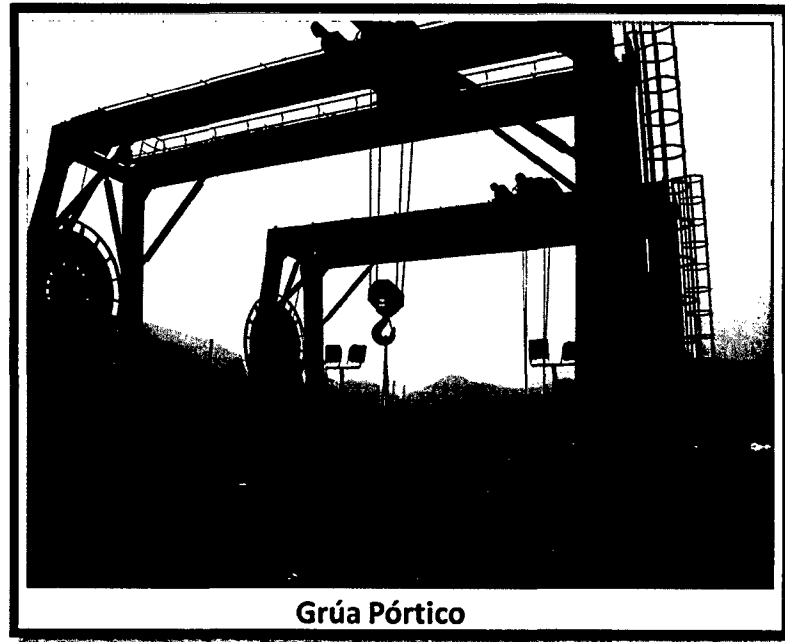
Fuente: Proyecto Patio Taller

Equipos de mediana o gran capacidad: como las grúas torre, que si bien son muy versátiles por su gran alcance, no tienen la capacidad suficiente para lanzar elementos medianos lejos de su centro de rotación. Y también están las grúas pórtico, las cuales tienen gran capacidad pero baja maniobrabilidad.

Algunas consideraciones para elegir la grúa:

- La seguridad pública y la seguridad en el lugar
- Componentes, tamaños y pesos
- El alcance máximo de la grúa de la posición de puesta a punto para la instalación del componente final
- Cualquier limitación, tal como: líneas eléctricas aéreas, neblina, entre otros.
- Disponibilidad de áreas permanentes seguras para uso de grúa
- Las presiones sobre el suelo para cargas de grúas

Figura 2.12. Equipo de mediana y gran capacidad



Fuente: Proyecto Tren Eléctrico

B. Accesorios y herramientas

Eslingas: Son cables metálicos de longitud corta que permiten que el cable del izaje del equipo (grúa) pueda distribuir su fuerza de carga en puntos específicos para levantar un elemento.

Perno de izaje: Perno metálico que atraviesa un prefabricado donde se requiere que la sujeción sea articulada. Se utiliza para montajes de elementos que se transportan horizontalmente y se colocan en posición vertical.

Balancín: Elemento generalmente metálico colocado en forma horizontal del que se sujetan estrobos y que permite tomar una pieza de varios puntos de forma tal que dicha pieza reduzca su longitud a flexión y la carga axial.

Tortugas: Accesorios para trasladar objetos pesados sobre superficies planas. Tienen sistemas de rodamiento con gran capacidad de carga y poca fricción.

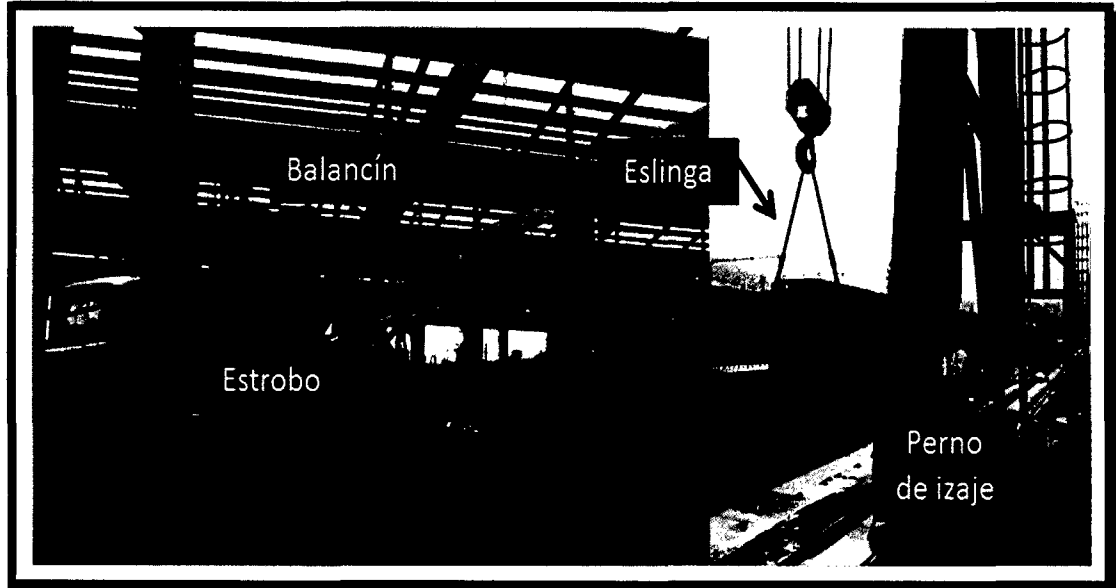
Tirford: Winche mecánico y manual para jalar la carga hasta el punto deseado.

Grilletes: Anillo que sujeta cables de izaje o estrobos con la oreja del prefabricado.

Gatos: Gatos hidráulicos o de arena en forma de botella para levantar, empujar, o descender elementos de gran peso.

Puntal o pie derecho: Elemento de apoyo provisional para mantener en posición vertical un elemento pendiente de conectarse definitivamente.

Figura 2.13. Accesorios y herramientas para montaje



Fuente: Proyecto Patio Taller (Izquierda) / Proyecto Tren Eléctrico (Derecha)

2.5.5. Articulaciones y Conexiones

Existen diferentes métodos para conectar elementos de concreto prefabricado (The Concrete Centre, 2007). Las articulaciones transmiten fuerzas entre los elementos estructurales, dando la fuerza y la robustez necesaria para la estructura. La articulación también debe ser capaz de soportar las cargas anormales causadas por fuego, impacto, explosión o hundimiento. A fin de proporcionar una estructura robusta, el diseñador debe garantizar que el fallo de una sola articulación no conduce a la inestabilidad estructural.

A. Conectores viga – columna

La mayoría de conexiones típicas entre viga y columna incluyen las siguientes.

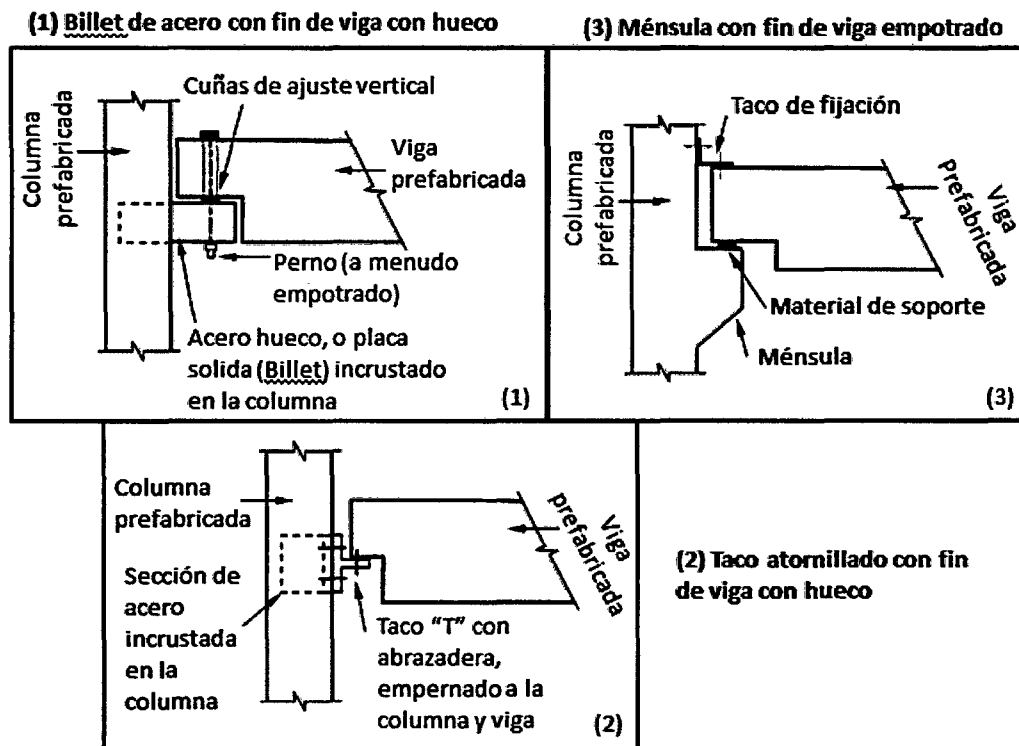
Placa de acero con una abertura en extremo de viga. La columna tiene una placa de acero o una sección rectangular hueca que sobresale de una de sus

caras, la cual soporta el extremo de viga mediante una placa de acero en el fondo de la abertura. Se conectan por pernos que atraviesa la placa metálica de la columna y el extremo de viga.

Taco atornillado con una abertura en extremo de viga. Una sección de acero se cola dentro de la columna, para lo cual se atornilla a un taco "T" abrazado, que a su vez apoya en la abertura de extrema de viga y se ajusta siendo atornillado.

Ménsula con extremo de viga empotrado. Las ménsulas son usadas con mayor frecuencia donde las cargas pesadas o vigas de grandes luces tienen que ser apoyadas.

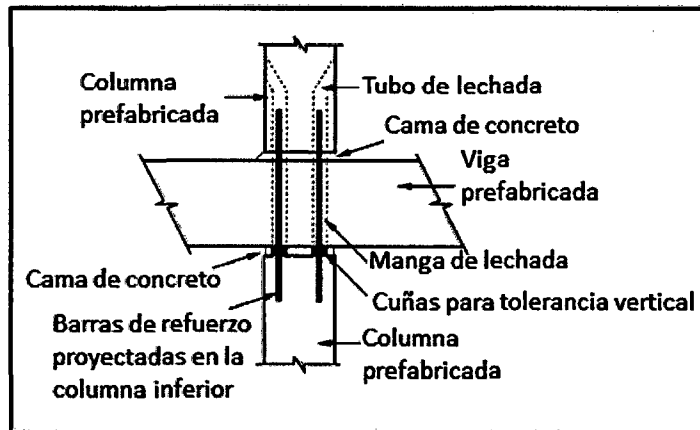
Figura 2.14. Conexiones viga-columna



Fuente: (The Concrete Centre, 2007)

Viga continua entre columnas. Este tipo de conexión puede utilizarse cuando las vigas tienen que ser continuas sobre el soporte, por ejemplo, para crear un voladizo. Las vigas están sentadas en mortero y la proyección de refuerzos de la columna inferior se pasa a la columna superior a través de mangas en la viga, que posteriormente se cubren con lechada de cemento.

Figura 2.15. Conexión viga continua entre columnas



Fuente: (The Concrete Centre, 2007)

B. Conectores columna – fundación

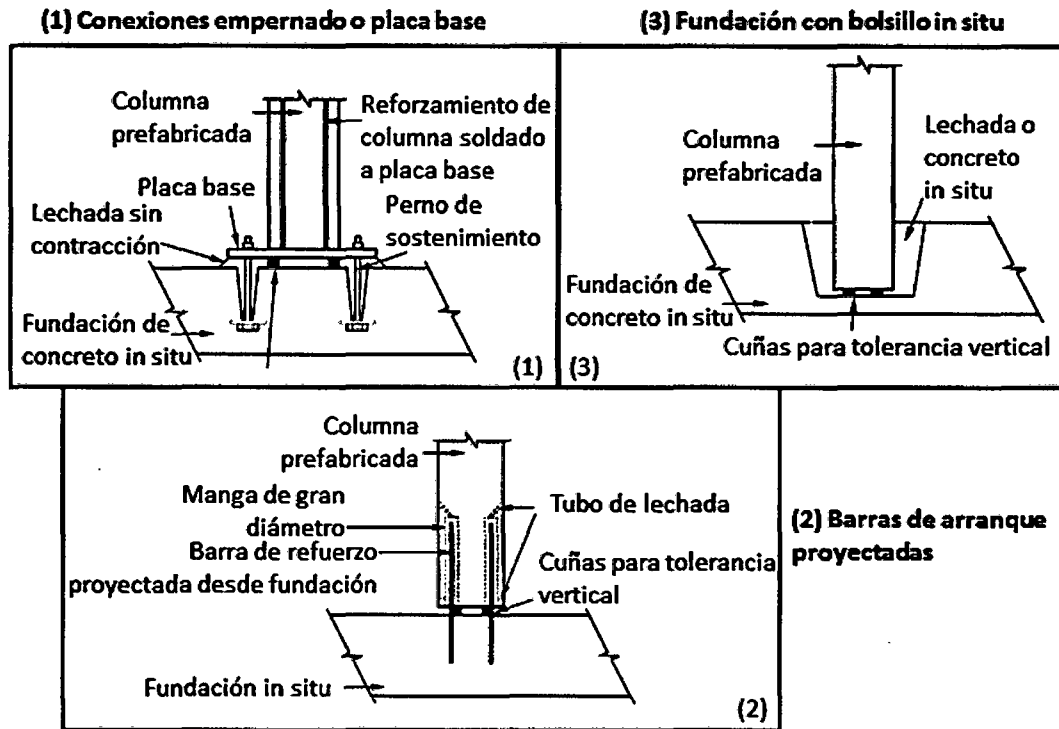
Existen tres métodos importantes de fijación de columnas prefabricadas de concreto a una fundación in situ.

Conexiones atornilladas a placa base. Las placas base de acero se unen a la columna prefabricada de concreto durante su fabricación. Luego, la columna se fija usando pernos que están anclados a la fundación. Alternativamente, los pernos pueden ser colocados inmediatamente después de fijar la columna para luego ser soldados a la placa de acero.

Proyección de barras salientes. Las barras salientes son colocadas en la base in situ. La columna prefabricada puede luego ser bajada a la base, con las barras salientes proyectadas en los tubos pasadores proporcionado en las columnas prefabricadas. Los tubos pasadores son luego rellenos con lechada de cemento.

Fundación con bolsillo in situ. La fundación con bolsillo in situ proporcionará una conexión fija a la columna prefabricada, que es particularmente útil donde la acción de voladizo de la columna proporciona la estabilidad lateral para el edificio. La columna está incrustada en la almohadilla de la fundación con bolsillo por una distancia de al menos 1.5 veces la mínima sección transversal de la columna o la dimensión de la base. El bolsillo luego es cargado con grout o concreto in situ.

Figura 2.16. Conexiones columna-fundación



Fuente: (The Concrete Centre, 2007)

2.5.6. Proyectos de construcción con prefabricados en el Perú

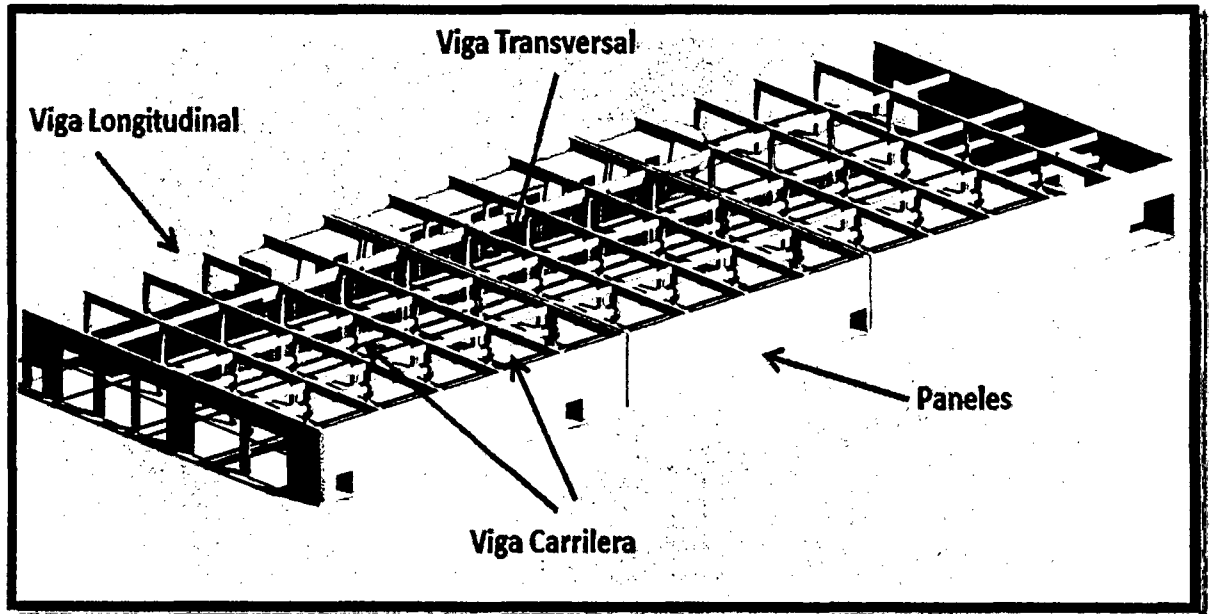
Proyecto Patio Taller: Este proyecto especificaba realizar vigas y paneles in situ de manera convencional, pero las condiciones del proyecto favorecieron que los elementos sean prefabricados. Se prefabricaron 70 vigas longitudinales, 68 vigas transversales, 56 vigas carrileras –para la grúa móvil dentro del taller-, y 120 paneles –para cercar el taller-. Las vigas y paneles fueron prefabricados en una planta improvisada adyacente a la edificación, la Figura 2-17 muestra la ubicación de la planta de prefabricación. Las estructuras fabricadas en obra tienen una longitud y peso aproximado como se describe en la siguiente tabla.

Tabla 2.1. Descripción de elementos prefabricados – Proyecto Patio Taller

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	LONGITUD (m)	ALTURA (m)	ANCHO (tn)	PESO (tn)
VIGAS LONGITUDINALES PREFABRICADAS	70	9.3	1	0.4	8.95
VIGAS TRANSVERSALES PREFABRICADAS	68	14	1	0.4	13.45
VIGAS CARRILERAS PREFABRICADAS	56	9.3	0.6	0.55	7.4
PANELES PREFABRICADOS	120	1	8	0.15	2.9

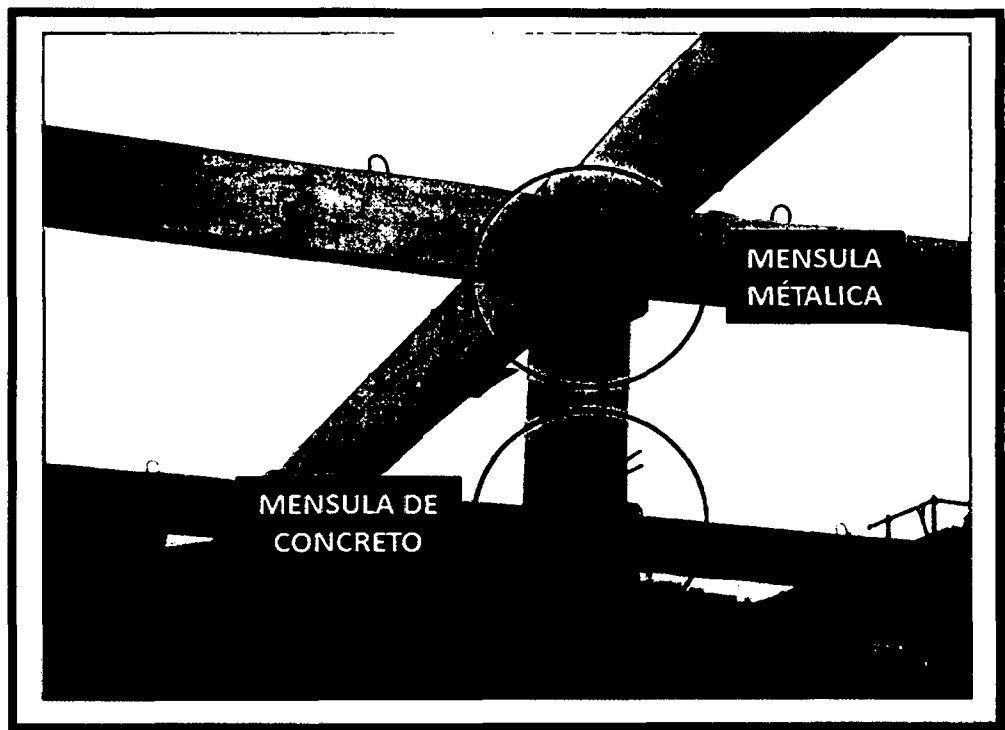
Fuente: Proyecto Patio Taller

Figura 2.18. Identificación de elementos estructurales prefabricados en la edificación



Fuente: Proyecto Patio Taller

Figura 2.19: Conexiones Viga-Columna – Proyecto Patio Taller



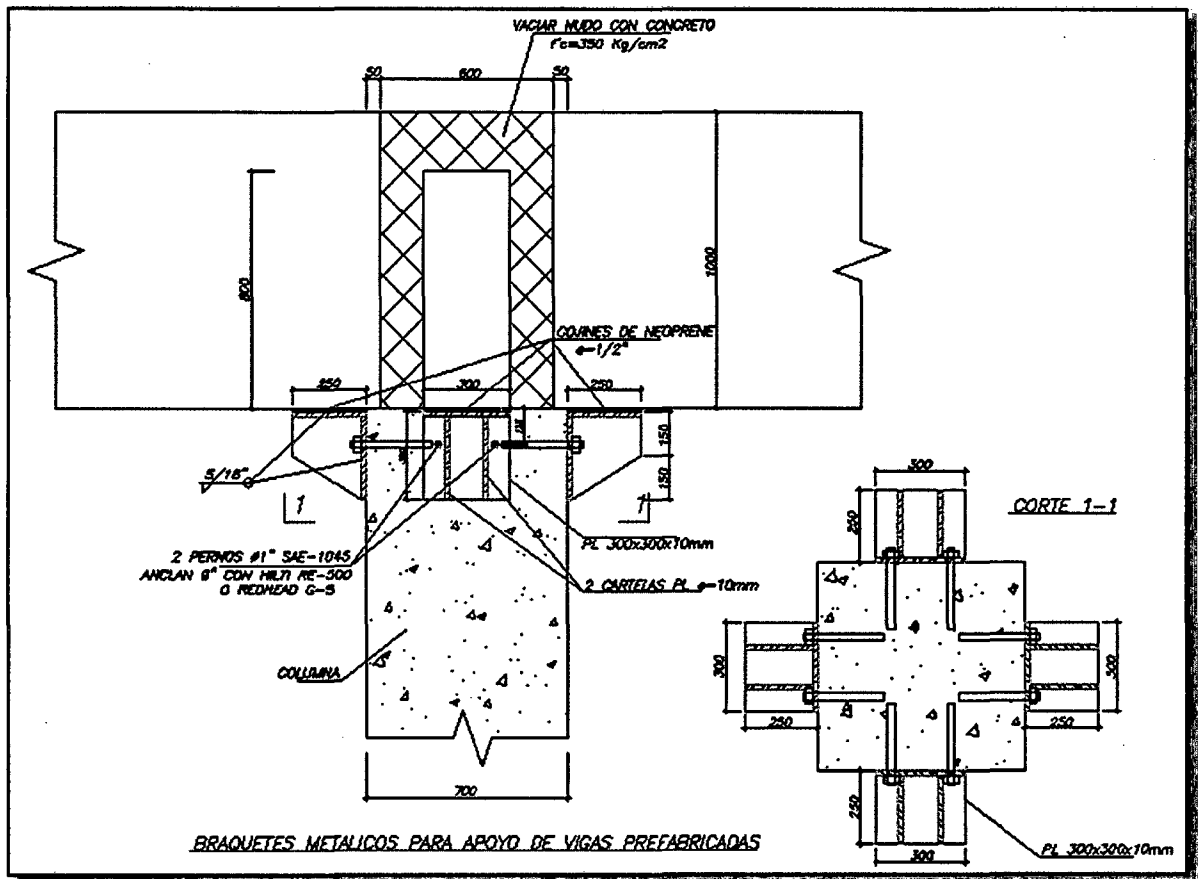
Fuente: Proyecto Patio Taller

Las vigas transversales y longitudinales se asentaban en una ménsula metálica unida con pernos a las columnas y las vigas carrileras se conectaban a las columnas mediante una ménsula de concreto empotrado en la columna. Ver Figura 2.19.

En las Figura 2.20 y Figura 2.21 se presenta el detalle de las ménsulas utilizadas para este proyecto.

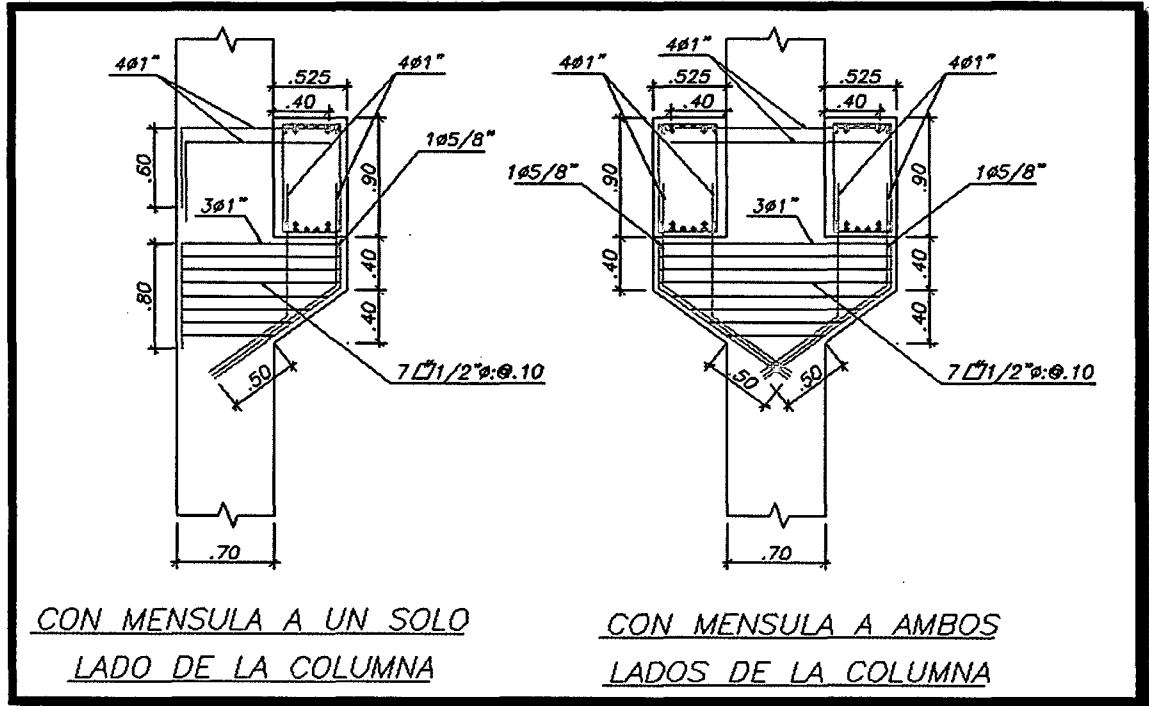
En el mismo proyecto se construyeron paneles prefabricados conectados con la cimentación por una conexión de bolsillo, en donde la cimentación presenta un espacio en el cual, el muro prefabricado puede empotrarse para luego ser llenado de concreto. Ver Figura 2.21.

Figura 2.20. Detalle de la ménsula metálica – Apoyos de las vigas longitudinales y transversales



Fuente: Proyecto Patio Taller

Figura 2.21. Detalle de la ménsula de concreto – Apoyos de las vigas carrileras



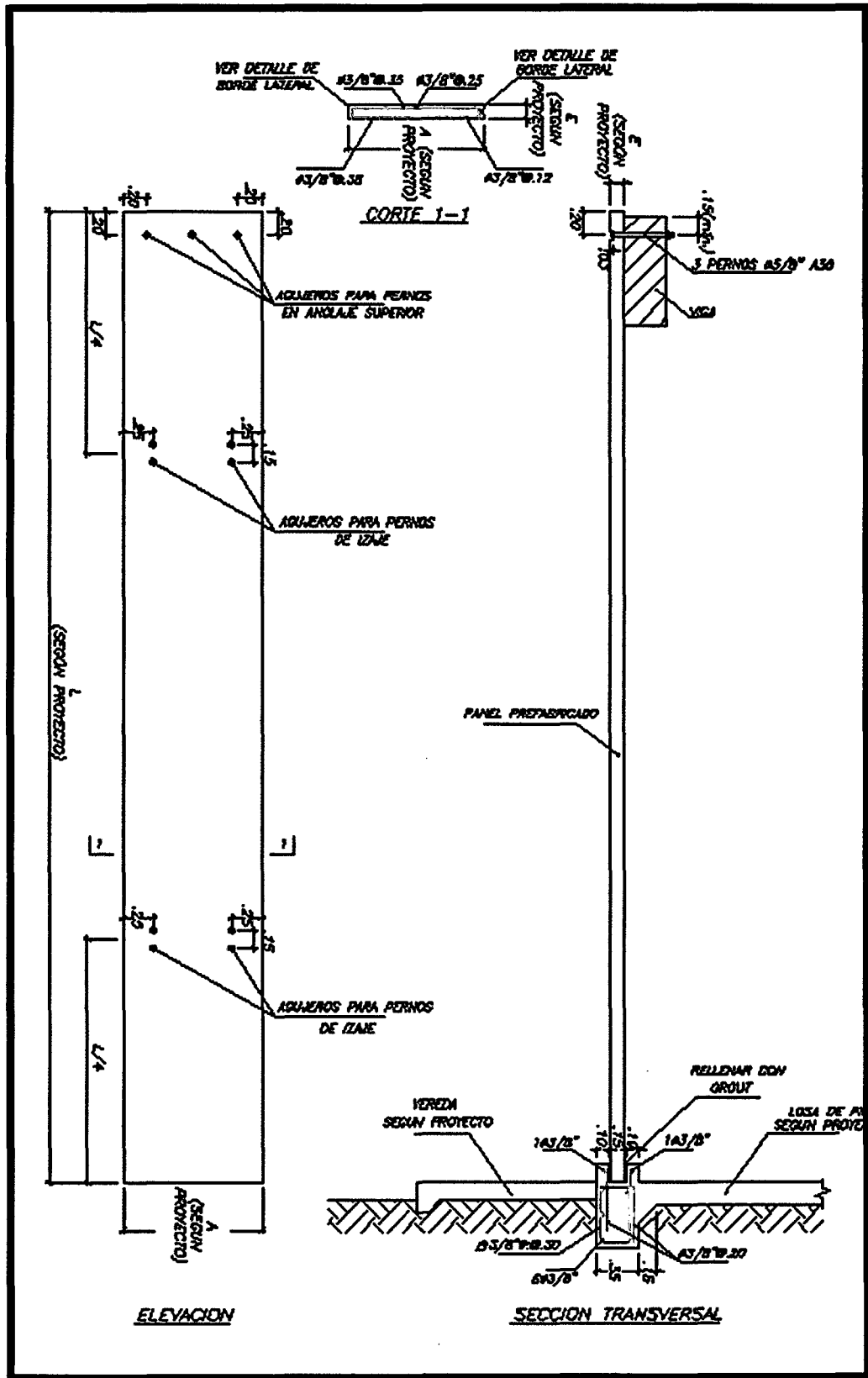
Fuente: Proyecto Patio Taller

Figura 2.22: Conexión Muro-Fundación – PATIO TALLER



Fuente: Proyecto Patio Taller

Figura 2.23. Detalle del panel y sus conexiones con el cimiento y viga

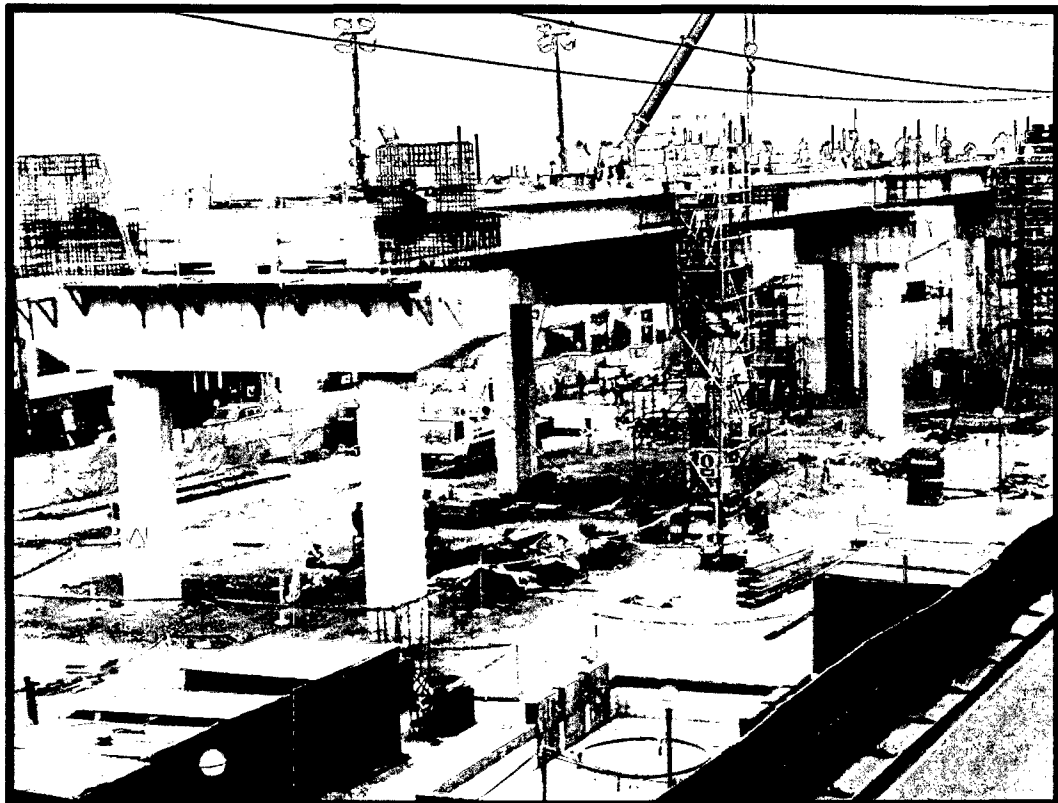


Fuente: Proyecto Patio Taller

Para el montaje de las vigas longitudinales y transversales se necesitó de una grúa de celosía. Para el montaje de las vigas carrileras y paneles se utilizó grúas móviles. En ambos casos se utilizó telehandlers en lugar de andamios para que los trabajadores a cargo de fijar el elemento realicen un trabajo seguro.

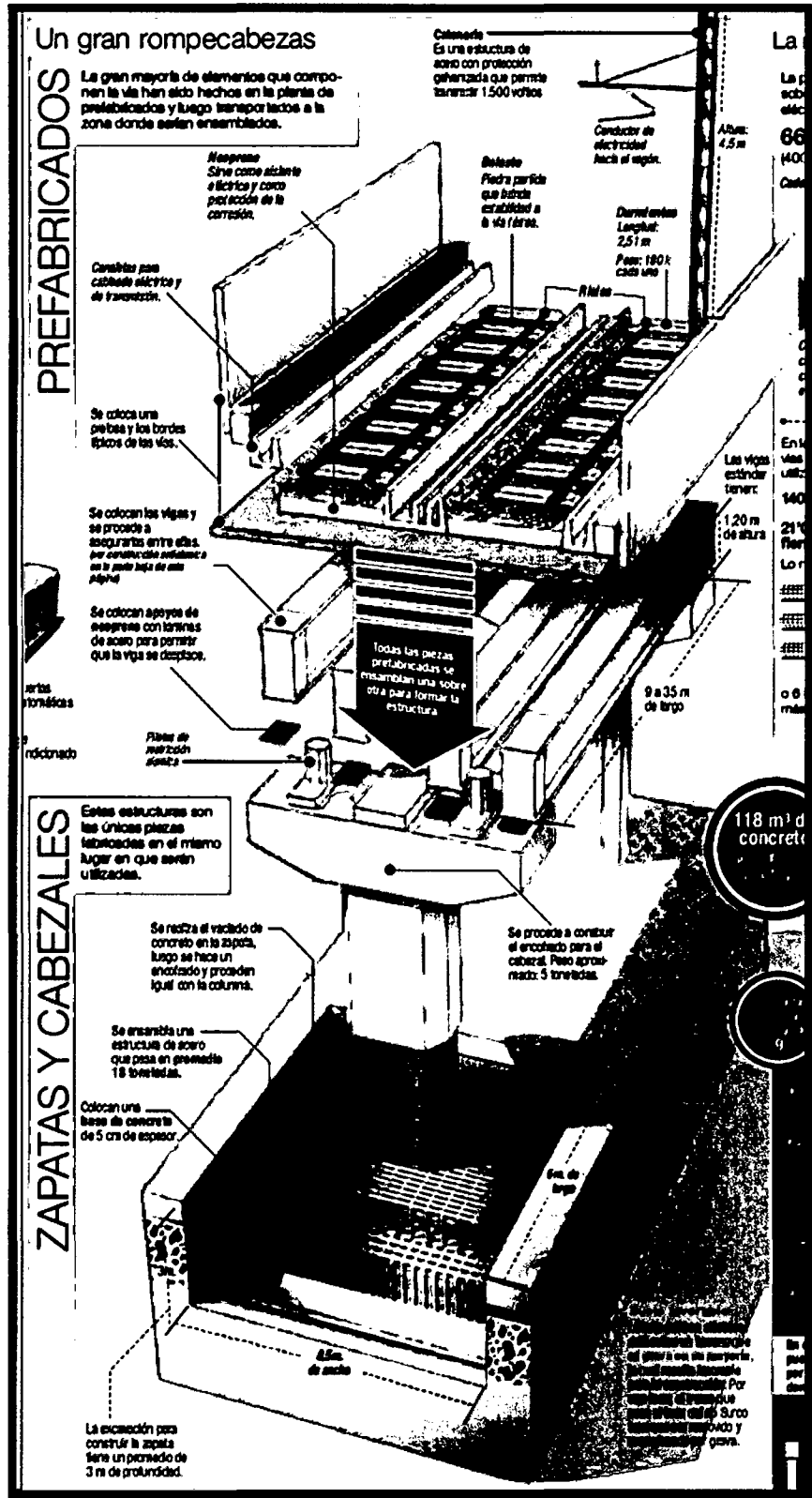
Proyecto Tren Eléctrico: Este proyecto cuenta con su propio plan de prefabricados que abastece a todos los frentes. La planta tiene una capacidad de producción de 18 vigas (20 metros de longitud, 1.80 metros de alto y 42 toneladas). La planta debe producir aproximadamente 1400 vigas a lo largo de todo el proyecto. La planta cuenta con grúas pórticos que facilitan el traslado de las vigas, además cuentan con camiones especiales para transportar las vigas de grandes luces (30 metros). Además la planta de prefabricados dispone de una planta exclusiva de concreto premezclado.

Figura 2.24. Conexión Cabezal-Viga – TREN ELECTRICO



Fuente: Proyecto Tren Eléctrico

Figura 2.26. Descomposición de la estructura de los rieles del Tren Eléctrico



Fuente: Proyecto Tren Eléctrico

En este proyecto las vigas prefabricadas se asientan en grandes cabezales sobre los pilares, similar a la conexión con ménsula de concreto. El montaje se realiza con dos grúas de celosía y dos telehandlers para que los trabajadores encargados de la fijar las vigas en el cabezal lo realicen de manera correcta y segura.

2.5.7. Factores que afectan la productividad en el montaje

(a) Factores de planeamiento y organización

- Falta de seguimiento y programación adecuada del transporte. Para esto se requiere de un tiempo holgado para fabricación.
- Días feriados o festivos, impiden un transporte normal por el exceso de tránsito o bloqueo de vías.
- Fallas de coordinación al subcontratar servicio de transporte separado del montaje. Personal de montaje insuficiente. Para obras de edificaciones industriales se recomienda considerar 2 ayudantes de montaje para vigas, 4 para paneles y 3 para losas, agregando a los anteriores un encargado de montaje por frente.
- Falta de personal capacitado para montajes.
- Los cambios de frente o cambios del programa inicial generan falta de continuidad en los trabajos de montaje ya que en cada cambio se requiere recoger, trasladar e instalar nuevamente el equipo, generándose demoras en el tiempo de montaje y problemas en las cargas a camión y en estibas en la planta y obra.
- Realización de dobles maniobras cuando es necesario almacenar los elementos en obra hasta que se den las condiciones apropiadas para el montaje.

(b) Condiciones especiales de la obra:

- Accesos con obstáculos o con insuficiente área libre para maniobras de montaje; por ejemplo cables de alta tensión próximos a la pluma o a un estrobo, cables de teléfono y otros elementos de la obra que

estorben.

- Obstáculos operacionales de la obra como horario o permiso especial para tráfico vehicular, o cuando el constructor requiere estar operando en otra actividad en la misma zona de la obra.
- Cuando por transporte se requieren permisos y horarios especiales, los mismos que a veces no son previsibles, por lo que las grúas y camiones deben de esperar en el lugar de la maniobra durante varias horas o días.
- Terraplenes cuya compactación no es adecuada para el equipo pesado. Generalmente se solicita que los terraplenes tengan una compactación del 80 al 90 por ciento del proctor para soportar las descargas de una grúa o del tránsito de un tracto-camión.
- Condiciones no adecuadas de los apoyos, irregularidades o falta de alineamiento.
- Dificultad para el ascenso del personal al área de posición final de los elementos.
- Cuando el montaje no es con la grúa al centro de la luz, aumentará la dificultad proporcionalmente a la distancia a lanzar.

(c) Condiciones intrínsecas del proyecto:

- Cantidad, peso y dimensiones de las piezas, lo cual determina el número de piezas por viaje y, por lo tanto, la cantidad de viajes.
- Piezas con desnivel.
- Holguras escasas o nulas entre pieza y pieza.
- Ganchos de izaje fuera del eje de gravedad de la pieza.
- La falta de uniformidad en las piezas genera posibles errores, mayor trabajo de coordinación y a menudo maniobras dobles. La estandarización facilita los trabajos.

- Mientras la operación requiera de mayor altura, por la altura misma del edificio o por algún obstáculo a librar, se requiere de más tiempo.
- Los montajes a dos grúas (lanzados o coordinados) requieren de mucho mayor tiempo, además de una perfecta coordinación entre operadores de grúas.
- La experiencia ha demostrado que por diversos motivos, las primeras piezas de una obra, se tardarán de 3 a 4 veces más del tiempo previsto.

(d) Impredecibles

- Las condiciones climatológicas adversas retrasan el transporte y montaje.
- Condiciones físicas deficientes de las vías de comunicación, lo que se acentúa en lugares remotos.
- Fallas de proyecto, defectos de fabricación o accidentes durante el transporte.

2.5.8. Control de calidad

Considerable énfasis se sitúa sobre el control de calidad en todas las etapas en la producción de componentes de concreto prefabricado. El concreto prefabricado generalmente se fabrica de acuerdo con estándares ISO 9001 o con otros sistemas de calidad internos de la empresa.

Las principales áreas del control de calidad incluyen:

- Certificados de prueba para los materiales
- Pruebas de Resistencia a la compresión
- Pruebas de Consistencia (trabajabilidad)
- Controles de molde estándar y calidad
- La correcta preparación de las armaduras de refuerzo / comprobar las fibras de

acero

- Controles en componentes de moldeado y accesorios
- Controles dimensionales - antes y después del moldeado
- Evaluación de la resistencia inicial
- Inspección de la calidad del acabado

A. Tolerancia

Entendemos por tolerancia, el margen de imprecisión aceptado en las dimensiones de los elementos prefabricados originado por procedimientos constructivos. Las tolerancias que se permiten en la construcción con elementos prefabricados son menores a las tolerancias permitidas en una obra convencional ya que los elementos a ensamblarse tienen una longitud predeterminada y es costosa su modificación.

Las tolerancias en la fabricación de los elementos varían dependiendo de los aspectos que a continuación se mencionan:

Dimensiones del prefabricado: a mayores dimensiones del elemento, mayores tolerancias.

Tipo de construcción: por razones arquitectónicas, estéticas o de instalaciones y acabados, las edificaciones requieren de mayor precisión que los puentes vehiculares.

Tipo de prefabricado: los prefabricados de fachada requieren de tolerancias menores.

Dependencia u orden de secuencia: la posición de los elementos de los cuales dependerá el apoyo de más elementos montados posteriormente, requiere de mucha precisión porque los errores se acumulan. Así, un error en la cimentación afectará al resto de la estructura.

2.6. BENEFICIOSOS DEL USO DE PREFABRICADOS DE CONCRETO

Las ventajas considerables de la construcción con prefabricados se combina con los beneficios inherentes del concreto para proveer un producto de construcción superior. Los beneficios y ventajas que los prefabricados muestran en los proyectos donde se aplican son los siguientes:

- *El ahorro* se genera a través de la reducción del uso de encofrado y andamios y una menor dependencia de los acabados húmedos. La reducción de la supervisión de obra por el contratista es también un ahorro. Al compararlo con la construcción tradicional in situ, se puede esperar los siguientes valores: encofrado 75% menos, andamios en el rango de 75% a 90% menos y acabado húmedo de concreto en 90% menos.
- *Salud y Seguridad.* Por ejemplo, las losas prefabricadas instaladas ofrecen una plataforma segura para que los operarios puedan realizar sus labores. Al mismo tiempo la instalación de escaleras prefabricadas ofrece un acceso seguro y fácil entre los pisos. El riesgo del trabajo en altura no existe porque todos los elementos se fabrican en suelo firme.
- Reducción de la Programación de Construcción, debido a la velocidad de construcción, se tiene más temprano el retorno de la inversión, la liberación de la ruta crítica del proyecto, lo que permite terminar el proyecto antes de la fecha final. Se estima que una estructura de elementos prefabricados toma hasta 20% menos tiempo de construir que un estructura similar con la construcción tradicional.
- Mayor control de proyecto desde una perspectiva de gestión de proyecto y desde una perspectiva de costos.
- *La producción en fábrica* asegura una mayor precisión y calidad de acabado y reduce la dependencia del tiempo. En comparación con la estructura fabricada in situ, el sitio de trabajo se reduce entre 50-80% usando prefabricado. El trabajo para las siguientes operaciones se reduce entre un 30% y 50%, dependiendo de los acabados.

- Constructabilidad⁷. Los prefabricados pueden mejorar en gran medida la constructabilidad porque las partes sensibles de la operación se pueden mover desde la obra a la fábrica.
- Grandes luces de vanos. Reducir el número de columnas es de importancia crítica en proyectos como estadios y estacionamientos de vehículos. Tramos más largos y menos profundos pueden ser obtenidos mediante el uso de vigas y losas de concreto pre-tensado.
- Menos desperdicio. Los sistemas de prefabricados reducen significativamente la cantidad de desperdicio de materiales producido en obra.
- La disminución de mano de obra y menos necesidad de mano de obra especializada para las labores de fabricación y montaje.
- Permite construir proyectos con poca área para almacenamiento y operaciones previas, ya que estas pueden ser realizadas en un espacio diferente. Lo que permite tener una distribución de obra ordenada y optimizada.

También existen otros beneficios que son muy apreciados en países desarrollados. Los beneficios son (Irish Precast Concrete Association):

- Resistencia al sonido. Las estructuras de prefabricados reúnen los mayores estándares para resistir la transmisión de sonido. Las pruebas muestran que el aislamiento acústico a ruido aéreo de un piso de concreto de 150 mm es de 50db.
- *Propiedades inherentes contra el fuego*. La resistencia al fuego es propia del concreto sin necesidad de aditivos, la cual se considera durante todas las fases de construcción. Esta es una ventaja sobre las soluciones de acero y madera. Esta propiedad elimina o reduce considerablemente la necesidad de adicionar protección contra incendios y el costo asociado.

⁷ Constructabilidad se le define como el grado en que la integración de la experiencia y el conocimiento en un proceso de construcción facilita el logro de un equilibrio óptimo entre los objetivos del proyecto y las limitaciones de recursos. El diseño del proyecto permite ser construido sin causar pérdidas e interferencias.

CAPÍTULO III. MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN

En este capítulo se pretende proponer un modelo conceptual que pueda brindar la posibilidad del análisis holístico del sistema de construcción - flujo de producción o sistema de producción en construcción – para obtener un mejor entendimiento y proporcionarle mejoras e innovaciones para su desarrollo.

3.1. SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN

El sistema se define como un conjunto de partes operativamente interrelacionadas, dinámico, del que interesa considerar fundamentalmente su comportamiento global, holístico. Un sistema puede ser considerado como un proceso que responde ante unas entradas para producir unas salidas.

Existen unos límites que separan el sistema del medio ambiente en el que está incluido. Los límites del sistema deben escogerse de tal manera que se incluyan en su interior aquellos elementos necesarios para generar el comportamiento que muestra el sistema. La selección de elementos pasa por estimar cuales son los que interactúan para producir el comportamiento a investigar (elementos interiores), excluyendo los que son irrelevantes (elementos exteriores). La última descripción es de un sistema cerrado, pero existen también sistemas abiertos que para su estudio no se puede aislar los elementos exteriores.

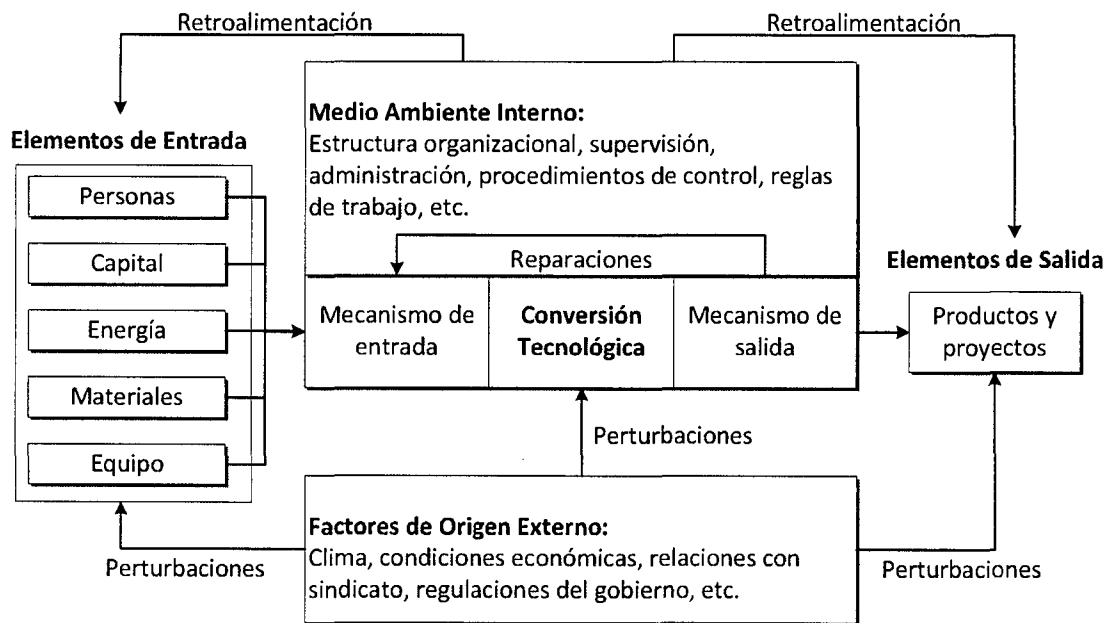
Existe una regla para determinar el límite de un sistema, describe que, las relaciones causa-efecto entre el medio (elementos externos) y el sistema son unidireccionales, mientras que los elementos en el interior del sistema están relacionados por medio de bucles de realimentación que determinan una fuerte interacción entre ellos.

La construcción es considerada un sistema abierto, complejo y dinámico¹. En construcción tiene como objetivo administrar recursos (personal, equipos, capital, materiales, energía) para que a través del comportamiento del sistema (conversión tecnológica) se obtenga el producto (edificación, obra civil, entre

¹ La construcción es un sistema complejo y dinámico fue sustentado en el capítulo I.

otros). La conversión tecnológica es el objetivo principal pero dentro del sistema existen otros comportamientos que ayudan a este fin y no son tomados en cuenta, son tácitos. A estos comportamientos tácitos se les denomina flujos, se verá más adelante.

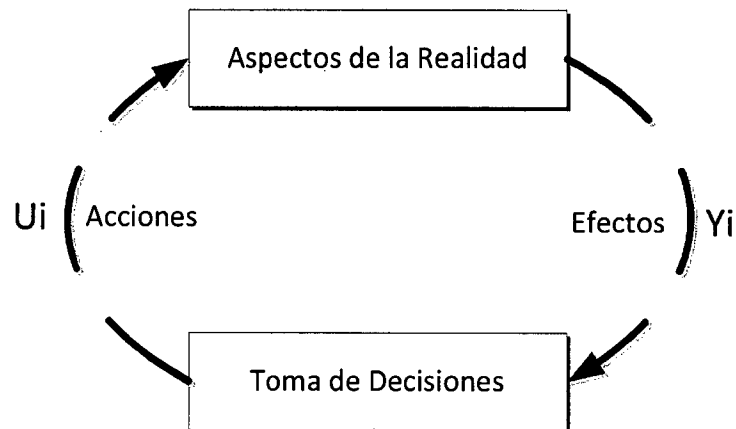
Figura 3.1. La construcción como un sistema abierto



Fuente: Adaptado de (Thomas & Raynar, 1997)

3.2. DEFINICIÓN DE MODELO

Todo el mundo emplea instintivamente modelos cuando toma decisiones sobre determinados aspectos de la realidad. En el proceso de toma de decisión se elige una entre varias acciones posibles, teniendo en cuenta el efecto que cada acción vaya a producir. La relación que liga las posibles acciones con sus efectos es el modelo del sistema. Por lo tanto, en el proceso de toma de decisión se elige una entre varias acciones posibles, teniendo en cuenta el efecto que cada acción vaya a producir. Es así que, en el proceso de toma de decisiones se está empleando un modelo del sistema.

Figura 3.2. Representación formal de un modelo

La relación que liga las acciones U_i (entradas) con los efectos Y_i (salidas), según $Y = R(U)$, constituye la representación formal de un modelo.

3.2.1. Clases de modelos

Los modelos son usados para representar un sistema y analizarlo. Lo que se busca con el modelado es transformar un sistema real a un modelo matemático para ser luego interpretado por la computadora, la cual estudiará el comportamiento del modelo matemático como si fuera el sistema real. Para esto existen niveles de modelamientos o clases.

(a) Modelo mental, o modelo conceptual basado en el conocimiento que se tiene sobre un aspecto de la realidad adquirido a través de la experiencia e intuición, del cual se extraen aquellas características esenciales para representar el aspecto considerado.

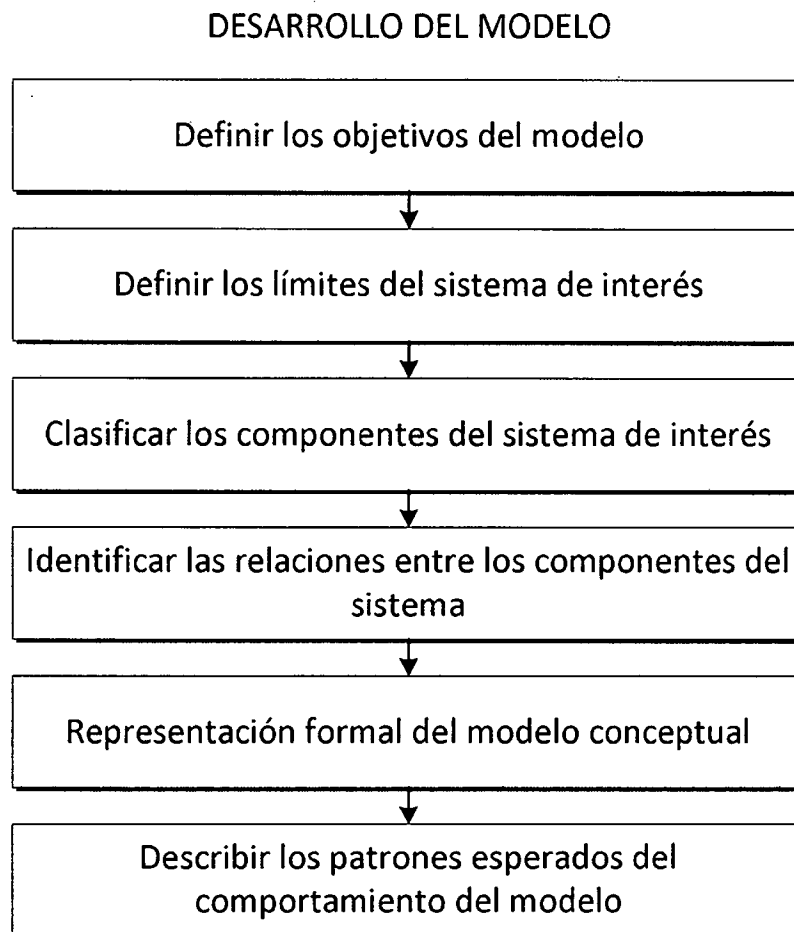
(b) Modelo formal, basado en las hipótesis empleadas en los modelos mentales, estableciendo a partir de ellas las relaciones formales que definen el comportamiento del aspecto de la realidad en cuestión. Utiliza la capacidad del computador, que aunque no es capaz de establecer las relaciones por sí mismo, si está capacitado para desarrollar las consecuencias dinámicas de las interacciones del sistema que representa el modelo.

Por el alcance de la investigación y por las características del sistema de construcción solo se espera llegar al nivel de modelo conceptual.

3.3. MODELO CONCEPTUAL

El objetivo de la primera etapa del análisis de sistemas es desarrollar un modelo conceptual, o cualitativo, del sistema de interés. Para desarrollar un modelo conceptual se deben seguir ciertos pasos, ver Figura III-3. La cual se seguirá para desarrollar el modelo conceptual para un sistema de construcción.

Figura 3.3. Paso para el desarrollo del modelo conceptual



Fuente: (Hernández Cárdenas, 2005)

Primero se debe definir claramente los objetivos del modelo, que se usarán como base para abstraer del sistema real aquellos componentes que son relevantes para abordar el análisis. A medida que se seleccionen ciertos componentes y excluyendo otros, se va definiendo los límites del sistema de interés. Luego se clasifican los componentes del modelo de acuerdo con el rol específico que tienen en la descripción de la estructura del sistema, y se

identifican las relaciones entre los componentes que generan la dinámica del sistema. Posteriormente representamos formalmente el modelo conceptual resultante usando un diagrama, por ejemplo, el diagrama de cajas y flechas, donde las cajas representan los puntos de acumulación de recursos, y las flechas representan las rutas por las cuales el recurso fluye por el sistema. Finalmente, se describen los patrones esperados del comportamiento del modelo por medio de gráficos que representan los cambios a lo largo del tiempo en los valores de las variables del sistema que se consideran más importantes.

En muchos aspectos, el desarrollo del modelo conceptual es la etapa del análisis de sistemas que presenta el mayor desafío intelectual. La mejor base para tomar decisiones (las que a menudo son subjetivas) acerca de cuáles componentes debemos incluir en el modelo está dada por el conocimiento acerca del sistema real. Existen dos estrategias generales para identificar componentes del modelo: una de ellas consiste en incluir pocos componentes y posteriormente añadir aquellos componentes críticos que inicialmente fueron omitidos; la otra consiste en incluir todos los componentes que podrían ser de importancia en la etapa inicial, para luego descartar aquellos que al parecer son superfluos. Teóricamente, el resultado final de las dos estrategias debería ser un modelo conceptual con el grado mínimo de complejidad que permita abordar problemas. En la práctica es mejor comenzar con un modelo que sea lo más simple posible.

3.4. ANTECEDENTES DEL MODELO DEL SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN

3.4.1. Modelo de conversión

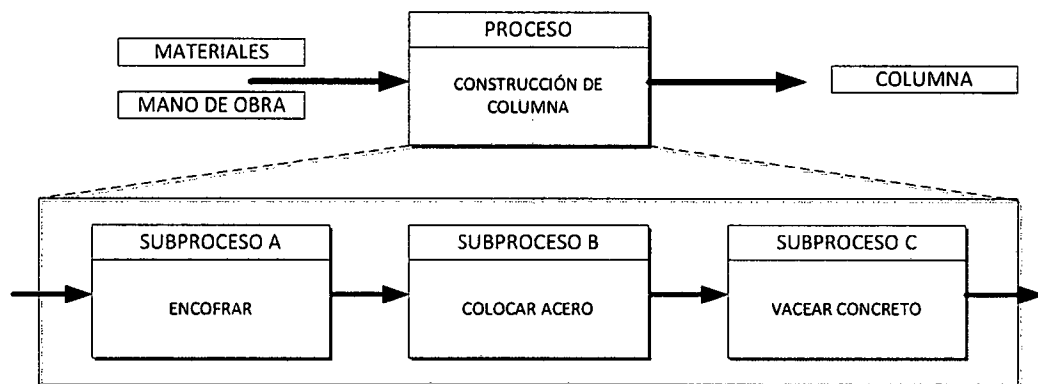
El modelo conceptual dominante desde el punto de vista convencional de la producción es el modelo de conversión (Cornish, 2008). Este modelo es tomado en consideración a partir de la programación CPM², (Cornish, 2008) creada en 1956 por la empresa DuPont con el objetivo de gestionar el tiempo y costo del proyecto a través de la computadora. Se fundamenta en que no es necesario incrementar el trabajo en los proyectos para recuperar el tiempo perdido, sino identificar las tareas correctas para enfocar esfuerzos en ellas, así reducir el tiempo sin un incremento significativo del costo.

² CPM, Critical Path Method (Método de la Ruta Crítica)

(Baker, 2004) Supone que un proyecto está conformado por un número de actividades individuales que secuenciándolas formando una red de dependencias logran los objetivos del proyecto. Cada actividad es considerada un proceso, que es definido como la conversión de entradas (mano de obra, materiales, entre otros) para dar como resultado un producto o servicio.

La producción como un proceso de conversión puede ser definida como (Koskela, 1992): (1) Un proceso de producción es la conversión de una entrada en una salida; (2) El proceso de conversión puede ser dividido en subprocesos, que son a su vez procesos de conversión; (3) El costo del proceso total puede ser minimizado reduciendo el costo de cada subproceso; y (4) El valor de la salida de un proceso son los costos (o valor) de las entradas del proceso.

Figura 3.4. Modelo de conversión

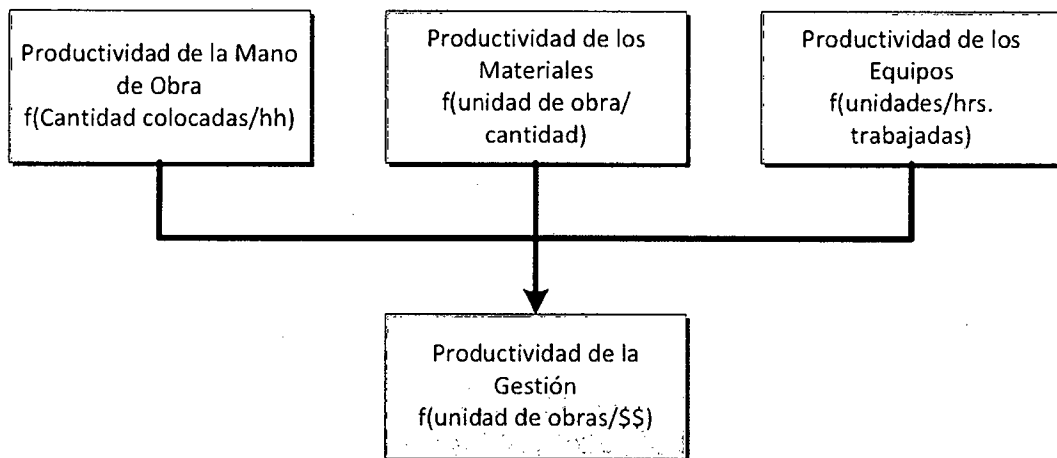


Muchas disciplinas - economía, ingeniería industrial, muchas más – han usado esta idea como base para el entendimiento de la producción. El modelo, Figura III-4, permite realizar mediciones, como la productividad – evaluar la relación entre salida y entrada (o una parte particular de ella – mano de obra, materiales, o equipos) en un período dado de tiempo. Por lo tanto, inclusive si no tenemos el proceso de conversión en mente, los conceptos y medidas frecuentes e implícitas reflejan este modelo.

De este modelo se han realizado estudios para mejorar la productividad y se han propuesto metodologías y hasta modelos que describen el rendimiento del modelo. La productividad es un indicador importante para la gestión de proyectos con este modelo conceptual. En todo proyecto usualmente se miden cuatro tipos de productividad: Productividad de mano de obra, Productividad de

materiales, Productividad de equipos, y la Productividad global del proyecto, ver Figura III-5. Como es evidente todo de manera separada sin ningún tipo de vinculación entre indicadores, es un análisis que no toma en cuenta lo holístico del sistema de construcción.

Figura 3.5. Tipos de productividad para la gestión de proyectos basados en el modelo de conversión



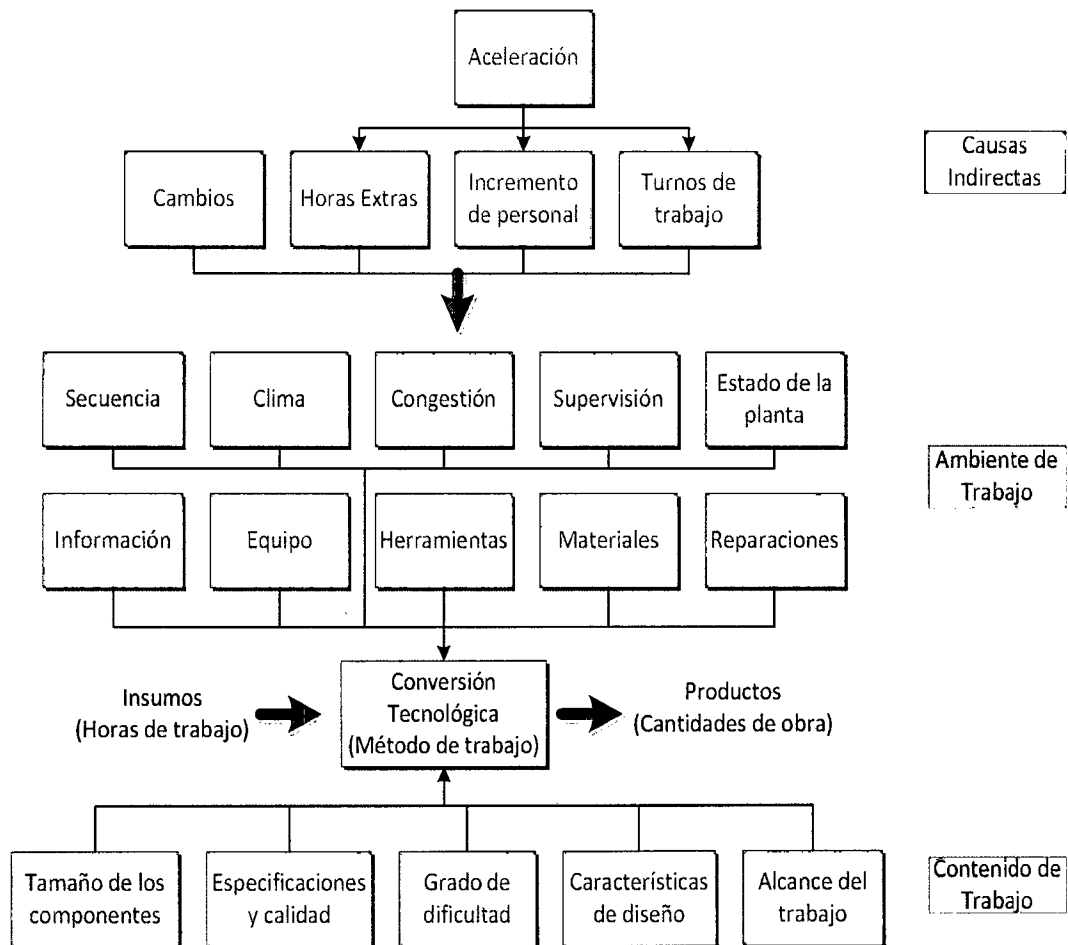
Fuente: Adaptado de (Serpell Bley, 2002)

En donde se enfocan los estudiosos e ingenieros de producción que siguen este modelo para incrementar la productividad es en la mano de obra. La mano de obra es el recurso principal que casi siempre está presente en todos los procesos. Entonces las metodologías de mejora de la productividad están orientadas a mejorar el rendimiento de la mano de obra. Algunas de estas metodologías son el Estudio de Trabajo (OIT, 1996) y también el modelo de factores, que pretende describir los factores que afectan a la productividad de la mano de obra.

Una representación detallada del modelo de factores es mostrada en la figura III-6. El modelo muestra que la conversión de insumos (horas de trabajo) a productos (cantidades) es una función del método de trabajo o conversión tecnológica. Varios factores afectan la eficiencia con que los insumos se convierten en productos, tales como el clima, falta de materiales, dificultad del

trabajo, entre otros.. Estos impedimentos se dividen en dos categorías: Contenido de trabajo, y Ambiente de trabajo. El contenido de trabajo se refiere a los componentes físicos del trabajo. El ambiente de trabajo muestra diez variables que pueden influir. Estos son las causas raíz de la pérdida de eficiencia. Existen muchos otros factores, pero los diez que se presentan son los más comunes. Estos factores impiden o mejoran la eficiencia con que las entradas u horas de trabajo se convierten en productos o cantidades.

Figura 3.6. Modelo de factores



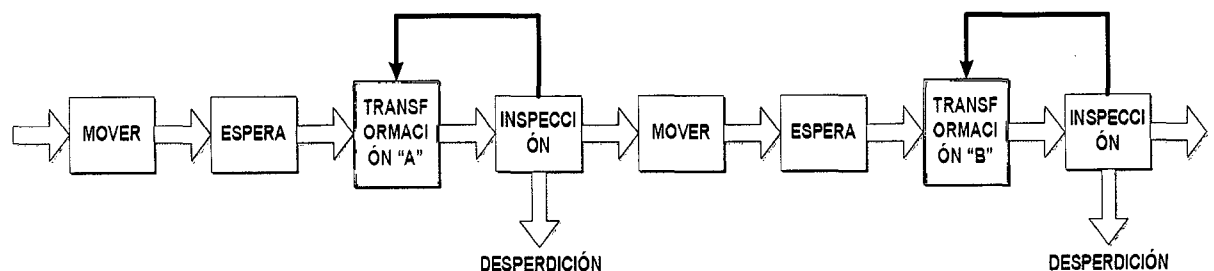
Fuente: Adaptado de (Thomas & Raynar, 1997).

3.4.2. Modelo Dual: Conversiones y Flujos

Este modelo surge basado en la investigación que presentó Lauri Koskela en la Universidad Stanford, conocido como el Reporte Técnico # 72 del CIFE3 a partir de su visita académica en 1992. En este informe (Koskela L., 1992) demuestra que el modelo de conversión o tradicional causaba que la producción en construcción tenga elevada cantidad de desperdicios, además que no contaba con un sustento conceptual. Por lo tanto, Koskela propone comenzar a formular una base conceptual para una filosofía de producción para la construcción basándose principalmente en principios de la escuela japonesa como es el Justo A Tiempo, y Calidad Total, dando inicio a la corriente filosófica "Lean Construction".

El modelo dual describe que la producción es un flujo de material y/o información de la materia prima hasta el producto final. La conceptualización de este modelo tiene una percepción dual que consiste en conversiones y flujos. En el flujo de proceso, el material se procesa (convierte), se inspecciona, se espera o se está moviendo. Estas actividades son intrínsecamente diferentes. El procesamiento representa el aspecto de conversión en la construcción; inspección, transporte y espera, representan el aspecto de flujo en la construcción. La eficiencia global de la construcción se observa tanto en la eficiencia (nivel de tecnología, habilidad, motivación, etc.) de las actividades de conversión realizadas, así como la cantidad y la eficiencia de las actividades de flujo mediante el cual las actividades de conversión están unidas.

Figura 3.7. Modelo dual de la producción: Conversiones y Flujos



Producción como un proceso de flujo: Ilustración simplista. Los cuadros de blanco son actividades que no agregan valor y los de amarillo las que agregan valor

Fuente: Basado en (Koskela, 1992)

³ CIFE. Center for Integrated Facility Engineering – Stanford University

Los procesos de flujo pueden ser caracterizados por el tiempo, costo y valor. El valor refiere al cumplimiento de los requerimientos del cliente interno. En la mayoría de los casos, sólo las actividades de procesamiento son las que agregan valor. Para los flujos de materiales, las actividades de procesamiento son alteraciones de la forma o sustancia, montaje o desmontaje.

Su principio de mejora del desempeño argumentaba que todas las actividades consumen tiempo y elevan los costos, y solo las actividades de conversión añaden valor al material o información que se transforman en un producto, por lo tanto, para mejorar, las actividades de flujo deben de reducirse o eliminarse, y las actividades de conversión deben ser más eficientes. Para lo cual se propone los 11 principios⁴ heurísticos de Lean Construction.

3.4.3. Modelo de TFV (Transformación-Flujo-Valor)

La teoría de Producción TFV fue desarrollada por Lauri Koskela en su tesis doctoral, (Koskela L., An exploring towards a production theory and its application to construction, 2000). La teoría del TFV agrupa tres sub-teorías como son: Transformación, Flujo y Valor; estas sub-teorías son modelos que se han usado de forma independiente en la gestión de producción en proyectos de construcción.

En (Koskela, Rooke, Bertelsen, & Henrich, 2007) proponen un nuevo desarrollo de la teoría de producción (construcción) del TFV (Transformación – Flujo – Generación de Valor) orientándola con la visión de Shigeo Shingo en su modelo de red de flujos. Se argumenta que para gestionar la construcción se debe tener en cuenta estas tres sub teorías e *integrarlas*: (T) Transformación está orientada al trabajo, observa la interacción de los recursos de mano de obra y maquinarias con los materiales, llamado por Shingo como flujos de sujetos o de operaciones; (F) Flujo está orientado a los movimientos espaciales y temporales de los materiales (o información), tradicionalmente es la logística; y (V) Generación de Valor orientado a mirar el proceso de diseño y fabricación de productos para satisfacer las necesidades del cliente interno y externo, llamado por Shingo, flujo

⁴Los 11 principios de Lean Construction fueron descritos en el Capítulo I.

de objetos o procesos⁵.

Este modelo reconoce que existen tres elementos esenciales en la producción: Los trabajadores y maquinaria (sujetos), los materiales (objetos) y los clientes internos y externos, así como los procesos que se relacionan con cada uno de ellos, que deben ser gestionados integralmente para acercarse a una completa conceptualización de la construcción.

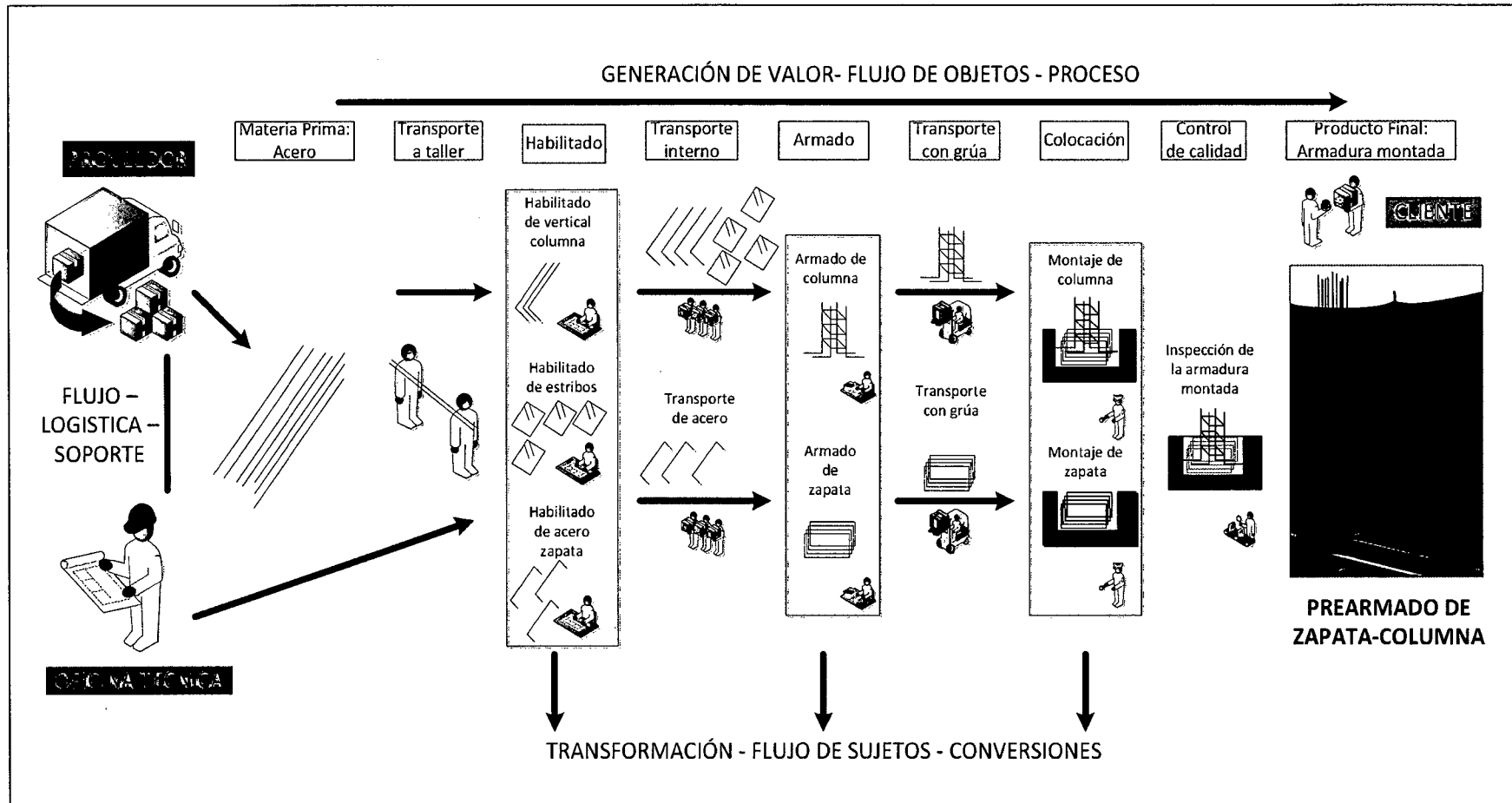
Este modelo es un primer intento de Lauri Koskela por adoptar la filosofía de Shigeo Shingo expresada en su red de producción, ver Figura I-1, En donde se separa el flujo de objetos – Generación de Valor – y el flujo de sujetos – Transformación – que se encuentran en el mismo flujo de producción. Ambos forman una red bidireccional.

En la Generación de Valor, también llamado proceso o flujo de objetos porque son las etapas por las que pasa la materia prima y productos semi-elaborados hasta transformarse en el producto que cumpla los requerimientos del cliente. *La Generación de Valor busca ser el puente entre el diseño y la construcción.* Los objetos en este flujo –proceso- sufren fenómenos como son: procesamiento, transporte, espera, e inspección (Shingo, 1987). La Transformación es conocida como flujo de sujetos porque participan directamente la mano de obra y los equipos, quienes también sufren los mismos fenómenos que los objetos como son: procesamiento, transporte, espera, e inspección. El Flujo es el movimiento de materiales (materiales desde el proveedor) e intercambio de información (planos, programación, entre otros), el Flujo es el soporte logístico a los otros dos flujos. Todos los flujos componen el flujo de producción.

En la Figura III-8, la teoría de producción del TFV para la construcción es descrita como la interacción de tres flujos - sistema de flujos -, esto es uno de los inicios para buscar un modelo que muestre la naturaleza compleja y dinámica del sistema de construcción a través de la gestión por flujos.

⁵ Procesos como la secuencia que sigue los productos a través de las operaciones, mostrando como los objetos se van transformando hacia el producto final.

Figura 3.8. Visión del flujo de producción del TFV. Caso: Pre-armado de Acero (Zapata – Columna)



3.4.4. Modelo de Flujos

Flujo es una cadena de eventos relacionados por una secuencia para lograr un objetivo, por ejemplo: transmitir una información, entregar un material, o fabricar un producto.

El modelo de flujos es una propuesta de investigadores Lean Construction de una perspectiva para gestionar los proyectos de construcción basándose en la gestión de flujos, por ser este un principio Lean. Una de las corrientes de investigadores que siguen esta propuesta la denominan Física de Construcción.

3.4.4.1 Física de construcción

La Física de Construcción es una denominación basada en el estudio de (Hopp & Spearman, 1995) sobre Física de la Fábrica⁶, que estudia desde una perspectiva científica el flujo de producción desarrollando un conjunto de leyes que rigen sobre el comportamiento de los sistemas de flujo por medio de la teoría de colas. Estas leyes permiten analizar el efecto de la variabilidad en el rendimiento de los procesos. Un tema fundamental en la Física de la Fábrica es comprender las causas subyacentes de la variabilidad en el tiempo y en el flujo, causada principalmente en las etapas de producción diferentes a la transformación - como son: espera, transporte, inspección, etc. - para caracterizar los efectos de esta variabilidad en el proceso de producción global.

La Física de Construcción es una corriente que estudia la gestión de flujos, descrita como un nuevo y profundo entendimiento de la naturaleza del proceso de construcción como un número de flujos que conjuntamente generan valor para el cliente. Comprender y gestionar el proceso de construcción como un flujo ha sido tema clave para los estudiosos de Lean Construction desde sus inicios.

En (Koskela L., An exploring towards a production theory and its application to construction, 2000) se discute la naturaleza de la producción a partir de tres diferentes perspectivas: Transformación, Flujo y Generación de Valor - TFV, todos ellos descritos como flujos (Koskela, Rooke, Bertelsen, & Henrich, 2007). Por lo que, el flujo es un aspecto importante, porque son el flujo y su naturaleza

⁶ Traducido de Factory Physics.

quienes provocan la necesidad de la física de construcción. Incluso (Ballard, 2000) introduce un enfoque de la gestión de flujo en la práctica bajo el término de Last Planner System.

3.4.4.2 El Flujo de Producción

En la teoría planteada por (Hopp & Spearman, 1995) observa que el flujo del producto es un flujo lineal de fácil comprensión. En cambio Shingo (Hitachi, 1950) sostiene que el flujo de producción los componen dos tipos de flujos: flujos de objetos (procesos) y flujos de sujetos (operaciones). Shingo no trata el aspecto del valor como tal – el valor del producto parece ser una característica incrustada en el diseño del producto -, pero mirando a través de la teoría del TFV (Koskela, Rooke, Bertelsen, & Henrich, 2007) se reconoce que el valor es el resultado del proceso, que a su vez se apoya en las operaciones. En cada proceso por donde pasa el material se completan requerimientos que añaden valor al producto.

En la producción en masa o manufactura, el flujo es laminar y ordenado a pesar de que cada vez sus productos son más personalizados. Las variaciones para la personalización del producto se prevén y se incluyen en el diseño tanto del producto como del sistema de producción, causando que el espacio para la improvisación en las características del producto o proceso sea, en la mayor parte, muy limitada y en la mayoría de los casos inexistente. Por lo tanto, el sistema de producción es en general el mismo para todas las variaciones de producto.

En la producción de un producto único, donde las restricciones de diseño son limitadas por las leyes naturales, autoridades y requerimientos del cliente, el flujo de producción no es lineal. En proyectos de este tipo, como la construcción, el sistema de producción debe ser diseñada y organizada respecto al producto, rara vez se emplea el mismo sistema de producción dos veces. A pesar de que muchas de las piezas en los proyectos de construcción son estándares o producidas en masa, la mayor parte del montaje y un buen monto de partes son el resultado de la artesanía, la cual se entrega mediante un número cada vez mayor de contratistas y diseñadores especializados, lo que llamamos sub-contratos.

El proceso de construcción por lo tanto difiere de la manufactura no sólo en términos de tamaño y la inmovilidad del producto (Serpell Bley, 2002), sino además, a través de la naturaleza del proceso. A pesar de que se basa en las mismas premisas que Shingo, los flujos de producción de la construcción se caracterizan no sólo por tener un proceso en que los productos pasan las estaciones de trabajo, sino también por tener un flujo de estaciones de trabajo (trabajadores, equipos, etc) para ejecutar las distintas operaciones, en diferentes ubicaciones, en todo el producto. Esto significa que aspectos tales como el espacio de trabajo, de almacenamiento, accesos, entre otros, pueden ser vistos como flujos.

3.4.4.3 Modelos base de los Modelos de Flujos

Los proyectos de construcción han sido durante algún tiempo vistos como una serie de operaciones, como se describe en el modelo de conversión. A la luz de la comprensión del flujo se sugiere que los proyectos sean tratados desde la perspectiva de flujo. Quizás no se deba cambiar radicalmente la forma en que llevamos a cabo proyectos de construcción, pero con la finalidad de alcanzar una comprensión más profunda de la naturaleza de la construcción debemos considerar la perspectiva de flujo.

La propuesta de gestión por flujos es ver al proyecto como un verdadero proceso donde la naturaleza del propio proceso y, no menos importante, la de los flujos que lo alimentan, se pone en el enfoque y donde la importancia de las partes - las operaciones - se sintoniza. Este modelo mental puede o no puede ser tan útil para la gestión de proyectos como el modelo de operaciones - conversiones o tareas - que se expresa en el diagrama de Gantt, el plan CPM⁷ o la programación LOB⁸, pero es realmente mucho más adecuado que los mencionados, para la comprensión de la verdadera naturaleza del proyecto y del entorno en el que el proyecto de construcción está en funcionamiento.

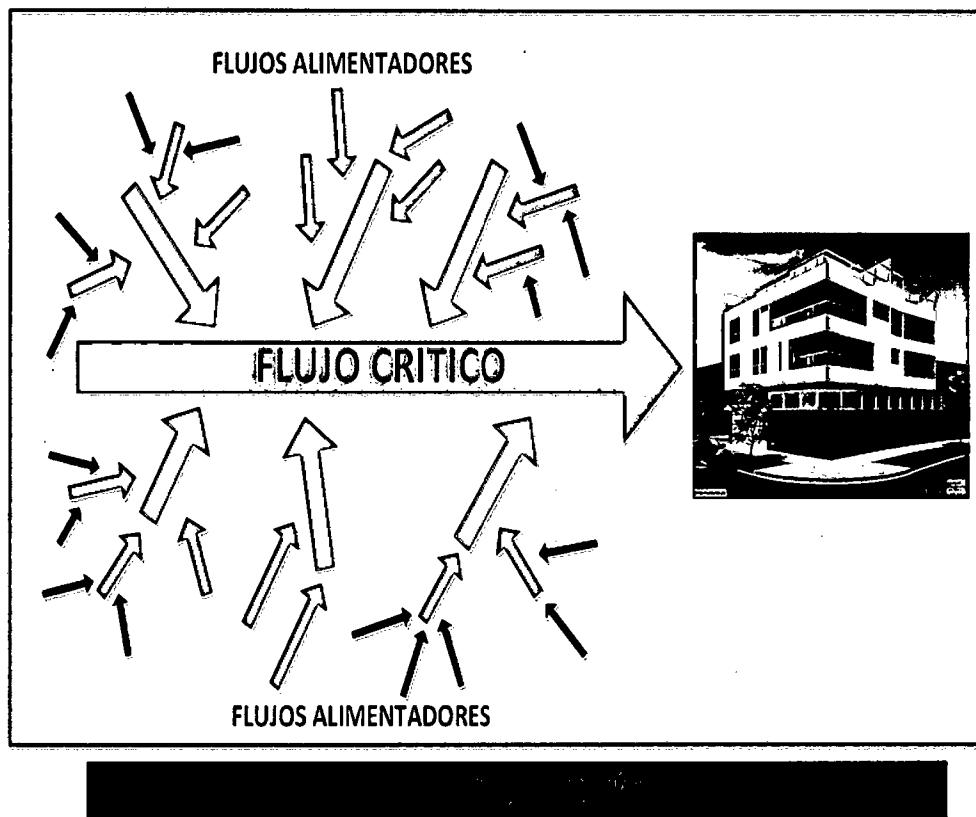
En la teoría del modelo de flujos se presenta el concepto de construcción como un proceso que está siendo alimentado por una serie de flujos de los cuales uno de ellos es el crítico y decide la velocidad con la que el proceso se lleva a cabo.

⁷ CPM, Método de la Ruta Crítica.

⁸ LOB, Línea de Balance

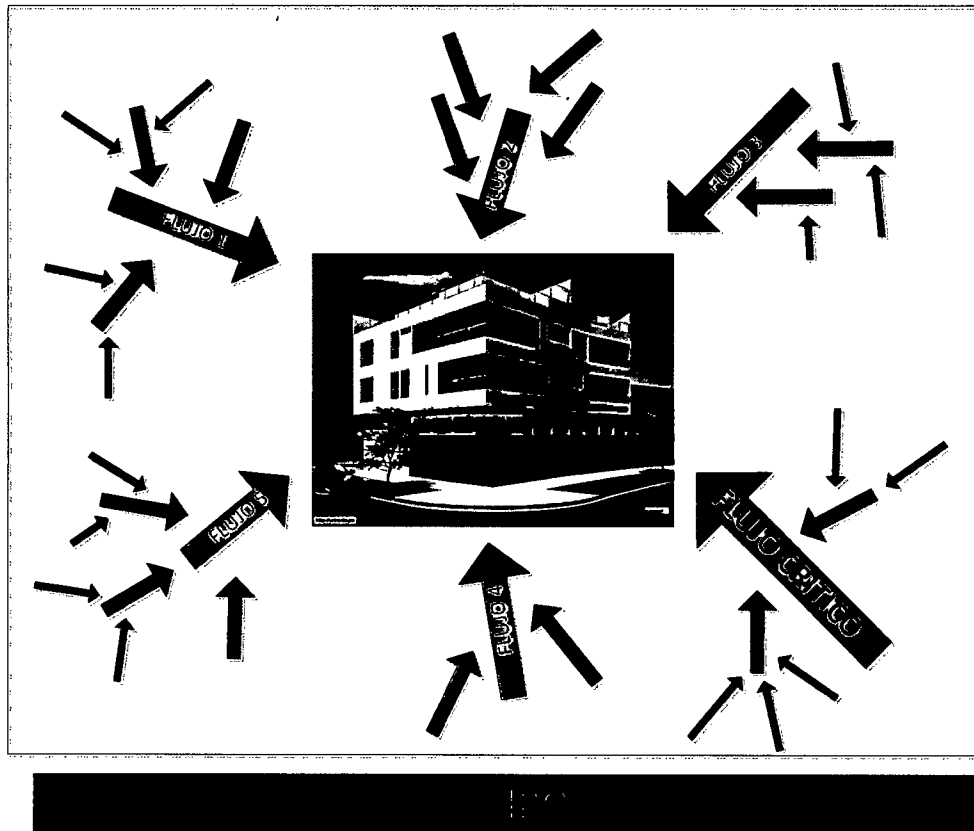
Existen dos modelos mentales básicos que intentan entender este concepto de construcción. El primero se representa a un flujo de trabajo – Flujo Crítico - que se alimenta de una serie de flujos, como un gran río con sus afluentes. El segundo modelo representa a los flujos confluyendo, un caso similar es el del incendio en donde tenemos dos tipos de flujos que alimentan el proceso: uno o más flujos de material combustible, y uno de oxígeno. Y tenemos calor como el resultado de los pasos del proceso anterior o al principio como un tercer flujo. Luego tenemos el espacio - el horno - en donde se lleva a cabo el proceso. Si se desea controlar el proceso de incendio, el objetivo no es controlar el proceso en sí, sino la gestión de uno o más de los flujos – Flujo Crítico. Muy a menudo se hace mediante la reducción o el aumento del suministro de oxígeno o combustible para bajar o aumentar la intensidad. El proceso de construcción es de hecho más complejo pero aun así, se obtiene una nueva visión completa de esta forma de pensar.

Figura 3.9. Modelos de Flujos: Tipo Río



Fuente: (Bertelsen, Henrich, Koskela, & Rooke, 2007)

Figura 3.10. Modelo de Flujos: Tipo Fuego



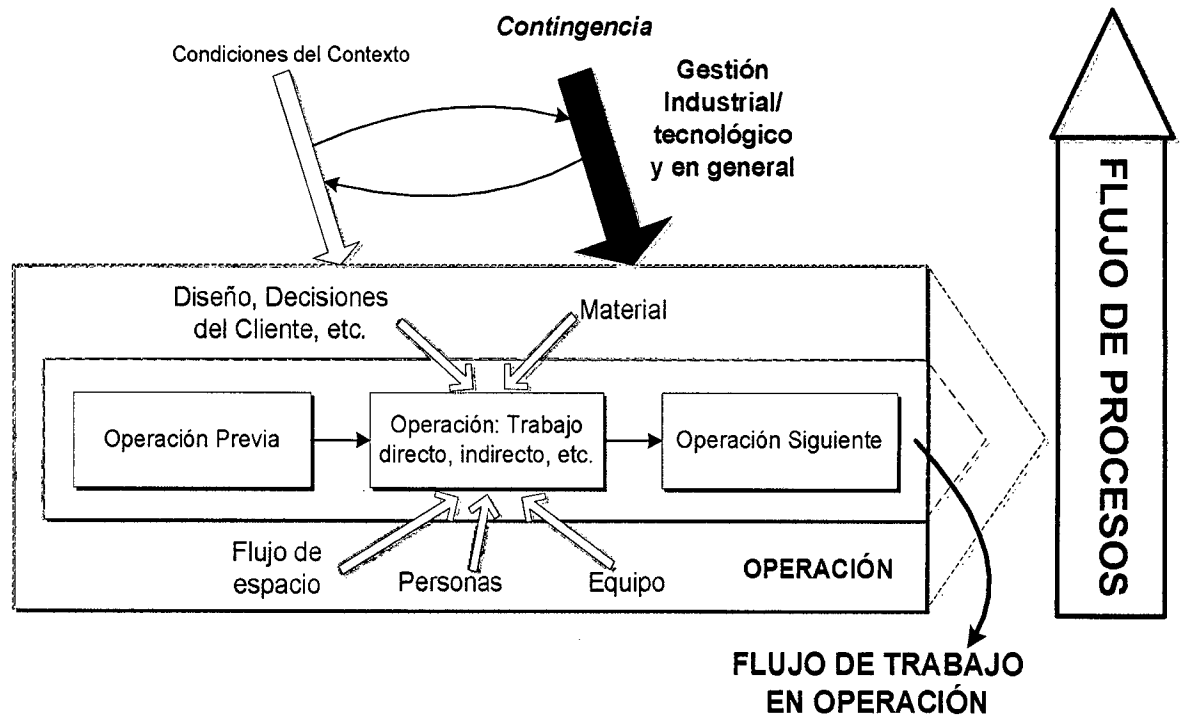
Fuente: (Bertelsen, Henrich, Koskela, & Rooke, 2007)

Ninguno de los modelos mentales presentados explican la complejidad del proceso de construcción pero todos ellos muestran la misma naturaleza de un proceso: Se trata de un fenómeno basado en el punto alimentado por un número de flujos, de los cuales uno - y sólo uno en un momento dado - es el flujo crítico.

3.4.4.4 Modelos de Flujos Propuestos por Investigadores de Lean Construction

En (Kalsaas, 2011) se pretende medir el flujo de trabajo, por lo que modela las 7 precondiciones para que una actividad pueda realizarse de manera óptima, como lo sugiere (Koskela L., Management of production in construction: A theoretical view, 1999), para desarrollar una tarea exitosa, las cuales son: información (diseño de construcción), materiales y componentes, mano de obra, equipos y herramientas, espacio, tareas de conexión, y condiciones externas. Este modelamiento considera como Flujo Crítico al Flujo de Sujetos u Operaciones (Shingo, 1987), ver Figura III-11.

Figura 3.11. Modelo de Flujos según las 7 precondiciones de Koskela.

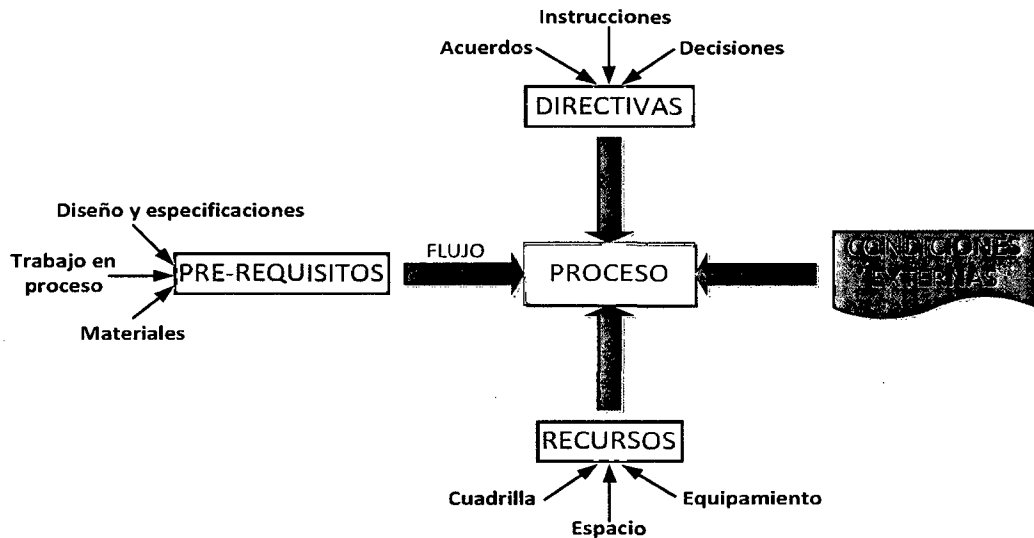


Fuente: Propuesto por (Kalsaas, 2011)

Otro modelo de flujos en el proceso de construcción presentado (Ballard, Tommeleint, Koskela, & Howell, 2002), observo la naturaleza de los requisitos previos para el proceso y encontré tres tipos: Directivas, Trabajo Previo y Recursos.

Las directivas ofrecen orientación según las cuales el output del sistema se ha de producir o evaluar. Ejemplos de ello son las asignaciones, criterios de diseño y especificaciones. *Los pre-requisitos* son soporte sobre el cual el trabajo actual se realiza o se añade. Los ejemplos incluyen materiales, materia prima o trabajo en proceso, información que se introduce en un cálculo o en una decisión, etc. *Los recursos* son, ya sea de trabajo, instrumentos de trabajo, o condiciones en que se ejerce el trabajo. Los recursos pueden soportar la carga y tienen una capacidad finita. En consecuencia, el trabajo, las herramientas, el equipo y el espacio son los recursos.

Figura 3.12. Modelo de 3 Flujos



Fuente: (Ballard, Tommeleint, Koskela, & Howell, 2002)

3.5. DESARROLLO DEL MODELO DE FLUJOS PROPUESTO EN LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. Objetivos del modelo

Considerar como base la gestión de flujos (metafísica⁹ de proceso) sobre la gestión de conversiones (metafísica de cosa u objeto) y sus características de control. Se debe desarrollar un modelo que muestre la naturaleza compleja y dinámica del sistema de construcción. Este modelo debe permitir tener un flujo de producción transparente para el análisis de status, comprensión del flujo, e implementación de mejoras.

3.5.2. Límites del sistema

El sistema de construcción es un sistema abierto. Los componentes que se tomarán en cuenta son los mismos que se plantea en la teoría de producción del TFV – Transformación, Flujo y Generación de Valor - (Koskela, Rooke, Bertelsen, & Henrich, 2007) y las 7 precondiciones para el trabajo exitoso en

⁹ Metafísica, es el estudio de un fenómeno basado en un componente en particular.

construcción planteado en (Koskela L., Management of production in construction: A theoretical view, 1999). Estos modelos han sido explicados al detalle en la sección de los modelos antecedentes en este documento. El principal factor que afecta al sistema es la variabilidad.

Tabla 3.1. Comparación del control en la Gestión de Flujos y Gestión de Conversiones

<i>Dominio de supuestos</i>	<i>Control basado en metafísica de objeto</i>	<i>Control basado en metafísica de procesos</i>
Supuestos de la metafísica básica relacionados a la conceptualización de producción	El total de la tarea y las tareas descompuestas son cajas negras	Externalización de competencia para llevar a cabo tareas Control basado en teorías sustanciales de la configuración
	Las tareas son similares	Diferenciación de control de acuerdo con la naturaleza de la tarea
	Las tareas son independientes	Enfoque holístico, donde las tareas son consideradas en su contexto
Características de la configuración de gestión	Conocimiento centralizado, es decir, persona designada como sujeto de la gestión	Conocimiento distribuido
	Los actos de gestión son discontinuos	Los actos de gestión son continuos
	Cosas y sus abstracciones como objetos de gestión	Procesos, cambio y emerger como objetos de gestión
	Objetivos fijos: Obtener la tarea hecha	El mantenimiento de un ajuste entre los diferentes aspectos y partes de la situación
Contenido de gestión	Gestión-como-planificación	Gestión-como-organización
	Ejecución como comando	Ejecución como conversión
	Control como corrección	Control como aprendizaje

Fuente: (Koskela, Rooke, Bertelsen, & Henrich, 2007)

Los componentes que se tomarán en cuenta en el modelo como flujos, son: Flujo de Objetos (Generación de Valor), Flujo de Sujetos (Mano de Obra y Equipos), Flujo de Información (Diseño y Programación), Flujo de Abastecimiento (Logística), Espacio (LayOut de proyecto y "Cancha Libre"), y Condiciones Externas (Clima y otros factores externos). También podemos considerar otros componentes importantes para el funcionamiento y representación del sistema, como: Variabilidad, Almacén de materiales, Almacén de productos, Oficina Técnica (Centro de Gestión e Información), Diseñador, Cliente, Proveedores.

Tabla 3.2. Componentes del sistema de construcción en análisis

	Teoria TFV	7 Precondiciones
Componentes	*Transformación (Flujo de sujetos - trabajadores y equipos-, también conocido como Operación) *Flujo (Flujo de materiales e información, conocido como logística) *Generación de Valor (Flujo de objetos, también conocido como Proceso)	(1) Información (Diseño) (2) Materiales y componentes (3) Mano de obra (4) Equipos y herramientas (5) Espacio (6) Tareas de conexión (7) Condiciones externas.

3.5.3. Clasificación de componentes del sistema

En esta etapa del desarrollo del modelo conceptual se debe clasificar los componentes del sistema, varios de los cuales pueden tener funciones diferentes en el modelo. Estos componentes se pueden clasificar en siete categorías fundamentalmente diferentes: (1) Variables de estado, representa puntos de acumulación de material en el sistema, (2) Variables externas, afectan el sistema pero no están afectadas por el resto del sistema, (3) Constantes, corresponde a valores numéricos que describen aquellas características del sistema que no cambian en ninguna de las condiciones simuladas por el modelo, (4) Variables auxiliares, se crean para representar cálculos intermedios realizados para determinar el valor de alguna otra variable y representan conceptos que queremos identificar explícitamente en el modelo, también se usan para representar el resultado final de cálculos de interés en el modelo, (5) Transferencia de material, representa el movimiento de material durante un intervalo de tiempo específico. (6) Transferencia de información, representa el uso de información sobre el estado del sistema para controlar el cambio de estado del sistema, y (7) Fuentes y sumideros, fuentes son los puntos de origen del material que entra al sistema y los sumideros representan los puntos de salida de material del sistema.

Los componentes del sistema seleccionados en la etapa anterior son vinculados con las categorías según su funcionalidad, en la tabla siguiente.

Tabla 3.3. Componentes del sistema seleccionados para el modelo

Categoría	Componentes
VARIABLES DE ESTADO	Flujo de Sujetos
VARIABLES EXTERNAS	Constantes externas
CONSTANTES	Proveedores, Cliente, Oficina Técnica, Diseñador
VARIABLES AUXILIARES	Variabilidad, Espacio
TRANSFERENCIA DE MATERIAL	Flujo de Objetos, Flujo de Materiales
TRANSFERENCIA DE INFORMACIÓN	Flujo de Información
FUENTES Y SUMIDEROS	Almacen de materiales, Almacén de productos

3.5.4. Identificación de relaciones entre los componentes del sistema

Esta etapa permitirá relacionar a los componentes para poder entender el funcionamiento del sistema en el modelo. Para ello los componentes se pueden relacionar de dos maneras, por transferencia de material y por transferencia de información.

3.5.4.1 Descripción de relaciones

La principal relación a considerar es la red que forman el Flujo de Objetos con el Flujo de Sujetos, (Shingo, 1987). El flujo de objetos es el proceso desde la materia prima hasta el producto final, pero para ello este producto ha pasado por transformaciones, movimientos, e inspecciones, que han sido realizados por trabajadores y/o máquinas, que es el flujo de sujetos, donde también se realizan actividades para lograr cualquier fenómeno del proceso.

La variabilidad transfiere información y afecta directamente al producto. La variabilidad está relacionada con el flujo de objetos, flujo de sujetos, flujo de abastecimiento, y flujo de información (como diseño).

El espacio, es la distribución (LayOut) de la obra que cambia con el avance de obra, y también es el espacio disponible para que puedan fluir los sujetos y los objetos. Se considera el medio físico en la cual interactúan los flujos, y transfiere información a los mismos.

Las constantes se les ha considerado a los involucrados en el sistema, los cuales se relacionan por transferencia de información donde el punto de confluencia es la Oficina Técnica, la transferencia con las otras constantes es de

doble sentido.

El proveedor se relaciona con el almacén de material a través del flujo de abastecimiento. Este flujo es diferente al flujo de objetos porque son materiales que se reciben fuera de la red de producción creada por el flujo de objetos y de sujetos.

El diseño y el cliente se vinculan con el flujo de objetos, ya que, por este medio es que el diseño intangible se convierte en un producto que cumple los requerimientos del cliente.

El almacén de producto, son los sub-productos o productos que se entregan al cliente interno como consecuencia del flujo de objeto. El almacén de producto se relaciona con el espacio, y oficina técnica por medio de la transferencia de información.

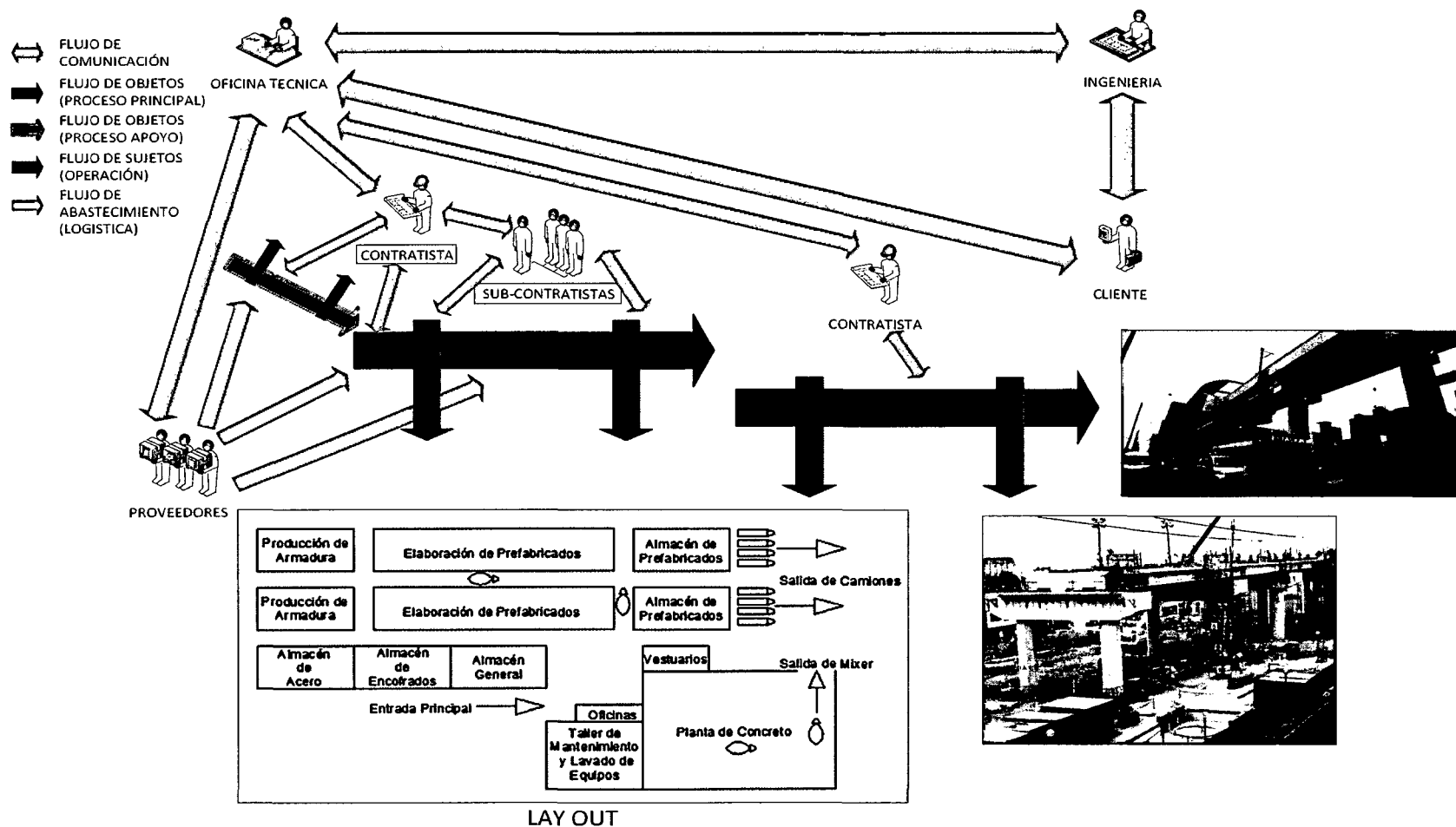
El flujo de información, es un flujo que permite la comunicación entre todos los componentes. Es importante porque genera retroalimentación del sistema. Su flujo es de doble vía.

3.5.5. Representación formal del sistema

La representación formal del sistema es la etapa final del desarrollo del modelo. En el diagrama se representa a los flujos como flechas, y los otros componentes con elementos representativos. Este diagrama cumple un papel importante en el proceso del desarrollo del modelo, ya que provee, a mi criterio, una visión global del problema y facilita la comunicación entre las personas interesadas en un determinado sistema. El diagrama conceptual también facilita un marco para desarrollar un modelo cuantitativo, ya que las ecuaciones se relacionan directamente con partes específicas del modelo conceptual.

El modelo conceptual del sistema de construcción propuesto es el que se muestra en el siguiente diagrama. El flujo crítico o principal es el Flujo de Objetos.

Figura 3.13. Modelo conceptual propuesto del sistema de producción en construcción



3.5.6. Conclusiones y recomendaciones del modelo de flujos propuesto

Analizando el modelo de flujos propuesto se puede obtener algunas conclusiones y recomendaciones para su aplicación y entendimiento.

- El modelo de flujos propuesto da un mejor entendimiento del todo, en el sistema producción logrando identificar cada uno de los flujos y determinando su rol dentro del sistema.
- En el modelo de flujos se puede determinar la complejidad de la construcción por la interrelación de los flujos y participantes del sistema, además de que la variabilidad aumenta si la relación de flujos aumenta. También se puede mostrar el involucramiento de los participantes dentro del sistema de producción la cual es importante para la constructabilidad.
- El flujo de objetos es el FLUJO CRITICO al cual todos los demás flujos alimentan. Es el flujo donde la variabilidad acumulada de los demás flujos se hace tangible.
- Los flujos componentes del modelo deben ser gestionados al mismo nivel por ser todos de igual importancia. Muchos de los sistemas de gestión dan importancia solo al flujo de objetos dejando de lado los demás flujos, por consecuencia, teniendo una gestión ineficiente del flujo de producción.
- El flujo de objetos puede ser desdoblado en flujos de apoyo - también son flujos de objetos - que se realizan en diferente líneas de producción del principal, tales como la producción de elementos de acero pre-armados o prefabricación. Estos flujos de apoyo como la prefabricación pueden dar beneficios al sistema de construcción pero crean un mayor número de interrelaciones aumentando la complejidad del sistema.
- El flujo de objetos y el flujo de apoyo no solo se diferencian por la importancia de la línea de producción sino también porque se realizan en diferentes espacios. Cuando el flujo de objetos entra a un espacio nuevo se debe considerar como otro flujo de objetos que recibe los productos del flujo de objetos anterior.

- El modelo de flujos propuesto es un modelo cualitativo que puede ser llevado a un modelo cuantitativo que permitiría tener control sobre los flujos, los componentes y las interrelaciones. El Mapeo de Flujo de Valor es una herramienta que presenta un diagrama cuantitativo que puede representar al modelo de flujos propuesto.

CAPÍTULO IV. MAPEO DEL FLUJO DE VALOR

Luego de haber desarrollado un modelo conceptual para el sistema de producción en la construcción, se debe contar con una herramienta para realizar su análisis y gestión de la producción. El Mapeo del Flujo de Valor es una herramienta que integra varios de los componentes elegidos y diagramados en el modelo conceptual propuesto. El mismo Flujo de Valor es uno de los componentes del sistema, además que se le considera el flujo crítico dentro del modelo.

La filosofía japonesa extiende sus esfuerzos de mejora continua para reducir los costos de servicio a los clientes usuarios, en la construcción del Perú también, más allá de los límites físicos del lugar de trabajo – fabrica u obra -, por lo que incluye a los proveedores, distribuidores, intermediarios de venta- y sistema de producción que dan soporte a la función de fabricación. Estas mejoras y reducciones de costo se logran mediante la eliminación de los desperdicios asociados con todas las actividades realizadas para entregar un pedido a un cliente interno. El despilfarro se define como “todas las actividades que consumen recursos (agregan costo al producto) pero no contribuyen con el “valor” para el cliente.

4.1. VALOR

Según su etimología (Vargas Saavedra, 2010), *poseer valor* significa ser merecedor, digno, estar vigoroso o fuerte. Entonces, lo que tiene valor –objeto o individuo- es apreciado por el hombre, deseado por sí mismo o por su relación con otra cosa, por la utilidad que presta o por la satisfacción de alguna necesidad. Si bien es un término antiguo, que emergió en el campo de la ética y las relaciones interpersonales, las teorías sobre valor son relativamente recientes. La teoría de valores – o Axiología, campo de la filosofía que estudia los valores - se planteó inicialmente en términos económicos, se extiende a la ética, estética, política, y a otras, como la seguridad cuando se trata de edificaciones.

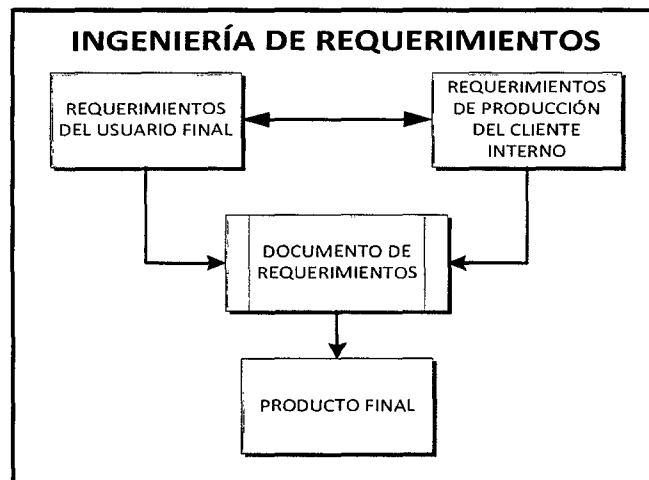
4.1.1. Ingeniería de requerimientos

Desde el punto de vista del usuario o cliente de un producto, tiene las siguientes alternativas: (1) Estar siempre completamente satisfecho con el producto, (2) Que no falle por un tiempo determinado, o (3) Que si falla antes, no importa si no es severo. Estas alternativas dan lugar al diseño y costos diferentes.

La ingeniería de requerimientos presenta un acercamiento metodológico al estudio de las necesidades expresadas por un usuario final, así como la identificación y desarrollo de los procesos tecnológicos que demanda esta atención, en una organización determinada. En los *requerimientos*, las necesidades están expresadas tanto en los servicios como en las restricciones del producto solicitado. En la *ingeniería*, están los requerimientos y restricciones del sistema de producción necesario.

Entonces, se identifica que existen dos tipos de requerimientos, asociados a la misma situación de demanda y atención de un producto. De una parte, los *Requerimientos del Usuario Final*, como expresión de los servicios que debe ofrecer el producto que necesita. De otra parte, los *Requerimientos del Sistema de Producción*, como especificación de las posibilidades que en el momento puede ofrecerse. Ambos conducen a un *Producto Final*, cuyas características y limitaciones, serán contrastadas con los requerimientos iniciales del usuario final, para establecer su validación.

Figura 4.1. Ingeniería de Requerimientos



Fuente: (Vargas Saavedra, 2010)

Además, se debe considerar que los tipos de requerimientos se desenvuelven en un dominio, en términos de espacio y tiempo en los que es aplicable la ingeniería adoptada, y que puede variar en función de nuevas tecnologías o nuevos productos.

Finalmente, la Ingeniería de Requerimientos se compromete con ambos requerimientos, el proceso de validación y las consideraciones del dominio, e igualmente se vincula con los Sistemas normalizados de Gestión de Calidad. Todo ello suele presentarse en un *Documento de Requerimientos*.

4.1.2. Valor en la teoría de Lean Construction

El pensamiento Lean plantea que los requerimientos del cliente están relacionados con los beneficios potenciales; esto es, con el valor esperado. Así, la gestión correspondiente a esta relación implica conocer y entender tales beneficios, a través de: (1) Identificar correctamente las necesidades del cliente, (2) optimizar el diseño para conseguir el mejor valor para el usuario, (3) proporcionar un producto final en armonía con el diseño óptimo, y (4) evaluar el proceso y el producto para mejoras futuras. La mayor parte de estas tareas pueden ser concebidas en términos de la gestión del conocimiento. Por ejemplo, el diseño es un trabajo de conocimiento, basado a su vez en conocer adecuadamente los requerimientos del usuario.

La gestión del conocimiento Lean demanda (Rooke, Sapountzis, Koskela, Codinhoto, & Kagioglou, 2010) conseguir la correcta información, en la forma correcta, para la gente apropiada, en el tiempo justo en cada proceso. Conseguir información para la gente apropiada en el tiempo preciso es esencial para entender el valor.

Se cita en (Pasqualini & Zawislak, 2005): sin comprender al cliente, el concepto de valor queda indefinido, y sin un concepto tangible de valor, el desperdicio es aún más intangible. Desde la perspectiva de la construcción, el concepto de valor ha sido relacionado al de costos, funcionalidad, o calidad, entre otros. En el pensamiento Lean, la generación del valor ha sido asociada principalmente con el desperdicio, se presume que se genera valor para el cliente interno mientras se minimizan los desperdicios.

A. Principales características del valor

Se reportan las siguientes características al concepto de valor, citado en (Vargas Saavedra, 2010): Objetividad, Subjetividad, Relatividad, Según el contexto, y Dinamismo.

Objetividad. El valor ha sido ligado a atributos o aspectos medibles de productos físicos. Por ello en el sector construcción es usual relacionar lo que las edificaciones representan con lo que la gente quiere, sin tomar en cuenta sus verdaderos requerimientos.

Subjetividad. Es propia de los aspectos complejos a los que contribuyen los diferentes puntos de vista de los diversos participantes en un proyecto de construcción. De acuerdo a esta característica, el valor difiere de un grupo a otro, por ejemplo, la perspectiva de valor del diseñador y del constructor son diferentes. En consecuencia, la teoría de gestión de valor ha conducido a privilegiar la perspectiva del cliente.

Relatividad. Según esta característica, el concepto de valor es relativo; esto es, se trata de un concepto comparativo. Los bienes se comparan con otros bienes (no habrían departamentos bien distribuidos de no existir departamentos mal distribuidos).

Según el contexto. El concepto de valor variaría según los diferentes contextos en que es medido o percibido. Si se necesita armar una losa aligerada, el tipo de ladrillo que agregue mayor valor, en este contexto, será el ladrillo liviano. Pero si se necesita para muro de carga, un ladrillo más compacto tendrá más valor. En estas características también se puede considerar que una edificación impacta a la sociedad en el sentido de influenciar en el valor de las edificaciones para futuros proyectos.

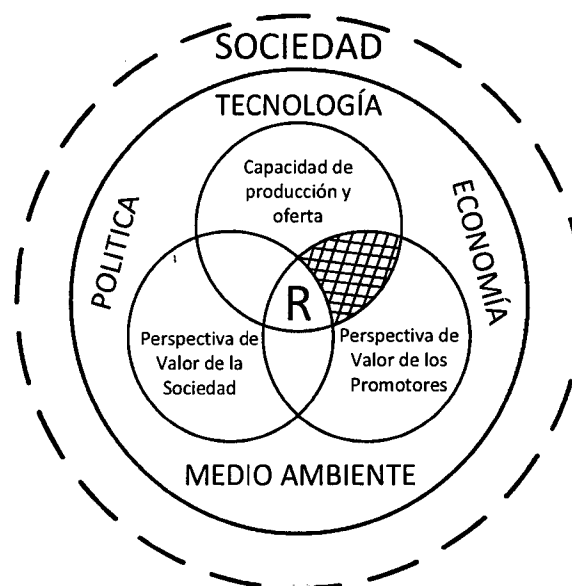
Dinamismo. Con esta característica, el concepto de valor varía a través del tiempo, y debe revisarse cuando menos desde dos etapas: la del proceso de construcción y la de ocupación.

B. La perspectiva de Lean Construction

El valor en Lean Construction ha sido influenciado por Lean Manufacturing. Koskela en su teoría de producción TFV distingue tres aspectos: Transformación, Flujo y Generación de Valor. Se incluye cinco principios, (Salvatierra-Garrido, Pasquire, & Thorpe, 2010): (1) Captura de los requerimientos, (2) Comprensión de los requerimientos en todos sus roles para el cliente, (3) Capacidad del sistema de producción para producir los productos requeridos, (4) Requerimientos del cliente interno están disponibles en todas las fases de producción, y (5) Medición del valor.

Hasta ahora, el concepto de valor se ha relacionado solo con la satisfacción de los requerimientos del cliente interno. Pero debido a que la construcción es compleja y está estrechamente relacionada con la sociedad en general el concepto de valor de debe extender a un marco global. Las construcciones constituyen evidencias físicas de las decisiones humanas que muestran como los recursos están distribuidos para satisfacer las necesidades humanas. Por ejemplo, el valor de la vivienda va más allá de ser un albergue, pues influye en la salud, seguridad, empleo, e integración con la sociedad. Por ello el concepto de valor debe ser considerado en el contexto global, buscando satisfacer a la sociedad como un todo.

Figura 4.2. El Valor en un Contexto Global



Fuente: Traducido de (Salvatierra-Garrido, Pasquire, & Thorpe, 2010)

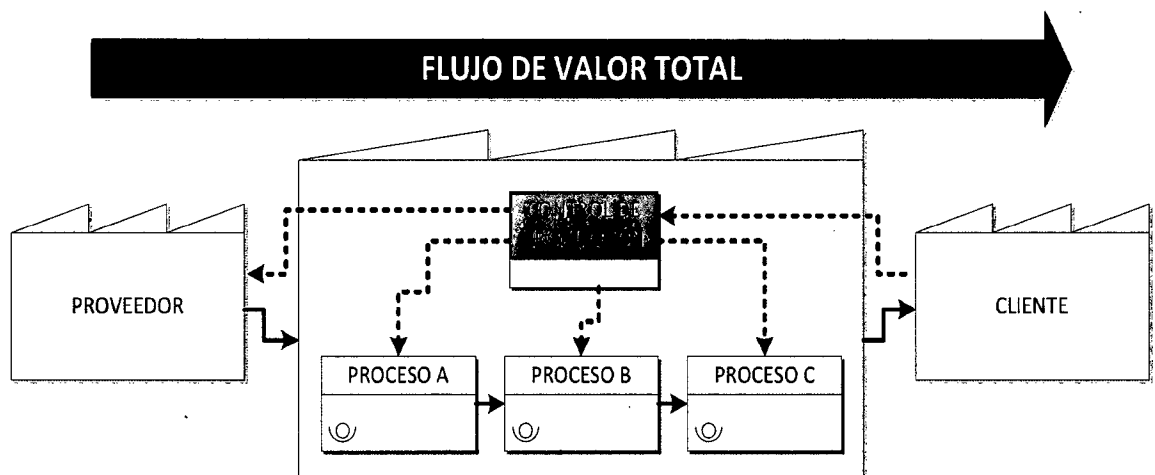
En la Figura 4.2 se muestra el valor creado y ofertado en la producción donde predomina la perspectiva económica de los promotores. La propuesta de los autores (Salvatierra-Garrido, Pasquire, & Thorpe, 2010) es que el concepto de valor en edificaciones y otra infraestructura debe moverse a la parte señalada con R, en donde todos los actores contribuyen a la generación de valor. De esta manera se influyen los aspectos tecnológicos, políticos, económicos, y medio ambientales, considerados componentes sociales. La naturaleza dinámica del valor se representa en el contorno a trazos de la misma figura.

4.2. FLUJO DE VALOR

El valor traduce la idea de producir solo lo que el cliente percibe como “valor”. Entonces, (Pasqualini & Zawislak, 2005) es importante poner atención en cada acción necesaria para elaborar el producto, desde el momento del pedido hasta su entrega al cliente, cuestionando cada tarea respecto a si es necesario o no, esto es, identificar el flujo de valor.

El flujo de valor (Cabrera Calva, 2011) son todos los pasos requeridas para llevar un producto o servicio desde su estado de materia prima hasta el cliente. El flujo de valor muestra la secuencia y el movimiento de lo que el cliente interno valora. Incluye los materiales, información y procesos que contribuyen a obtener los beneficios del cliente interno (constructora) y, a la vez, lo que al usuario le interesa y compra.

Figura 4.3. Representación del Flujo de Valor

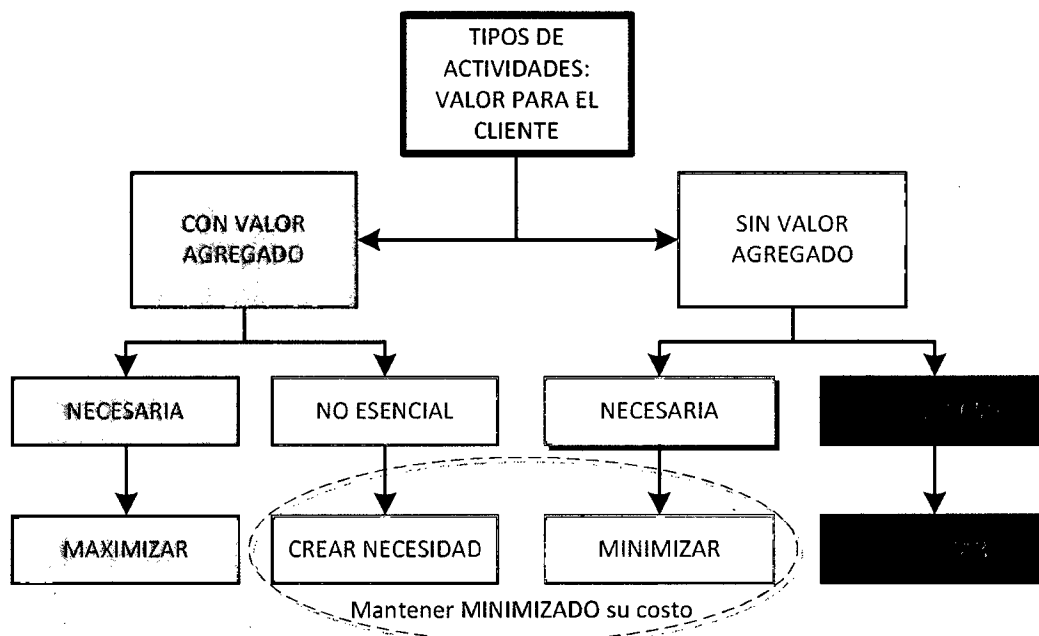


Se cita en (Khaswala & Irani, 2011), Jim Womack y Dan Jones¹ definen al flujo de valor como “El conjunto de todas las acciones específicas que se requieren para llevar un producto específico a través de las tres tareas críticas de gestión de cualquier negocio: resolución de problemas, gestión de la información y la transformación física”.

4.2.1. Tipos de actividades en un flujo de valor

En el flujo de valor se distinguen dos tipos de actividades, las que agregan valor y las que no agregan valor. Las actividades que agregan valor son aquellas que el cliente está dispuesto a pagar, son las que está esperando para satisfacer su requerimiento y resolver su necesidad. Hay muchas otras actividades que la empresa requiere y son necesarias para su operación interna, pero que no agregan valor desde el punto de vista del cliente. Estas actividades deben reducirse al máximo sin afectar las políticas internas de la empresa o revisar estas últimas para mejorarlas y poder ser más competitivos. Además, existen otras actividades que no agregan valor alguno ni al cliente ni son esenciales a la empresa y son un verdadero desperdicio de recursos, estas se deben eliminar.

Figura 4.4. Tipos de actividades en un Flujo de Valor



Fuente: (Cabrera Calva, 2011)

¹ Jim Womack y Dan Jones, son los jefes de la misión del MIT que mostro al mundo el Sistema de Producción Toyota con el nombre de Lean Manufacturing.

4.3. MAPEO DE FLUJO DE VALOR (VSM)

El proceso de asignación de los flujos de materiales y de información de todos los componentes y subconjuntos en un flujo de valor que incluye la fabricación, proveedores, y la entrega al cliente es conocido como Mapeo de Flujo de Valor (VSM). El VSM es considerado uno de los caminos para comenzar con Lean porque permite una vista sistemática del proceso de producción (del flujo de valor), identificación de problemas reales y pérdidas y proposiciones de mejora. Usando VSM, muchas empresas han cambiado sus esquemas existentes de instalaciones, manejo de materiales, control de inventario, compras y sistemas de programación para reducir los tiempos de producción total de las partes y los niveles actuales de inventarios work-in-process² (WIP).

A diferencia de las herramientas tradicionales de mapeo de procesos, VSM es una herramienta que mapea no solo los flujos de material sino también los flujos de información que señalan y controlan los flujos de materiales. El VSM es una técnica gráfica que mediante iconos estandarizados integra en una misma figura los flujos de logística, información, y flujo de procesos. Es útil para analizar y entender un proceso e identificar sus desperdicios, permitiendo detectar fuentes de ventaja competitiva, además, ayuda a establecer un lenguaje común entre todos los usuarios del proceso y comunica ideas de mejora enfocando al uso de un plan priorizando los esfuerzos de mejoramiento.

4.4. DIFERENCIA ENTRE MAPEO DE FLUJO DE VALOR Y ANALISIS DE CADENA DE VALOR

Michael Porter fue el iniciador de la idea de “Cadena de Valor” para establecer como base fundamental el concepto de lo que es realmente importante y tiene valor para el cliente final y cómo mejorar la eficiencia del proceso en todo el sistema. El Análisis de la Cadena de Valor es una herramienta de optimización, tiene como objetivo mejorar el producto agregándole más valor, reduciendo y/o eliminando actividades que no dan valor agregado desde la perspectiva del cliente. Ayuda a visualizar fuentes de desperdicio y cuellos de botella o restricciones del proceso.

² Work-In-Process, se traduce trabajo en proceso, es un inventario dentro del proceso producido por las esperas del sub-producto para seguir siendo procesado.

Los estudiosos de la Filosofía Lean hacen la diferenciación de los dos términos y establecen las diferencias mostradas a continuación en la tabla.

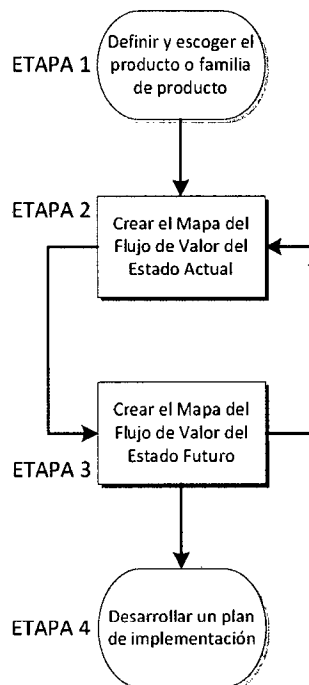
Tabla 4.1. Diferencias entre Mapeo de Cadena de Valor y Mapeo de Flujo de Valor

DIFERENCIAS	
MAPEO DE CADENA DE VALOR	MAPEO DE FLUJO DE VALOR
Considera toda la cadena de valor del SISTEMA	Se concentra en un solo PROCESO
Identifica actividades que NO agregan valor ENTRE procesos	Identifica actividades que NO agregan valor DENTRO del proceso
Las mejoras en el sistema son altamente significativas pero difíciles de lograr	Las mejoras en un proceso van de pequeñas a grandes pero fáciles de implementar
Permite una planificación de estrategia a largo plazo	Permite una planificación de estrategia de corto plazo

Para esta investigación se usará proceso y sistema indistintamente y VSM para referir tanto al mapeo de valor del proceso como al del sistema como extrapolación del procedimiento.

4.5. ETAPAS DE APLICACIÓN DEL VSM

ESQUEMA DE LAS ETAPAS DEL VSM



Fuente: (Pasqualini & Zawislak, 2005)

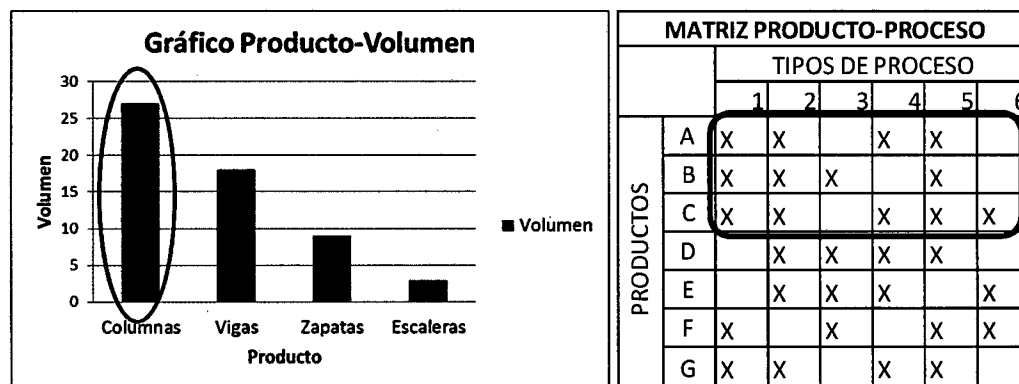
Al menos cuatro etapas se deben realizar para hacer frente a los residuos aplicando VSM.

4.5.1. Etapa 1: Selección de la familia de productos

Para la aplicación del VSM se recomienda que se forme un grupo de personas que conozcan el proceso que se va a mapear. Estas personas deben tener una actitud positiva al cambio y mente abierta. Elegir un líder para que tenga enfocado al equipo en lograr resultados. Es importante que todos ellos comprendan las metas del negocio y los objetivos del cliente.

La aplicación del VSM es gradual hacia todas las actividades de la empresa, pero se empieza en el área de producción, no debería empezar mapeando todas las fábricas ni todos los productos que vende la empresa, sino se debe seleccionar una fábrica y una familia de producto - basado en productos que pasan por procesos similares de producción y equipamiento - de esa planta. Algunas herramientas para identificar la familia de productos son los gráficos de producto-volumen y la matriz de producto-proceso, tomando en cuenta la regla de Pareto para tomar la decisión.

Figura 4.5. Herramientas para la selección de la familia



Fuente: (Deming, 1989)

A. Etapa 1: Aplicado a construcción

Teniendo en cuenta que el VSM debe iniciarse dentro de una planta industrial, en el proceso de fabricación, y que en construcción el proceso de fabricación ocurre en el sitio del proyecto – denominado en construcción como *obra-*, se debe seleccionar un proyecto de construcción para la aplicación de VSM.

Además, el mapeo no debería ser iniciado en todos los productos de fabricados de la empresa, sino una familia de productos debería ser seleccionada. En el caso de construcción, sin embargo, ya que cada gran etapa ocurre progresivamente durante un largo periodo de tiempo y tiene procesos diferentes produciendo diferentes productos (que, en el final, resulta en el producto “Edificio”), cada uno podría ser considerado una clase de “sub-fábrica” o “sub-construcción” dentro de la planta industrial u obra. Así, en lugar de seleccionar una familia de productos para iniciar el VSM en construcción, debería seleccionar una etapa del proceso productivo de construcción, por ejemplo, la etapa de albañilería, elementos verticales de concreto armado, entre otros.

4.5.2. Etapa 2: Creación del VSM Actual

Después de seleccionar la familia de productos, se puede empezar a bosquejar el mapa del estado actual, que, como el nombre sugiere, es un dibujo de cómo el proceso productivo está sucediendo actualmente. Este dibujo debe reproducir exactamente el flujo de valor actual, la información debe ser obtenida directamente del taller, siguiendo el rastro de producción desde el cliente hasta el proveedor. Considerando que en una fabricación es generalmente posible observar la producción desde el inicio (suministro de materiales) hasta el final (producto listo para ser entregado a los clientes) en el mismo día, la recopilación de datos puede ser hecha en un día. Al final se puede elaborar una lista de comentarios para nuevas mejoras.

Los datos que se recogerán para el Mapa de Estado Actual están relacionada con el flujo de materiales e información acerca de la demanda del cliente (por ejemplo: cantidad de productos ordenados durante un cierto periodo; cambio de trabajo; si el cliente es de otra empresa; necesidades de embalaje; frecuencia y modos de entrega), actividades productivas (por ejemplo: procesos de fabricación básicas e información clave de cada proceso; número de trabajadores; periodo de trabajo y paradas de descanso; modo y frecuencia de la programación de fabricación), y suministro de materiales (por ejemplo: principal materia prima y proveedor; cantidad comprada en cierto periodo; modo y frecuencia de entrega de materias primas).

Los datos relativos a la demanda del cliente son muy importantes porque, en Lean, los clientes son quienes activan la producción, y en este sentido, el ritmo

de producción debe ser sincronizado con el ritmo de ventas. Esta relación (ritmo de producción/ritmo de ventas), llamada *Takt Time*, se calcula dividiendo el tiempo de trabajo efectivo disponible por turno entre la cantidad (de un cierto producto) ordenada por los cliente por turno.

Figura 4.6. Representación del Takt Time



*El Cliente requiere que se realice un producto cada 4.2 min –Tacto!-, esto implica que el Tiempo de Ciclo de los procesos sea igual o menor que el Takt Time.

El tiempo es un elemento clave en VSM, porque ayuda a transformar todo el flujo de valor en un solo concepto temporal (segundo, minuto, horas, días, semana, etc.), permitiendo evaluar el potencial de respuesta a las demandas de los clientes. Eso es en este sentido que la información clave de cada proceso de producción debe ser recopilado, así obtener el tiempo de ciclo (T/C – tiempo que toma entre un producto y el siguiente para salir del mismo proceso o, en otras palabras, el ritmo de producción), tiempo de reemplazo (T/R – tiempo que toma cambiar la producción de un producto a otro), y el tiempo de uso efectivo de la operación de la máquina.

A. Símbolos del VSM

El VSM cuenta con símbolos estandarizados y con los que se pueden describir de forma clara los diferentes sistemas de producción como, sistema FIFO, sistema PULL, sistema PUSH, sistema Kanban, entre otros. En la siguiente tabla se describen los iconos del VSM.

B. Contenido de la Caja de Información

Un elemento importante para el mapa de flujo de valor es la caja de información, ya que ahí se almacena los datos cuantitativos que permiten evaluar al flujo de valor. Los datos que se colocan en las cajas de información deben ser particularmente elegidos para cada caso, proyecto o industria. Es por ello que para monitorear y controlar el sistema de producción de manera eficiente se presenta la siguiente tabla con los indicadores que se usaran en las cajas de información.

Tabla 4.3. Indicadores en la caja de información para procesos de construcción

CAJA DE DATOS	ITEM	DESCRIPCIÓN	FUNCIÓN	UND
CLIENTE	CANTIDAD TOTAL	La suma total de todos los productos ordenado por todos los clientes	TOTAL DE PRODUCTOS/UNIDAD DE TIEMPO	UND/MES
	TAKT	Tiempo disponible para producir una unidad de la demanda de los clientes, o el ratio en el que el producto debe ser producido para satisfacer las necesidades del cliente	TIEMPO DISPONIBLE/TOTAL DE PRODUCTOS : TOTAL DE PRODUCTOS/UNIDAD DE TIEMPO	HRS/UND : UN/DIA
	TIEMPO DE ENTREGA	El tiempo maximo que el cliente permite desde la recepción de la orden hasta la recepción de los bienes	UND DE TIEMPO	DIAS
PROCESO	TIEMPO DE CICLO (CAPACIDAD EFECTIVA)	Es la capacidad de un proceso para producir en un determinado tiempo	NUMERO DE PRODUCTOS/TIEMPO DE PRODUCCIÓN	UND/DIAS
	RATIO TAKT	Es el inverso del tiempo TAKT determinado por la demanda	NUMERO DE PRODUCTOS/TIEMPO DISPONIBLE	UND/DIAS
	UTILIZACIÓN	El % del tiempo disponible necesario para satisfacer la demanda del cliente.	TIEMPO DE CICLO/TAKT	%
	FIRST TIME YIELD	Porcentaje de productos que solo necesitaron pasar una vez por un proceso. Eficiencia en el procesamiento del producto.	# DE PARTES QUE NO NECESITARON SER REHECHOS/#DE PARTES QUE ENTRARON AL PROCESO	%
	UPTIME (OEE)	Eficiencia General de los Equipos	DISPONIBILIDAD*EFICIENCIA*CALIDAD	%
	DISPONIBILIDAD	El % del tiempo disponible para producir	TIEMPO DE OPERACIÓN/TIEMPO PLANIFICADO DE PRODUCCIÓN	%
	TAMAÑO DE LOTE	La cantidad de piezas producidas	NUMERO DE PIEZAS PARA CUMPLIR UN LOTE	UNIDAD
	TIEMPO DE CAMBIO	Tiempo necesario para cambiar la configuración de la maquina	UND DE TIEMPO	MIN
	TIEMPO DISPONIBLE	Tiempo neto disponible para producir	TIEMPO TOTAL - TIEMPO DE DESCANSO - CAMBIO DE TURNO	HORAS
	PROGRAMA DE TURNOS	Programación de la producción en turnos	#TURNOS-DIAX#HORA-TURNOX#DIAS-SEMANA	# DE TURNOS
INVENTARIO	INVENTARIO PROMEDIO	Numero de productos almacenados del proceso previo	CANTIDAD DE PRODUCTOS	UND
	DIAS DE SUMINISTRO	Numero de días que pasa un producto en el inventario	CANTIDAD DE PRODUCTOS EN INVENTARIO/CAPACIDAD EFECTIVA PROCESO SIGUIENTE	DIAS
TRANSPORTE	FRECUENCIA DE ENTREGA	Con que frecuencia el envío se recibe o se realiza	#VECES/UND DE TIEMPO	UND/SEMANA
	TAMAÑO DEL LOTE	Numero de productos que se envian	CANTIDAD DE PRODUCTOS	UND
	TIEMPO DE TRANSPORTE	Tiempo que se demora el viaje	TIEMPO DE VIAJE	DIAS
PROVEEDOR	TIEMPO DE ENTREGA DE ORDEN	Tiempo desde realizar el pedido hasta el envío del producto, no incluye tiempo de transporte	TIEMPO DE PRODUCCION	DIAS
	TIPOS DE INSUMOS	Los tipos de materiales o partes que envia el proveedor	UND DE PRODUCTO	UND

C. Aplicado a construcción: Etapa 2

Teniendo en cuenta que el Mapa de Estado Actual debería reproducir exactamente el flujo de valor actual, es necesario obtener información directamente de la zona de trabajo, y que el tiempo de producción en construcción es mucho más largo que en manufactura, es prácticamente imposible recopilar datos para el Mapa del Estado Actual de construcción en un solo día. En consecuencia, para que el Mapa del Estado Actual de construcción reproduzca con mayor exactitud como el proceso de columna de concreto armado se elaboró, es necesario seguir todo el proceso, desde el primer sector hasta el último, para obtener, al final del proceso, un promedio global de esta etapa para cada sector del edificio. Esta última recomendación sería lo recomendable pero como el tiempo de construcción es corto se podría comenzar con los datos del primer sector y luego ir retroalimentando al modelo para los próximos sectores, o usar simulación visual de la construcción, como la tecnología BIM.

Por otra parte, analizando los datos recopilados para el VSM en manufactura, se identificó la necesidad de hacer algunas adaptaciones en la realidad de la construcción. En cuanto a la demanda de los clientes, se percibió que mientras en la manufactura el cliente hace varias órdenes de un cierto producto en un periodo de tiempo, en construcción él hace un solo pedido, que es en la compra de un departamento – para el caso de edificios de vivienda u oficinas - o de un edificio particular. De aquí en adelante, la relación entre clientes y constructor está basado, normalmente, sobre un contrato, que establece la forma de pago de la propiedad, así también, establece el período de construcción. Este contrato, a su vez, genera una programación general de la construcción, programando el periodo de producción de cada gran etapa con el fin de cumplir el plazo contratado. En este sentido, las diferentes etapas de la construcción pueden ser interpretadas como órdenes secuenciales de los clientes internos. Esta diferencia implica una nueva forma de calcular el Takt Time para construcción, obteniendo por medio de la división del tiempo de trabajo disponible efectivo (programación) entre la cantidad de metros cuadrados para ser ejecutado para esta misma etapa. Como resultado, Takt de la construcción indicaría el tiempo en que un metro cuadrado debería ser ejecutado, o el ritmo de producción basado en la demanda del cliente, estipulado en el contrato. Por

otra parte, fue verificado que, cuando los procesos que son parte de cada etapa poseen diferentes áreas (en metros cuadrados) para ser ejecutadas, el Takt Time debe ser calculado por proceso o por elemento.

Al referirse a la actividad productiva, algunas adaptaciones considerando información clave de cada proceso de producción se encontró necesaria. Primero, fue necesario adaptar el tiempo de ciclo (T/C) para construcción, que en manufactura es determinado mediante el tiempo transcurrido entre un producto y el siguiente en dejar el mismo proceso. En el proceso de una columna de concreto armado, sus fases – armadura, encofrado y colocación de concreto- se consideran como un producto final, y el T/C de construcción verificaría el tiempo promedio que toma finalizar cada fase. Se debería enfatizar que la elección de las fases como un producto de análisis es debido al hecho que el avance es calculado considerando fases terminadas por elementos. Debido a que se usa maquinaria para algunos elementos, es necesario recopilar datos del tiempo de reemplazo (T/R) – o indicadores como MTTR³, MTTF⁴, y MTBF⁵, que nos permite un mejor análisis del estado y comportamiento de la maquinaria - y tiempo usado en operación de máquina. Sin embargo, otra información clave en manufactura fue identificada. Entre el final de un proceso y el inicio de otro, existe días de “pausa”, considerado como un tipo de suministro de los elementos finalizados (desde un proceso hasta el siguiente) o WIP (trabajo en proceso).

Con respecto al suministro de materia prima, se notó que los datos que fueron recopilados son básicamente los mismos para el VSM en manufactura, una vez que la relación entre proveedores y compañía en la construcción es prácticamente el mismo como en el de manufactura (la empresa ordena la materia prima, y el proveedor debería entregarlo en el tiempo requerido).

³ MTTR (Mean Time To Repeat), permite conocer el tiempo promedio que se requiere desde que el sistema falla hasta su completa recuperación.

⁴ MTTF (Mean Time To Failure), indica el tiempo promedio en el que se tiene alta probabilidad de que el sistema falle.

⁵ MTBF (Mean Time Between Failures), indica el tiempo promedio en que se tiene alta probabilidad de otra falla después de que ocurrió una.

D. Pasos prácticos para elaborar el Mapa de Flujo de Valor - VSM de Estado Actual

- Paso 1. Dibujar los iconos del cliente, proveedores y control de producción.
- Paso 2. Ingresar los requerimientos del cliente mensual o diario, en un recuadro informativo.
- Paso 3. Calcular la producción diaria y camiones necesarios, en el mismo recuadro del paso 2.
- Paso 4. Dibujar el icono de envíos al cliente y camión con la frecuencia de entrega.
- Paso 5. Dibujar el icono de envíos del proveedor y camión con frecuencia de entrega.
- Paso 6. Agregar las cajas de procesos en secuencia, de izquierda a derecha.
- Paso 7. Añadir las cajas de información debajo de los procesos.
- Paso 8. Agregar las flechas de comunicación y anotar los métodos y frecuencias.
- Paso 9. Obtener atributos (tiempo de ciclo, lotes, etc.) de los procesos y añadirlos en las cajas de información.
- Paso 10. Agregar el símbolo de operador y su cantidad.
- Paso 11. Agregar ubicación de inventarios y niveles diarios de demanda debajo del gráfico.
- Paso 12. Agregar iconos Push, Pull, y FIFO, entre cajas de procesos.
- Paso 13. Agregar otra información necesaria.
- Paso 14. Agregar horas de trabajo, en un recuadro informativo.
- Paso 15. Agregar Tiempos de Ciclo y Lead Time en la línea de tiempo para cada proceso y espera, en un recuadro informativo.
- Paso 16. Calcular el Tiempo de Ciclo Total y Lead Time Total, en un recuadro informativo.

4.5.3. Etapa 3: Creación del Mapa del Flujo de Valor - VSM Futuro

Para la creación del VSM del Estado Futuro es necesario primero hacer un análisis del VSM Actual para luego, para luego tener un VSM optimizado.

A. Análisis del VSM Actual

El Mapa del Estado Actual es útil simplemente para mostrar el estado actual de la producción, como se está realizando. Su análisis, basado en las ideas de Lean, es que realmente permite identificar pérdidas y proponer acciones de mejora para la construcción de un nuevo flujo, más regular, sin retorno, que genere el más corto tiempo de entrega, mayor calidad, y menor costo.

Se puede considerar las siguientes propuestas que pueden guiar a conseguir un nuevo flujo.

La primera propuesta es producir de acuerdo al Takt Time. La necesidad de producir de acuerdo al Takt Time se relaciona con la reducción de pérdidas. Cuando el ritmo de producción está debajo del Takt Time, significa que la empresa está produciendo más de lo que los clientes están comprando, o, en otras palabras, hay una sobre-producción. Cuando el ritmo de producción está por debajo del Takt Time, significa que el proceso productivo no puede fácilmente responder a los pedidos de los clientes, y, por esa razón, deben anticiparse y producir antes de que los clientes hagan efectiva la compra.

La segunda propuesta consiste en definir si la empresa debería producir por expedición directa al mercado o para un supermercado de productos terminados. La tercera propuesta tiene como objetivo desarrollar un flujo continuo en todo el flujo de valor. Donde el flujo continuo no es posible, un supermercado debería ser usado para controlar la producción, como cuarta propuesta. Con esto es posible establecer una quinta propuesta y enviar una programación del cliente para un solo proceso de producción. Este punto es llamado sistema "Pull", ya que controla los ritmos de producción de todos los procesos anteriores. Finalmente, la sexta propuesta consiste en una distribución uniforme de la producción de elementos diferentes en un sistema "Pull", nivelando el mix de producto a lo largo de la fabricación.

B. Mapa del Estado Futuro

El Mapa de Estado Futuro es el último paso del Mapa del Flujo de Valor - VSM. Su dibujo es un resultado del análisis del Mapa del Estado Actual guiado por las propuestas citados anteriormente, apuntando a introducir las ideas Lean en la fabricación.

Se debe enfatizar que el Mapa del Estado Futuro es un dibujo de un *Estado Ideal* de fabricación, la mejor forma en que podría operar a partir del análisis del Estado Actual. Las mejores propuestas tienen como objetivo, en ese sentido, mostrar a la empresa donde están las pérdidas y cómo pueden ser atacadas y reducidas, y si es posible, eliminarlas. Obviamente la implementación de las mejoras propuestas tal vez no ocurran íntegramente en el primer momento, pero comenzar por los puntos más problemáticos hasta alcanzar el "ideal" mostrado por el mapa del estado futuro.

Se puede mencionar algunas preguntas claves que permitirán elaborar un mapa del estado futuro.

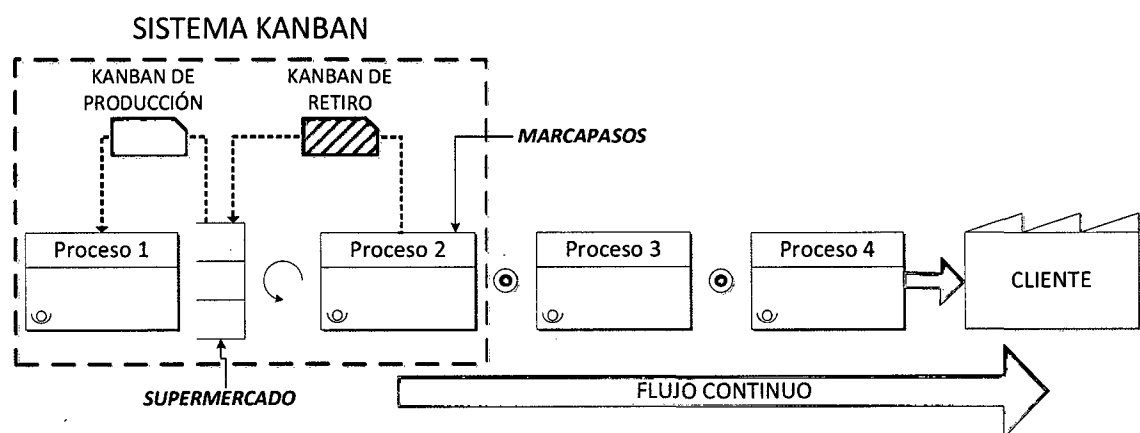
- 1) ¿Cuál es el tiempo takt, basado en el tiempo de trabajo disponible de los procesos más cercanos al cliente?
- 2) ¿Llevará a cabo un supermercado de productos terminados desde el cual el cliente los jalará o serán embarcados directamente al cliente?
- 3) ¿Dónde se puede usar un procesamiento de flujo continuo?
- 4) ¿Dónde se necesitará usar un sistema jalar del supermercado a fin de controlar la producción de los procesos anteriores, corriente arriba que parten desde el proveedor?
- 5) ¿En qué punto específico de la cadena de producción, (el proceso de marcapaso – el que establece el ritmo del tiempo takt -) se programará la producción?
- 6) ¿Cómo se nivelará la mezcla de producción en el proceso de marcapaso?
- 7) ¿Qué incremento de trabajo se liberará y se llevará sistemáticamente al proceso marcapaso?
- 8) ¿Qué mejoras al proceso serían necesarias para que el flujo de valor sea el diseño deseado para el estado futuro?

- 9) Se pueden agregar todas las preguntas que permitan una mejor visualización del VSM del Estado Futuro para cada caso en particular, las anteriores son ejemplificativas y no limitativas.

C. Sistema Kanban

El sistema kanban o sistema de tarjetas es propio del sistema de producción “Justo A Tiempo” o “Pull”. Como se plantea en las propuestas, cuando no se puede conseguir un flujo continuo, la herramienta principal es usar Supermercados, herramienta propia del sistema Kanban. Los Supermercados son la mejor solución para los casos en los cuales el cliente requiere productos terminados con demandas que suben y caen impredeciblemente. También son adecuados cuando los tiempos de entrega de los competidores son menores que los que se pueden ofrecer con el proceso propio. La mejor ubicación del Supermercado es lo más adyacente al embarque. Los Supermercados son usados cuando el flujo continuo es interrumpido. Es necesario usar Supermercados con sistemas “Pull” donde es necesario llevar a cabo conversiones debido a muy rápidos o muy lentos tiempos de ciclo y múltiples familias de productos, también se usan en cadenas de suministro largas. Sin embargo, hay un costo adicional con un Supermercado.

Figura 4.8. Aplicación del Sistema Kanban en VSM



Fuente: Elaboración propia

Usando un sistema Pull por medio de supermercado se necesitará programar solamente un punto en el flujo de valor. A este punto se le llama *Marcapasos de Proceso* porque es la manera que se controla la producción en este punto y

marcará la pauta para todo el flujo de valor flujo-arriba. Cualquier proceso después del Marcapasos debe ser Flujo Continuo. Es decir, el proceso Marcapaso es frecuentemente el proceso de flujo continuo más cercano al cliente en el flujo de valor.

El Marcapasos de Procesos es usualmente la última estación del flujo de valor. En el diagrama de Estado Futuro, el Marcapasos de Proceso es aquel que es controlado por los requerimientos externos del cliente.

D. Aplicado a Construcción: Etapa 3

Para el análisis del Mapa del Estado Actual, las propuestas del análisis del VSM en manufactura pueden ser usadas con el objetivo de identificar pérdidas y proponer mejoras. Las adaptaciones consistieron precisamente de la interpretación de las propuestas de acuerdo a las características de construcción.

Para esta investigación, el análisis del Mapa de Flujo de Valor Actual será realizado por medio del SISTEMA DE MEJORA CONTINUA (SHINGO), detallado en el siguiente capítulo.

De la misma manera que ocurre en manufactura, el Mapa del Estado Futuro en construcción debería ser elaborado partiendo del dibujo del Mapa del Estado Actual y desde el análisis basado en las ideas de Lean Construction, traducido en las propuestas expuestas arriba.

4.5.4. Etapa 4: Plan de implementación

Después del VSM empieza la segunda fase de la implementación Lean, que involucra el cambio físico, transformando la forma de acción de la empresa. En esta fase, las mejores propuestas del Mapa del Estado Futuro debería ser puestas en práctica (hacer este dibujo "real"), creando el flujo continuo y con sistema PULL en todo el proceso productivo, por medio del desarrollo de un flujo suave y una mejor coordinación. Por último, la tercera fase consiste en el objetivo de mejora continua. Para esta etapa se puede seguir los siguientes pasos: (1) Formular un plan de implementación basado en el Mapa de Estado Futuro, (2) Realizar la Implementación, (3) Evaluar el progreso, y (4) Re-Mapear el proceso.

4.6. LIMITACIONES DEL MAPA DEL FLUJO DE VALOR - VSM

Como toda herramienta, el VSM tiene ciertas limitaciones que deben ser consideradas para su aplicación y análisis de los resultados.

- 1) El problema de exageración, esta situación crea expectativas poco realistas y desvía la atención de los aspectos importantes de problemas complejos.
- 2) Aspectos no técnicos de Lean. También pueden existir problemas de calidad que la empresa puede hacer frente mediante Six Sigma o técnicas de Calidad Total - TQM. Las 5S pueden limpiar la planta, mejorar la seguridad y además incrementar la productividad. El VSM no aborda directamente ninguno de estos aspectos.
- 3) Definiciones difusas. El mapa no comienza a capturar "todas las acciones específicas". "Flujo de valor" evoca una visión de agua corriendo a través de una serie de actividades para agregar valor pero muchos iconos no representan actividades de valor agregado, no tocan el producto y no fluyen como una corriente.
- 4) Situaciones de alta variedad. VSM fue desarrollado y popularizado en la industria automotriz. Las plantas automotrices están muy enfocadas en fábricas con una familia limitada de productos para unos pocos clientes. El VSM trabaja bien en estas situaciones.
- 5) La simbología afecta el pensamiento. Muchos símbolos del VSM puede conducir a los usuarios a emplear estas técnicas incluso cuando no son apropiadas.
- 6) Capacitación. El equipo de trabajo para desarrollar el VSM requiere de capacitación sobre los símbolos, técnicas de mapeo, y sobre los elementos de Lean Manufacturing que los símbolos representan. Esto contrastado con el Mapeo de Proceso, el cual requiere un facilitador capacitado.

4.7. RELACIÓN ENTRE MODELO DE FLUJOS Y MAPA DE FLUJO DE VALOR (VSM)

El modelo de flujos propuesto en el capítulo III, en el que se representa al sistema de construcción con cinco flujos (Flujo de objetos, Flujo de sujetos, Flujo de apoyo, Flujo de información y Flujo de abastecimiento) que interactúan en un espacio físico representado por el layout de obra.

En la Figura IV-9, se puede observar claramente que en el Mapa de Flujo de Valor se puede identificar claramente los flujos que se describen en el modelo de flujos propuesto, lo que respalda al Mapa de Flujo de Valor como el modelo cuantitativo del modelo de flujos.

El flujo de objetos es el flujo de valor y es por donde los procesos se ubican, luego tenemos al flujo de sujetos que se representa en la caja de información donde se encuentran indicadores que muestran el estado de la operación, productividad de los trabajadores y maquinarias.

El flujo de apoyo se representa como un flujo de abastecimiento pero con un productor con valor agregado en procesos realizados en otro espacio que el flujo de objetos, y puede llegar a un lugar de almacenamiento a un proceso del flujo de objetos. El flujo de abastecimiento está representado por el proveedor hacia el flujo de objetos, donde los insumos se entregan en un lugar de almacenamiento.

El flujo de información fluye entre los actores del sistema de producción como son el proveedor, oficina técnica, área de ingeniería, cliente, área de producción entre otras más. El flujo de información puede ser electrónico (vía mail y llamada telefónica), y manual a través de documentos, fichas entre otros. El motor del flujo de información es la herramienta de gestión como Gestión por programación de recursos (MRP), Gestión de flujos (Sistema Last Planner), o CPM.

El Lay Out no se puede representar por ser una limitación del VSM pero tenerlo cerca puede dar una mejor visión de los flujos en obra, y dar explicación sobre datos de las cajas de información.

4.8. TIEMPO DE ENTREGA DE PREFABRICACIÓN

La investigación se enfoca en proyectos de construcción con elementos prefabricados. La prefabricación como se estudió en el capítulo II, es un sistema de construcción industrializado a diferencia del sistema de construcción tradicional. En el VSM uno de los datos importantes para su desarrollo es el Lead Time o Tiempo de Entrega por lo que su descripción y la forma de obtenerlo para la prefabricación será necesario para la elaboración del VSM.

Lead time es la cantidad de tiempo entre la aceptación de la orden por el fabricante y la entrega del producto al cliente. A continuación se presenta la fórmula para hallar el Lead Time de fabricación de prefabricados.

$$FLT = (SDT + PT + FT + AT + DT + AC)$$

A esta fórmula se le puede agregar subsidios por variabilidad

Leyenda:

FLT: Tiempo de Entrega de Fabricación

SDT: Tiempo de Producción y Revisión del Shop Drawings (Planos de construcción y fabricación detalladas que muestran el material propuesto, forma, tamaño, y el montaje de las partes y cómo se va a instalar la unidad entera.)

PT: Tiempo de Procura

FT: Tiempo de fabricación

AT: Tiempo de pre-montaje

DT: Tiempo de entrega

AC: Subsidios para cambios

Así mismo, como se planteó en el análisis del VSM Actual se propone algunas sugerencias para reducir el Lead Time de fabricación.

Tabla 4.4. Oportunidades para reducir los tiempos de entrega de fabricación

Tiempo de Entrega de fabricación	Reducir el tamaño de lote de las emisiones (lote de transferencia) al fabricante
	Realizar la ingeniería de detalle de la primera etapa en 'hacer', por ejemplo, tirar de la instalaciones
Tiempo de entrega del componente	Evitar averías mediante mantenimiento preventivo de equipos
	Entregar al área de almacenamiento en horas libres para evitar la congestión del tráfico y asegurar la disponibilidad en el momento de entrega de destino
Tiempo de ciclo de montaje	Diseño y gestión de tolerancias para evitar la necesidad de la unión física de los conjuntos de ajuste para asegurar
Tiempo de ciclo de fabricación	Reducir los tiempos de preparación y desde allí procesar lotes
	diseño para la fabricación y montaje
Tiempo de procura	Partes estandarizadas; reducir el número de piezas
Tiempo de Shop drawing*	Integrar detalle en el diseño de producción, eliminando de esa manera la separación de producción y revisión del Shop Drawing. Uso de 3D.
Subsidios para cambios	Reducir el riesgo de cambios en diseño de producto mediante la reducción de lead times de fabricación
	Reducir el riesgo de cambios en el diseño del producto tomando decisiones de diseño en el momento del último responsable.
	Reducir el riesgo de cambios en la sincronización o secuencia de instalación a través de la implementación del sistema Last Planner por el instalador.
	Desplazar el riesgo de variabilidad de la demanda a la parte que mejor pueda controlarlo, es decir, el instalador.
*Shop drawing son planos de montaje elaborados por el constructor para facilitar la construcción.	

Fuente: (Ballard & Arbulu, 2004)

5. SISTEMA SHINGO PARA LA MEJORA CONTINUA

5.1. MECANISMO DEL PENSAMIENTO CIENTIFICO (STM)

Los esfuerzos de mejora en las empresas de América y Europa se enfocan en resolver los problemas del día a día – apagando incendios. Resulta necesario abordar la causa raíz del problema para implementar mejoras que tengan gran impacto sobre el sistema de producción.

Una de la causas de las deficientes planes de mejoras es el desentendimiento que los administradores de producción tienen sobre mejorar, puesto que, realizan mejoras basándose en el análisis de las condiciones existentes en combinación con su experiencia e intuición.

Se han diseñado muchos métodos de mejora pero todos son unidimensionales, es decir, se centran en mejorar algo en particular sin tomar en cuenta los demás factores ni las restricciones del proyecto. Por otro lado, El pensamiento Shingo propone un método sistemático único y global para la mejora - cuenta con una estructura bien fundamentada para lograr que las mejoras impacten efectivamente en el sistema de producción- que puede ser aplicado en todo tipo de industria.

El STM es un sistema integral de mejora continua para el sistema de producción diseñado por Shingo. Se basa en los estudios e ideas que aportaron los predecesores como Taylor, Gilbreth, Ford, entre otros, y sus cincuenta años de experiencia en implementar mejoras.

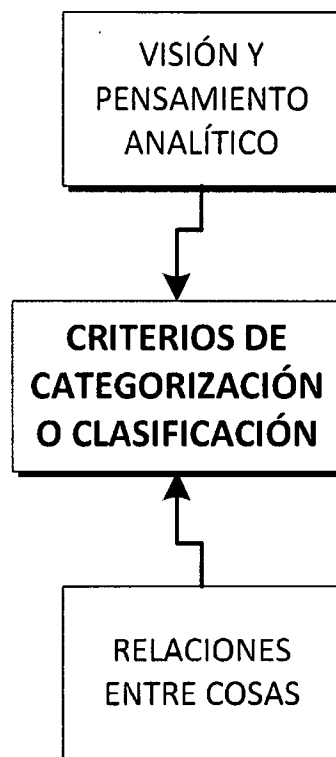
5.2. FASES

5.2.1. Fase Preliminar: Pensamiento analítico

Se debe comenzar pensando en las mejoras percibiendo los principios de clasificación. Por ejemplo, cuando describimos un objeto podemos ver varias vistas perpendiculares, esto nos permite ver al objeto desde una perspectiva particular y simple. Pero si en vez de describirlas perpendicularmente lo hacemos desde un ángulo oblicuo, entonces, podríamos entender que el objeto tiene una estructura más compleja, poliédrica. Tener un entendimiento desde una perspectiva más compleja hará posible identificar muchos problemas y oportunidades de mejora, por ejemplo, existe una alta productividad, pero los trabajadores realizan trabajos inseguros.

La observación analítica, que tiene en cuenta los principios de clasificación, es muy importante cuando buscamos problemas y pensamos en realizar mejoras.

Figura 5.2. Fase Preliminar: Pensamiento analítico



Fuente: Componente de Figura V-1. (Shingo, 1987)

5.2.1.1 Principios de Clasificación

Los principios de clasificación son modos básicos para distinguir una cosa de otra. Por ejemplo en los seres humanos: mujer y hombre por el sexo, adultos y niños por la edad, entre otros. Existen otros principios de clasificación, o maneras de ver y opinar. Cuando se trata de mejoras es recomendable observar y pensar en una variedad de maneras distintas.

Se puede distinguir dos tipos de clasificaciones:

- Clasificación por oposición. La clasificación se hace sencillo, porque se puede contemplar en términos sencillos de "A" y no es "A", simplemente lo opuesto, por ejemplo, personas enfermas y personas sanas.
- Clasificación continua.- Esta clasificación tiene atributos continuos por lo que requiere de una *muestra límite* para determinar la diferenciación, por ejemplo, se considera trabajo en altura de alto riesgo cuando se trabaja a partir de 1.50 m., por lo tanto, la *muestra límite* entre el trabajo en altura de alto riesgo y el que no es riesgoso es determinado por el 1.50 m. En esta clasificación aparece un fenómeno como, qué pasa si el trabajo se realiza a 1.49 m. ¿Es o no es peligroso?, la selección de qué tipo de trabajo es, implica arbitrariedad.

5.2.1.2 Intersección de Categorías

Cuando se emplean a la vez dos categorías –principios de clasificación- para clasificar un fenómeno único, tenemos un caso de *intersección de categorías*. Esto ocasiona que no se tenga claro los principios de clasificación y se entren en debates sin solución. Por ejemplo, cuando se busca elegir un proveedor se forman dos grupos, los que sí lo quieren elegir y los que no, el primero argumentando que es buena y la otra que no lo es, sin saber en qué categoría (calidad, tiempo de entrega, precio) están juzgando. Esto se soluciona entendiendo las categorías que se esperan juzgar y realizando una puntuación por categoría y, así, poder llegar a una elección objetiva.

Cuando una discusión parece haber llegado a un punto muerto, puede significar dos cosas: (1) el fenómeno en discusión es una clasificación continua y por lo tanto no se había establecido una muestra límite que diferencie un estado de

otro. (2) Se están empleando categorías diferentes sin que los participantes se den cuenta de ello. Estos problemas debe ser evitados para que no puedan impedir desarrollar mejoras.

Recordar que la claridad de los principios de clasificación es una parte esencial y básica del pensamiento analítico.

5.2.1.3 Relaciones entre las cosas

Se puede percibir que existen muchos tipos de relaciones entre las cosas, pero en realidad solo existen cuatro relaciones básicas. Ahora, dos cosas pueden estar relacionadas o no relacionadas, si lo están su relación puede ser de tipo: causa-efecto, oposición, similaridad, y proximidad.

- Causa-Efecto, una relación causal une la causa y su respectivo efecto, por ejemplo, demora en la entrega de los materiales tiene como efecto un largo tiempo de espera de los obreros.
- Oposición, una relación de oposición existe entre factores contrarios, por ejemplo, agua y fuego.
- Similaridad, es una relación entre objetos similares, por ejemplo, losa aligerada y losa maciza.
- Proximidad, es la relación que existe entre objetos que siempre están relacionados los unos a los otros, por ejemplo, muro del segundo piso y columna del segundo piso.

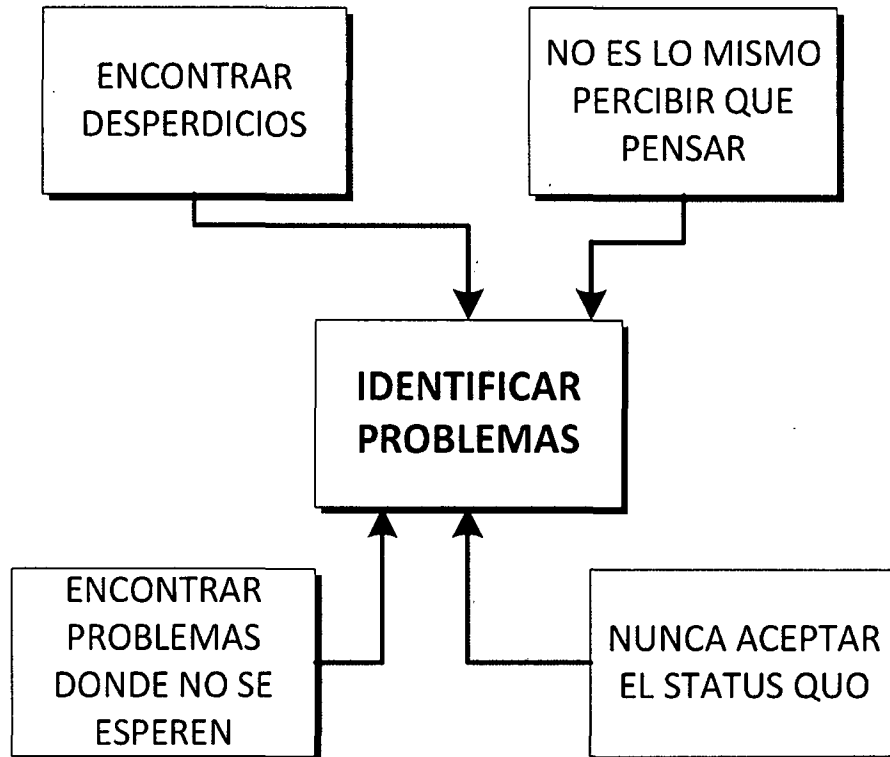
Es de gran ayuda entender las relaciones porque cuando se realicen o revisen gráficos de control podemos determinar la relación entre las variables.

Una relación de objetos no solo existen en un punto en el tiempo si no que puede existe una relación causal previa y una posterior, y a la vez estar asociadas con oposición, similaridad, y proximidad, todas influyéndose mutuamente. Esta cadena de interrelaciones puede ser infinita pero se puede reducir en las cuatro relaciones básicas.

5.2.2. FASE I: Identificación del problema

Si hay un problema es porque tiene una necesidad por lo tanto se necesita de una mejora. Entonces, cuando se piensa seriamente en mejorar, lo primero es identificar el problema.

Figura 5.3. Fase I: Identificación de problemas



Fuente: Componente de Figura V-1. (Shingo, 1987)

5.2.2.1 Encontrar el despilfarro

Es obvio que cuando vemos un despilfarro en nuestro lugar de trabajo automáticamente intentamos reducirlo o en el mejor de los casos lo eliminamos, esto pasa cuando el despilfarro es evidente. Por otro lado, cuando el despilfarro está oculto, pasa con la mayoría de ellos, necesitamos primero encontrarlo. Así se concluye que el conocimiento e identificación de los desperdicios es muy importante.

El despilfarro, desperdicio, es todo aquello que no le agrega valor al producto final. Se puede explicar mediante un ejemplo de la vida cotidiana, cuando se

compra una sandía se realiza el pago por el peso total de la fruta que incluye la cáscara y la pulpa, solo que, lo único que se consume es la pulpa por lo que la cáscara no sirve para el fin que se compró la fruta, realizando un cálculo la pulpa solo es el 60% del peso de la fruta por lo que el otro 40% es un despilfarro por el que también paga.

Se debe entender claramente que: "Existen muchas clases de despilfarro en el lugar de trabajo, pero no todo despilfarro es obvio. A menudo aparece bajo el disfraz de un trabajo útil. Se debe mirar bajo la superficie y captar la esencia."

Al pedir que se encuentren desperdicios, también se puede solicitar a los trabajadores ideas para resolver problemas específicos e ideas de mejoras en general, logrando casos de éxitos en muchas de las fábricas donde se aplicó esta propuesta.

5.2.2.2 Agregar valor

Existen dos tipos de tareas en la fabricación de un producto: Tareas que agregan valor y tareas que aumentan el costo del producto (no agregan valor).

Las actividades que añaden valor son las que aumentan valor al producto y por las que el cliente paga, es como la parte comestible de la fruta. Como ejemplos en construcción es el mezclado de concreto, colocación de ladrillos para muro, colocación de acero, entre otros.

Las actividades que no agregan valor son aquellas que simplemente aumentan el costo del producto, es como la cáscara de la fruta. Estas actividades son transporte de materiales, trabajadores en espera, trabajos de reparación, entre otros.

Entonces es importante considerar separar las actividades que agregan valor y las que no agregan valor, y también se debe desarraigar el hábito de pagar por las actividades que no agregan valor, así como, reconocer el verdadero valor del trabajo.

5.2.2.3 El problema de pensar que no existen problemas

Para identificar el problema se debe estar insatisfecho y realizar críticas constructivas al statu quo. Cuando se está satisfecho con lo que se realiza no se podrá realizar ninguna mejora. Algunas frases que podrían identificar una actitud pesimista frente a la mejora:

- No hay ningún problema en particular
- Es inevitable tener algún problema. Esto para a todas las compañías. Somos como los demás; no es necesario preocuparse.
- Cambiamos con frecuencia nuestra línea de producción. No podemos gastar demasiado dinero. Contentémonos con las cosas tal como están.

Las personas con estas actitudes están autosatisfechas y puede que no reconozcan un problema cuando surge. Pero por otro lado, se debe tomar actitudes como las siguientes.

- Observar de cerca y durante un tiempo razonable la operación de una máquina que se considera libre de problemas, para descubrir problemas que no se han detectado.
- Intentar reducir a casi 0% los desperdicios en su planta, a pesar de que en las otras tengan un porcentaje más alto. Es una actitud para intentar lograr lo imposible.
- Aunque existen cambios en los modelos que se fabrican, se debe analizar las acciones comunes y procurar disminuir el coste con plantillas o herramientas que se han utilizables, independientemente al cambio de modelo.
- Buscar problemas con agresividad.

5.2.2.4 No imitar a la competencia

Muchas empresas por no invertir en programas internos de mejora comienzan a imitar a otras empresas para resolver sus problemas. Realizando un espionaje a la empresa de la competencia o líder del sector, con el inconveniente de que es

complicado espiar a otra empresa, para descubrir problemas en su flujo de producción y conocer como resolvieron problemas similares. Este es un método más o menos bueno pero que hará que la empresa sea siempre la imitación de otra y nunca podrá ser la primera. Esto le ocasionará no reducir costos hasta después que la otra empresa lo realice, y perder la actitud de identificar despilfarro esperando que la otra los identifique y tome acción para disminuir sus índices de defectos para seguir liderando en el mercado.

5.2.2.5 Mal necesario

En la vida tenemos la costumbre de considerar que existen “males necesarios”. Por ejemplo, cuando una fábrica decide tener productos en stock para que el flujo se mantenga continua y para que en caso se desarrolle un defecto este sea cambiado. El stock puede ser un mal, pero es percibido como un mal necesario.

Entonces como se puede apreciar, no le damos la importancia debida a “mal” sino al de “necesario”, esto hace mediocre al sistema porque le permite aceptar desperdicios y otros defectos. Tener claro que todo “mal” es malo ayuda a inculcar una actitud para encontrar problemas que conduzcan a implementación de mejoras básicas.

No estar nunca contento del todo y buscar siempre maneras de mejorar las cosas son requisitos indispensables para encontrar problemas.

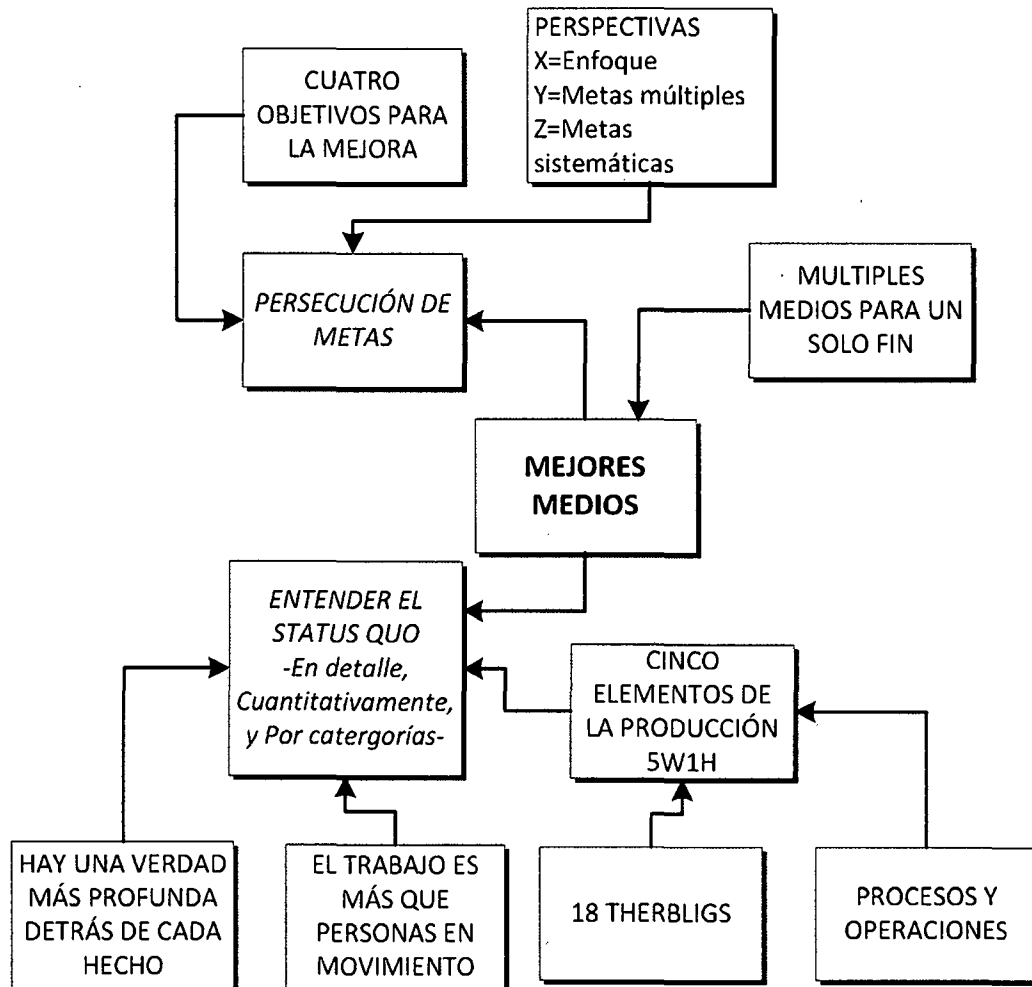
5.2.3. FASE II: Enfoques para la mejora

Luego de haber identificado una zona o proceso donde existan problemas, debemos entender las condiciones actuales antes de querer proponer soluciones, para lograr que las soluciones tengan un impacto positivo en su implementación.

5.2.3.1 Importancia de entender los hechos

Es importante disponer de hechos, situaciones que se realizan en el momento de los problemas, antes de intentar cualquier mejora. No solo importa tener los hechos sino también cómo es que se obtienen.

Figura 5.4. Fase II: Enfoques para la mejora



Fuente: Componente de Figura V-1. (Shingo, 1987)

Para entender los hechos se debe considerar la confiabilidad del hecho porque muchas veces los hechos resultan ser especulaciones o conjetura, además, los datos de los hechos pueden cambiar con el tiempo, pero se seguirán considerando válidos. Otro aspecto a considerar es que, a pesar de que un dato es correcto su importancia para el análisis del problema puede ser nulo, es indispensable conseguir la verdad más profunda de los hechos.

Se puede conseguir mejoras importantes, por medio de una observación y un análisis detallado, cuantificador y clasificador.

5.2.3.2 Tiempo es el reflejo de los movimientos

Existe el dicho "El tiempo no es más que el reflejo del movimiento", entonces

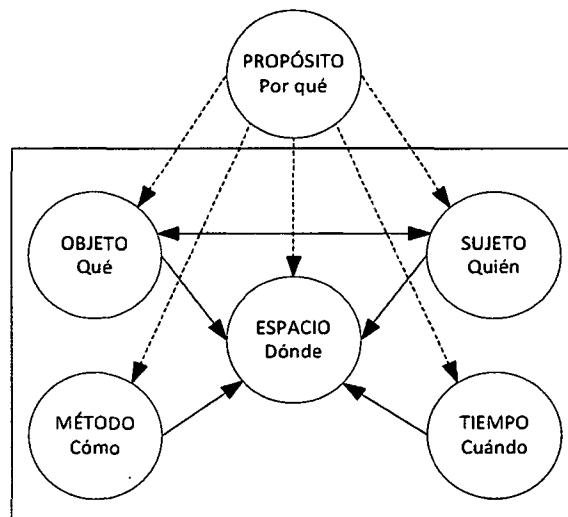
cuando una persona se refiere a una acción para mejorar una actividad piensa en hacerla más rápido porque toma mucho tiempo su ejecución. Pero el hecho de que los trabajadores realicen las actividades con más prisa podría causar confusión y un ahorro insignificante de tiempo.

Entonces cuando se manifiesta que una actividad lleva demasiado tiempo se refiere que para realizar dicha tarea se requiere de un gran número de movimientos, y tal vez muchos de ellos improductivos. Mejor será realizar una reestructuración de los movimientos en la actividad y así poder ajustar el tiempo. Sin embargo, existen administradores que se quejan del despilfarro de tiempo sin buscar las causas reales ni darle solución.

5.2.3.3 Los cinco elementos de la producción

Existen muchos métodos de cómo obtener los hechos. Para esta metodología se empleará el método de la 5W+1H¹ (Metodología que desglosa un proceso en Por qué, Qué, Cuándo, Dónde, Quién, y Cómo), ver figura.

Figura 5.5. Método de 5W1H para entender los fenómenos de los hechos



Fuente: (Shingo, 1987)

Estas preguntas describen los elementos que componen un fenómeno como proceso, operación, tarea, entre otros. Cuando surge un problema, se debe

¹ 5W+1H, son las iniciales de las preguntas en idioma inglés (Why, What, When, Where, Who, and How).

analizar enfocados en sus cinco componentes: objeto, sujeto, método, espacio, y tiempo. Luego se debe cuestionar el porqué de cada uno de los componentes. Estos 5W1H pueden tomarse como los componentes de cualquier fenómeno. Pero siempre han de considerarse en el orden (1) qué, (2) quién, (3) cómo, (4) dónde, y (5) cuándo, en algunos fenómenos el (4) y (5) se pueden invertir.

El “por qué” no es un elemento que comprende un fenómeno específico; es una pregunta que hay que formular sobre los otros cinco elementos (incluyendo método, lugar y tiempo), enfocados en el propósito. Por ejemplo se debe preguntar: ¿Por qué se selecciona a la cangrejera (“Qué”) cómo problema? y ¿Por qué lo hace con bomba de concreto (“Cómo”)?

Este método de análisis de cinco componentes permite que los problemas sean entendidos correctamente. El mismo método se puede aplicar para cualquier otro tipo de problema, no solo en ingeniería.

5.2.3.4 Estructura de las actividades de producción

La producción tradicional se percibe como un conjunto de procesos que se pueden dividir en sub procesos o en operaciones, y que la dirección de ambas es unidireccional. Shingo sugiere un flujo de producción con dos componentes ortogonales como son el proceso –denominado Flujo de Objetos- y operación – denominados Flujo de Sujetos. Esto se presentó en el capítulo I.

Para el tema de análisis de estos dos flujos – proceso y operación – se describirán los fenómenos que los componen.

El proceso o flujo de objetos en un entorno de producción consiste en los siguientes cuatro fenómenos:

- **Procesado:** alteración de forma o sustancia, montaje, desmontaje. Es la única acción que agrega valor al cliente.
- **Inspección:** comparación con un estándar. Asegura la calidad del producto, pero aumenta el costo del mismo. La inspección debería prevenir defectos.
- **Transporte:** cambios de ubicación. Aumenta el costo del producto, por lo

que se debe realizar el mayor esfuerzo posible para optimizar el layout.

- Retraso: duración del tiempo en que no ocurren cambios de ninguno de los fenómenos anteriores. Sirven como protección contra las fallas del sistema, deben eliminarse.

Existen cuatro tipos de operaciones o flujos de sujetos, que corresponden a los cuatro fenómenos del proceso. Existen elementos que componen a las operaciones. Estas son:

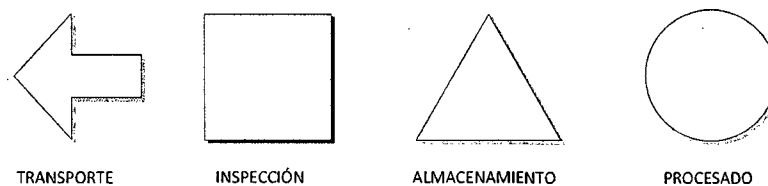
- Preparación, post-ajuste: Se refiere a la preparación de una tarea y limpieza posterior; esto es lo que se denomina preparación.
- Operaciones principales: Tareas que se repiten siempre, esenciales para los fenómenos de proceso.
 - Elementos principales: Se refiere al trabajo real, como mecanizado (procesado), medida con calibre (inspección), transporte, o almacenamiento (retraso).
 - Elementos incidentales: Se refiere a acciones como la instalación para el corte, retirada de pieza (para procesado), calibrado (para inspección), carga del producto a un vehículo (para transporte), o carga del producto en estantes (retraso).
- Concesiones de fatiga: Se refiere a pausas periódicas por fatiga durante un turno.
- Concesiones de higiene personal: Se refiere a ir a los servicios, beber agua, quitar el sudor, etc. durante un turno.
- Concesiones de operación: Se refiere a acciones como aplicar aceite a una máquina, barrer los desperdicios de los cortes, etc. durante un turno.
- Concesiones del lugar de trabajo: Se refiere a acciones tales como esperar que llegue el material o tomarse una pausa por rotura de equipo.

5.2.3.5 Métodos de análisis del status quo

Como ya se mencionó, solo existen dos métodos de analizar una situación dada: Análisis de proceso – flujo de objetos -, y Análisis de operación – flujo de sujetos.

Para el análisis de proceso se suele mapear el proceso con los diferentes métodos, uno de ellos es el diagrama de flujo donde se representa los fenómenos del proceso por medio de figuras geométricas o el Mapeo de Flujo de Valor (VSM) desarrollado en el capítulo anterior.

Figura 5.6. Símbolos del diagrama de flujo de objetos (proceso)

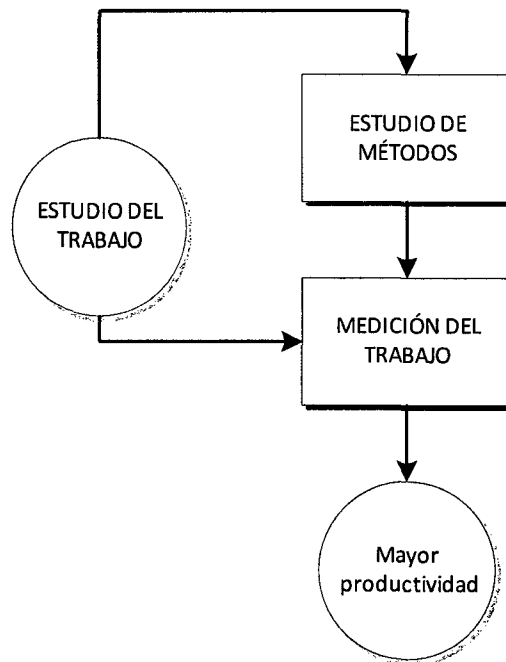


Fuente: (OIT, 1996)

Para el análisis de operaciones se suele aplicar la metodología del Estudio de Trabajo de la OIT, en la cual se describen dos métodos que son el Estudio de Métodos y Medición del Trabajo. El Estudio de Métodos se aplica para simplificar la tarea y establecer métodos más económicos para efectuarla. Por otro lado, la Medición de Tiempos permite determinar cuánto tiempo debería emplearse para llevar a cabo la tarea. Primero se realiza el Estudio de Métodos, ya que permite mejorar la operación y estandarizarla, y luego la Medición de Trabajo porque permite mantenerla e identificar posibles mejoras. Ambas permiten obtener una mayor productividad.



















Cuando se desea estudiar la operación desde los micro-movimientos, o movimientos realizados por manos, ojos, entre otras partes de nuestro cuerpo empleados para realizar una operación. A este estudio se le conoce como Estudio de Therbligs, por el ingeniero Frank Gilbreth, quién muestra 18 micro-movimientos o therbligs que componen todo tiempo de operaciones. Estos therbligs se dividen en: esenciales (4), tienen más valor; movimientos de preparación o seguimiento (4), apoyo a los primeros; incidentales (6) contribuyen menos a los esenciales que los anteriores; y no acción (4), no ayudan y deben ser eliminadas.

Figura 5.7. Esquema de la Metodología del Estudio del Trabajo



Fuente: (OIT, 1996)

Figura 5.8. Símbolos para el Estudio de Micro-Movimientos (18 Therbligs)

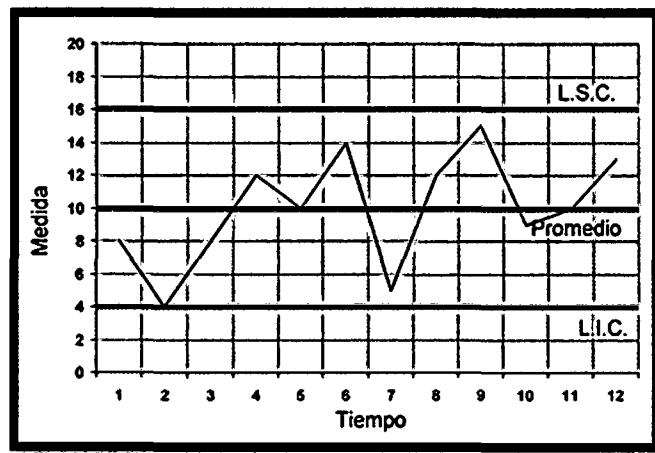
 Buscar	 Usar
 Encontrar	 Desensamblar
 Seleccionar	 Inspeccionar
 Tomar	 Precolocar en Posición
 Sostener	 Soltar
 Mover	 Demora Inevitable
 Alcanzar	 Demora Evitable
 Colocar en Posición	 Planear
 Ensamblar	 Descansar

Fuente: (Gilbreth, 1909)

5.2.3.6 Herramientas de seguimiento

Existen herramientas que nos pueden permitir identificar problemas o tomar decisión sobre qué problemas priorizar para solucionar. De las cuales están el Grafico de Control que nos permite ver en el tiempo la fluctuación de la variación en muchos aspectos como: defectos, paradas, etc. Estas variaciones están restringidas por una desviación estándar que puede ser 6δ o 3δ . Esto permite mejores niveles de calidad en el producto final pero no en el proceso.

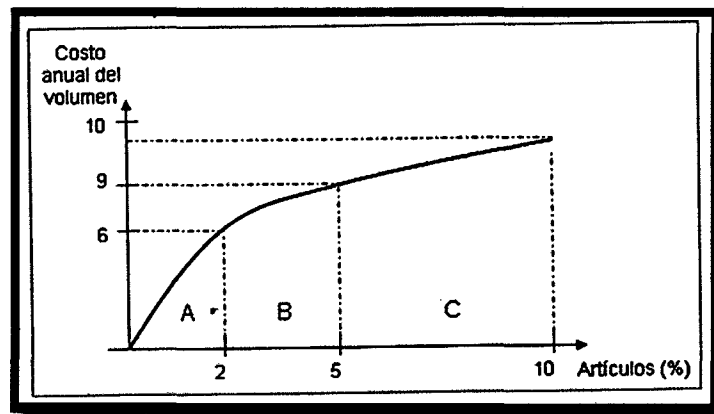
Figura 5.9. Ejemplo de Gráfico de Control



Fuente: (Deming, 1982)

También se presenta la Curva ABC que nos permite identificar los problemas con mayor frecuencia, o las actividades que tienen mayor valor y deberían tener la prioridad para analizarlas y buscar mejoras. Para elaborar un Curva ABC los datos se deben colocar ordenar de manera descendente y formar una suma acumulativa. Estas suma se grafica entre dos ejes, el vertical contiene los datos de la suma acumulativa y el horizontal la descripción del articulo o falla. La curva se podrá dividir en 3 sector, un sector A que tiene un pendiente ascendente muy empinada, un sector B donde se produce un inflexión y un sector C donde la curva tiende a ser horizontal. Las fallas, actividades, o artículos que estén en el sector A debe ser analizados.

Figura 5.10. Ejemplo de Curva ABC



Fuente: (Shingo, 1987)

Los métodos para analizar el status quo mencionados anteriormente no son más que técnicas para entender las condiciones existentes. Lo importante al realizar mejoras, es entender el proceso de pensamiento y las técnicas que permiten que las mejoras se realicen en condiciones existentes, tal como estas últimas se entienden.

5.2.3.7 Objetivos de las mejoras

Mejora significa cambiar para mejor. Es importante aclarar lo que significa "mejor". Existen cuatro objetivos para la mejora: **más fácil, mejor (calidad), más rápido y más barato**. Estos objetivos aparecen en orden de prioridades. Por lo tanto, primero es crear tareas más fáciles de hacer para los trabajadores, mientras mejoramos los productos. No se debe intensificar el trabajo aunque se mantengan la mismas horas de trabajo, en lugar de eso, se debe reducir las horas de trabajo como una posible meta de mejora.

5.2.3.8 Persecución de metas

Mientras las metas de mejora sirven como fundamento para las actividades de mejora, siempre es necesario perseguir las metas preguntando el porqué. La persecución de las metas se deberían realizar desde tres aspectos:

Persecución de metas Tipo X: Enfoque. Es importante dirigir nuestra atención sobre la verdadera meta del fenómeno de producción y no enfocarnos en

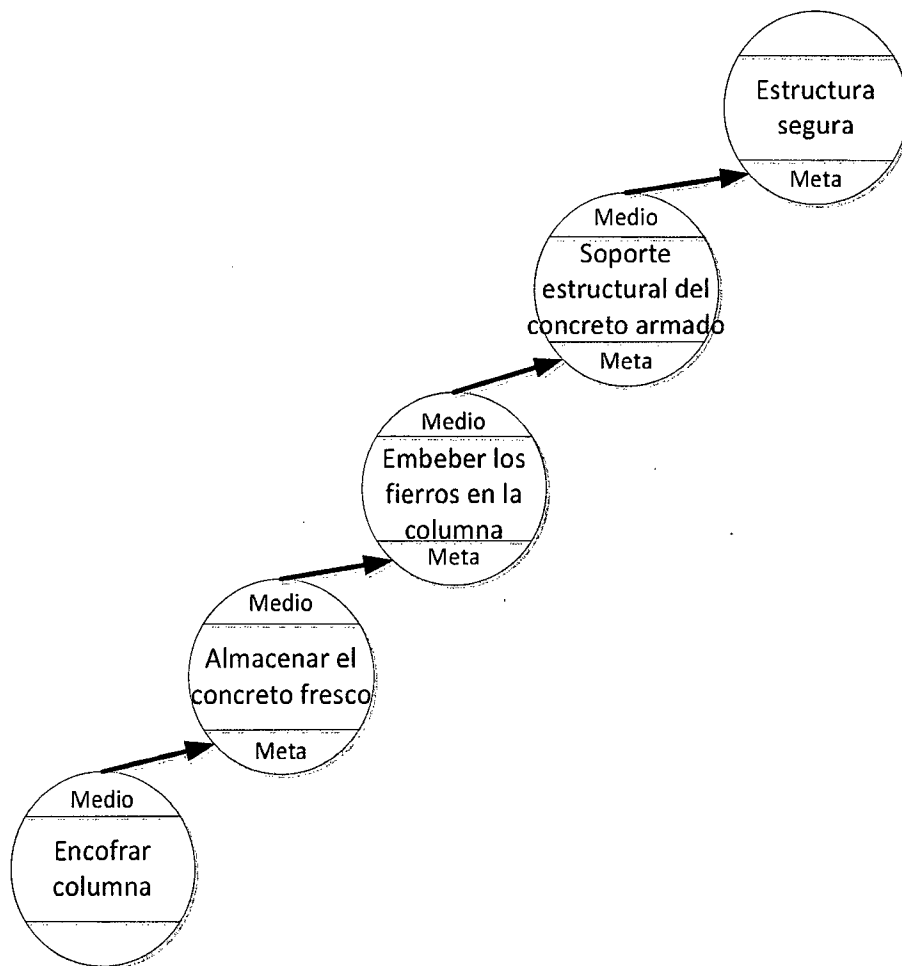
aspectos superficiales. Es mejor enfocarse en los problemas fundamentales porque a menudo se puede descubrir posibilidades de mejora inesperada.

Persecución de metas Tipo Y: Metas múltiples. Muy a menudo lo que parece un problema singular es en realidad un conjunto de problemas.

Persecución de metas Tipo Z: Metas sistemáticas. Siempre es necesario perseguir metas para encontrar desperdicios. Una razón que hace difícil perseguir las metas es la posibilidad de intercambiar fines y medios. Se tiende a aceptar la meta más obvia como una meta total.

Para esta persecución el preguntarse “porqué” reiteradas veces es indispensable para clarificar los medios y fines. Para ello se puede armar un diagrama de medios y fines como el de la siguiente figura.

Figura 5.11. Ejemplo de Persecución de Metas del Encofrado



El Know-How (Saber Cómo) no es suficiente para obtener mejoras; también se necesita Know-Why (Saber Porque). El tener el Know-How permite duplicar lo que ha aprendido. Pero, si además se tiene el Know-Why, es decir, si sabe por qué tiene que hacer algo de una cierta manera, se puede responder a cambios y aplicar a otras situaciones lo que se ha aprendido. A menudo se recorre proyectos de construcción de otras empresas o en el extranjero, pensando únicamente en copiar lo que allí se hace; se contenta uno con aprender solamente el saber-cómo. Pero una vez que se ha aprendido el saber-cómo, hay que ampliarlo con el saber-por qué. Con frecuencia, no se pone el esfuerzo necesario para entender las razones esenciales.

5.2.3.9 Mejores medios

No habría ninguna mejora en este mundo si solamente existiera un único medio – una única manera de hacer las cosas - para cada fin. Solo cuando uno cree que existe múltiples medios, aparecen posibilidades de mejora.

El progreso no se alcanzará si se piensa que el modo de hacer las cosas actuales es la única forma de hacerla correctamente y no hay otras. Si en cambio, se tiene una mente abierta y se cree la existencia de varios posibles medios para cada fin, las ideas de mejora emergerán a través del proceso de selección del mejor método. Por lo tanto, el único y más importante requisito para la mejora es una mente abierta.

No se debe quedar conforme con el estado actual se debe sugerir siempre mejoras, creyendo que existen varios medios, y probándolas, porque es la única forma de saber si el medio propuesto es la mejor forma de hacerlo. Recordar que si se quiere hacer cosas diferentes, no se debe hacer siempre lo mismo.

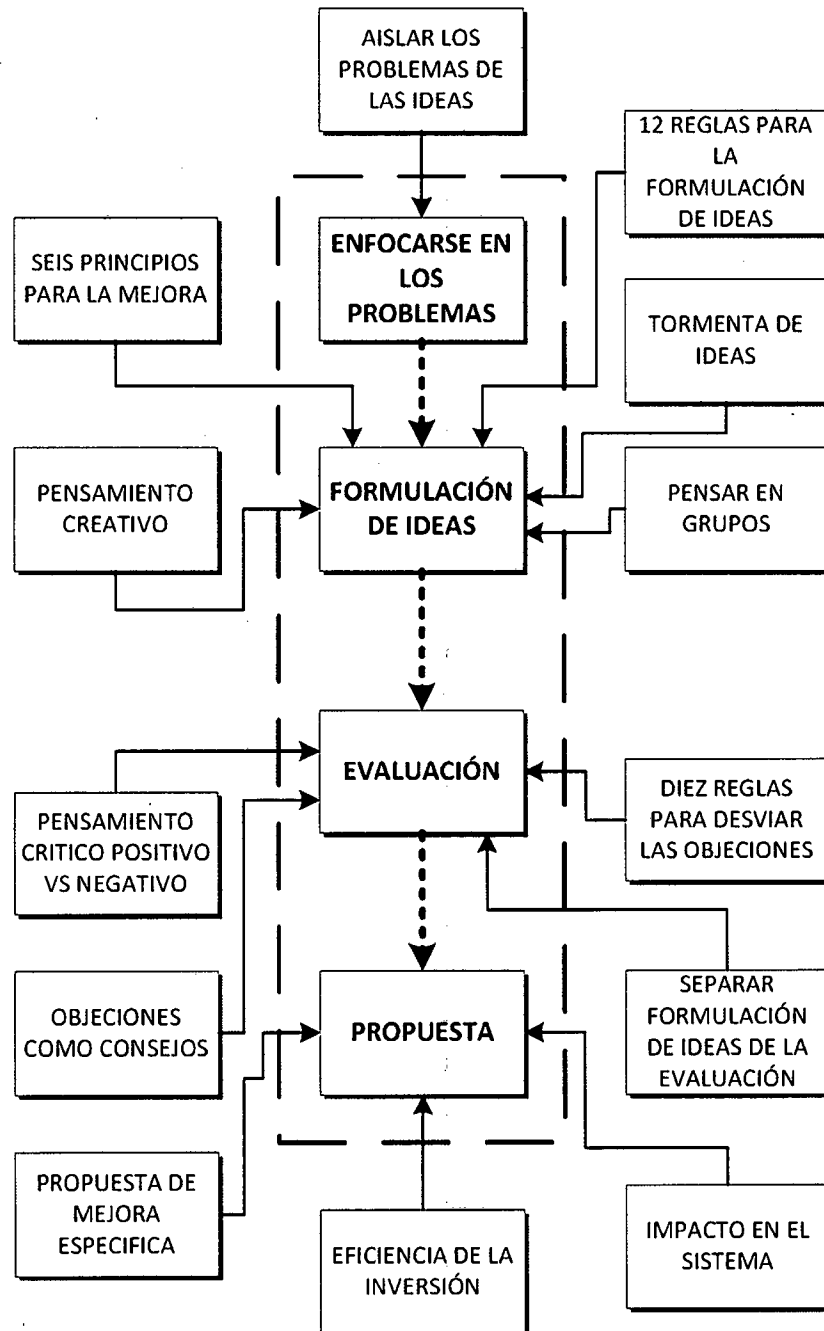
5.2.4. FASE III: Planes de mejora

5.2.4.1 Enfocarse en los problemas

Para realizar planes de mejora primero debemos reconocer los problemas, para ello en la Fase II se realizó técnicas para identificar el estado actual y se hallaron los objetivos reales de los trabajos. En este paso, se debe estar lo más crítico

posible, cuestionando todo lo que cree que no está funcionando bien, o lo que se podría mejorar. Se debe aislar esta postura de reconocimiento crítico, de la formulación de ideas. Es importante mantenerlas separadas, ya que, permite un mejor análisis al detalle, como consecuencia, un gran número de problemas para solucionar.

Figura 5.12. Fase III: Hacer planes de mejora



Fuente: Componente de la Figura V-1. (Shingo, 1987)

5.2.4.2 Formulación de ideas

En este paso se usa el Pensamiento Creativo. En fases anteriores se probó que existen múltiples medios para un solo fin, de la misma manera existirán muchas ideas para para concretar un nuevo medio mejor a los actuales.

Se propone que este paso se realice en un trabajo en grupo porque esto permite un mayor número de ideas generadas y la generación de nuevas ideas a partir de las generadas por el grupo.

En esta fase no se permite ni es conveniente emitir juicio alguno, juzgar equivale a cortar las raíces de la creatividad. Solo se deben concentrar en la generación de ideas sin ningún tipo de críticas.

- Método de asociación

No importa lo original que se puede pensar que sea una idea, se dice que todas las ideas nuevas se basan en una nueva combinación o modificación parcial de algo que se ha experimentado o algo que se haya visto u oído a otros.

Se piensa que una idea es nueva porque las pistas del pasado están muy dentro de su subconsciente. Por lo tanto, una nueva idea es el producto de la asociación de conocimientos existentes.

El término asociación de ideas se emplea para referirse a este tipo de formación de ideas, y se dice que hay cuatro tipos de asociación: (1) Asociación causal, (2) Asociación de opuestos, (3) Asociación de similitud, y (4) Asociación de proximidad.

- Doce reglas para la formulación de ideas

El método de asociación no funcionará si no se le brinda ciertas claves que generen asociación. Tales como concentración y dispersión, o ampliación y reducción.

La formulación de ideas de mejora se pueden clasificar en dos grupos: eliminación – el objetivo del trabajo puede lograrse aunque se elimine el trabajo, es el mejor remedio -, y Optimización – es pensar en la mejor manera de hacer un trabajo que no se puede eliminar-.

Las doce reglas para la formulación de ideas:

1. Eliminación
 2. Hacia adelante y hacia atrás: Reverso
 3. Normalidad y excepciones
 4. Constantes y variables
 5. Ampliación y reducción
 6. Concentración y dispersión
 7. Uniendo y separando
 8. Añadiendo y suprimiendo
 9. Paralelo y secuencial
 10. Cambiar una secuencia
 11. Diferencias y rasgos comunes
 12. Añadir y alternar
- Seis principios para la mejora

Con el transcurso del tiempo, se ha comprobado que ciertos principios son particularmente eficaces para la realización de mejoras.

La formulación de ideas comprende considerar y evaluar muchas ideas. Pero no siempre alguna idea que se nos ocurre se convierte en un plan de mejoras. Existen seis principios que han demostrado ser efectivos:

1. Aptitud. No se debe considerar las aptitudes de una persona para designarle una tarea, sino se debe diseñar una tarea que considere tanto la fisiología de la tarea como la psicología de la tarea y la ergonomía.
2. División del trabajo. Las mejoras de productividad humana

empezaron con la división del trabajo.

3. Mecanización. Cuando la división de trabajo simplificaba las tareas individuales, las personas crearon y usaron herramientas para sustituir la acción de la mano y la mecanización mejoró la productividad.
 4. Motorización. La fuerza se multiplicó con el uso de fuerza animal, la energía de la naturaleza, el fuego y más tarde el combustible, que sustituyó y aumentó la fuerza humana.
 5. Sincronización. La división de trabajo requiere coordinación. Surgen pérdidas si no se equilibran las tareas de una manera apropiada.
 6. Estandarización. La ineficiencia es el resultado de la diversificación de las tareas, de las herramientas usadas e incluso de los productos elaborados. La estandarización es particularmente eficaz para aumentar la productividad. Existen estandarización de materiales, piezas, productos, máquinas, útiles, herramientas, etc.
- Tormenta de ideas o BrainStorming

Es una técnica para la generación de ideas. Esta técnica consiste en reunir un grupo de personas para solucionar un problema a través de una gran cantidad de ideas, que finalmente una de ellas será la solución empleada. La tormenta de ideas funciona porque un grupo de personas con mente abierta pueden desarrollar ideas con más efectividad que un individuo solo. El ambiente que se crea en esta actividad es positivo para la generación de ideas ya que se estimulan los integrantes del grupo produciendo sinergia en un entorno no crítico y abierto. En una sesión de ideas originales, hay que observar las siguientes reglas: (1) Nunca criticar, (2) Aceptar ideas originales, nuevas, (3) Expresar el mayor número posible de ideas, y (4) Animar la mejora o el empleo de ideas de otras personas.

5.2.4.3 Evaluación

Aunque se tenga muchas ideas, estas no pueden convertirse en planes de mejoras si es que no han sido evaluadas en un proceso de análisis,

comparación, y selección.

La formulación de ideas es un producto que surge de la inspiración para solucionar un problema. No es un resultado de un análisis frío y objetivo. La formulación de ideas es un proceso creativo, una actividad mental orientada hacia el exterior, con el propósito de mejorar el statu quo.

La evaluación es un proceso que restringe la creatividad e intenta llegar a un compromiso con las restricciones impuestas por las condiciones reales. Evaluar es una actividad orientada hacia el interior.

- Separar la formulación de ideas de la evaluación

El proceso de evaluación y el de formulación de ideas deben estar separados, y no se deben interceptar por ningún motivo. Esto permite que la formulación de ideas genere la mayor cantidad de ideas posible, ya que cuando se evalúa, es como cortar la creatividad.

Mientras que si cuando se está en el proceso de evaluación, se sigue generando ideas, no se podrá realizar una evaluación pertinente y objetiva. Lo que podría causar que una buena idea se escape o que no se considere a la mejor idea como solución del problema. En consecuencia, no se podría desarrollar planes de calidad.

- Pensamiento crítico positivo vs negativo

Aunque se repite la importancia de separar el desarrollo de ideas de la evaluación, la evaluación crítica de ideas es una parte indispensable del desarrollo de planes de mejora.

Sin embargo, se confunde la evaluación crítica con la objeción de una idea. Asumimos que esto significa rechazar una idea. Se debe entender que hay dos tipos de juicios críticos: uno que destruye y otro que nutre. Mucha gente sólo sabe criticar de la forma que destruye. Son incapaces de criticar de una manera constructiva. Si todo el mundo se portara de esa manera, se perdería la función verdadera de la crítica.

- Diez reglas para desviar las objeciones

Se enumeraran 10 tipos de objeciones tradicionales cuando se pretende mejorar. Las cuales se deben tener en cuenta para reconocerla y saber contrarrestarlas para que no afecte su plan de mejoras.

1. Argumento basado en excepciones
2. Censuras
3. Pretensiones frívolas
4. Argumento fuera de contexto
5. La discusión del huevo o la gallina
6. El argumento del renacuajo
7. Argumentos basados en un supuesto no garantizado
8. El argumento bizco
9. Argumento rotativo
10. Argumento de esquivo

- Objeciones como consejos

Las objeciones son formas de criticar un plan de mejoras, pero no para evitarla. Todo depende de cómo se diga la objeción. Casi el 99% de los casos de objeción son consejos antes que un rechazo.

Las objeciones deben ser tratadas, cuando se identifica una objeción, no se debe enfrentar a ella sino absorberla. El trato hacia las personas que se propone el plan de mejora debe ser receptivo para que aquellas personas que expongan objeciones sean neutralizadas y también se presten a colaborar.

5.2.4.4 Propuesta

Se identifica un problema y se formulan y evalúan ideas. Si se descubre una

deficiencia, se repite el proceso. El proceso de formulación y evaluación se repite hasta que se logre una sugerencia de mejora verdaderamente útil. No hace falta decir que durante la fase de evaluación es crucial emplear juicios críticos constructivos.

Un plan de mejoras no debe ser abstracto; debe ser específico. No basta decir “habilitado de acero más rápido”. Tiene que ser específico, es decir especificar “habilitado de acero más rápido usando rodillos rotatorios ubicados de manera tal, con cinta transportadora para su automático desplazamiento”.

También es importante considerar que una propuesta de mejora debe considerar el impacto al sistema y la inversión que requiere.

- Impacto en el Sistema. La propuesta no debería ser un asunto aislado; debe estar integrada en el contexto. Una mejora propuesta que puede ser buena en sí, puede de hecho ser contraproducente en otro contexto. Por ejemplo, se mejora una tarea pero se afectan otras. En una situación así, lo primero que hay que hacer es identificar y eliminar cualquier cuello de botella.
- Eficiencia de la inversión. Este término se define como el coste de una mejora dividido por los ingresos mensuales de la inversión realizada. Con esto se sabrá cuantos meses tardaremos en recuperar el coste de la inversión. No importa el volumen del beneficio, probablemente no se adoptará un plan de mejora que requiera un inversión grande. Por otro lado, si el periodo de retorno del plan de mejora es 10 años, posiblemente no será aceptado aunque la inversión sea pequeña. Si tenemos un plan de mejora cuyo beneficio no es muy grande, pero cuyo periodo de retorno es de 6 meses posiblemente será rápidamente aceptado.

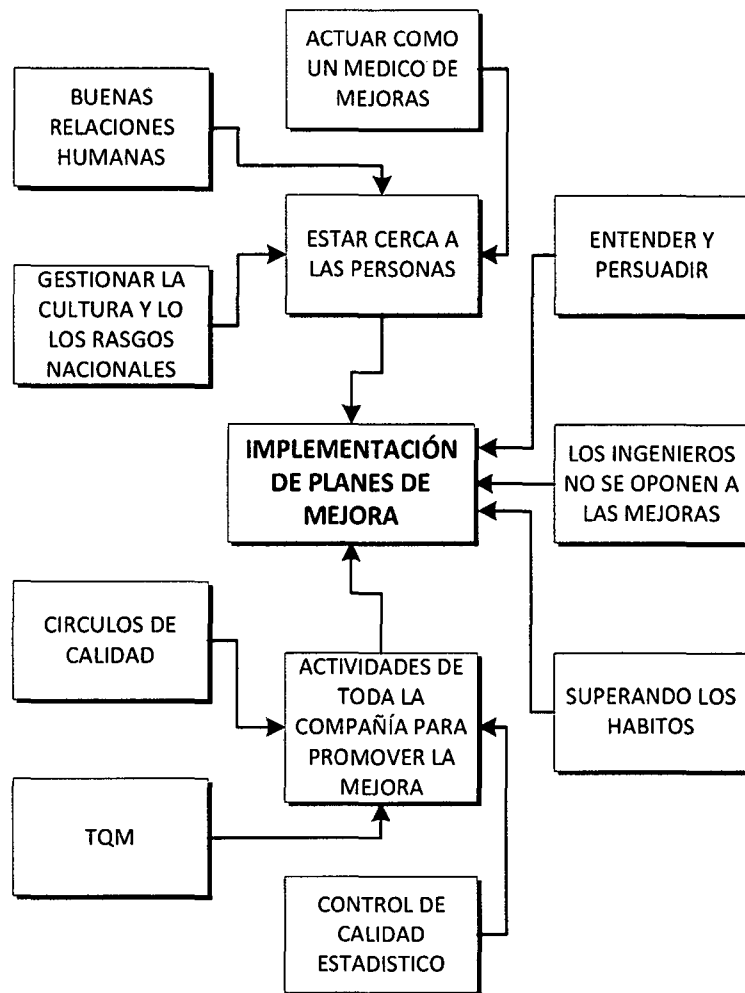
Entonces la implementación o no de una mejora propuesta se basa en dos factores: Cantidad de inversión permitida, y periodo de retorno determinado por la eficiencia de la inversión.

Se recomienda que las propuestas que se presenta tengan un periodo de retorno de 1 año.

5.2.5. FASE IV: Implementación

Para realizar la implementación es necesario tomar en cuenta aspectos que permitirán que la implementación sea un éxito.

Figura 5.13. Fase IV: Implementación del Plan de Mejoras



Fuente: Componente de Figura V-1. (Shingo, 1987)

5.2.5.1 Superando los hábitos

Las personas se sienten más cómodas con los hábitos adquiridos. Debido a que los métodos le son familiares, por lo tanto fáciles, piensan que también son los mejores. Para enfrentar los métodos familiares versus los métodos propuestos se compara con la fórmula del método de tiempo de familiaridad.

Método habitual

Método (70) x Familiaridad (100) = 7000

Método Propuesto

Método (90) x Familiaridad (50) = 4500

Para poder concretarse la implementación del método propuesto debe probarse hasta aumentar su familiaridad.

Método (90) x Familiaridad (90) = 8100

En este caso, la facilidad de una operación no es la medida de superioridad intrínseca del método, sino la familiaridad.

Una mejora significa siempre un cambio del status quo, una desviación de lo familiar. Sin embargo, se adopta un método porque se tiene confianza en él. Es indiscutible que el abandono de un método conocido, siempre genera una resistencia por parte de los que quieren seguir con él, pero debemos estar dispuestos sacrificar nuestros hábitos para generar progreso.

5.2.5.2 Entender y persuadir

Los planes de mejoras deberán ser siempre lo más claros posibles, para que lo puedan entender todos en el momento de su implementación. Pero entender el plan no significa realizarlo, la persona no es una computadora que le ingresas códigos que pueda interpretar y actúa. Como los planes lo realizan personas y lo ejecutan personas, se debe saber llegar a ellos. Muchas veces se llega a discusiones y debates sin fin, que no permiten la implementación.

La dialéctica enseña que la tesis y la antítesis se resuelven en síntesis en un nivel más alto. Esto quiere decir, las contradicciones y conflictos inherentes en la tesis y antítesis se resuelve, extrayendo lo bueno de ambas y llegando a una visión más armoniosa. Por lo tanto, el grupo de implementación debe tener habilidades de comunicación y negociación.

5.2.5.3 Ingenieros NO se oponen a las mejoras

Es importante que los ingenieros tengan la mente abierta y dispuestos a mejorar.

Por lo contrario, existen tres tipos de ingenieros que suelen oponerse a las mejoras:

- *Ingenieros de mesa.* Son aquellos ingenieros que les gusta exponer sus opiniones alrededor de una mesa de conferencia. Se oponen a mejoras basándose en una lógica teórica y de razonamiento, pero nunca van a campo. Cuando uno va a campo y observa, se da cuenta que estos ingenieros están llenos de malentendidos y suposiciones erróneas.
- *Ingenieros de catálogo.* Son los ingenieros que revisan constantemente catálogos de nuevos equipos. Cuando ven un equipo interesante piden a la empresa comprarlo. Luego que se compró y se puso en funcionamiento. No les remuerde la conciencia por haber comprado más equipo del realmente necesario. Todas las funciones o un equipo con la capacidad que necesita el taller se puede elaborar con las herramientas y máquinas disponibles. Pero este es un esfuerzo que no realiza este tipo de ingeniero, que prefiere gastar 10 veces más de lo que le costaría construirlo en el propio taller.
- *Ingenieros "No".* Estos ingenieros se caracterizan por decirle No a todo, con las típicas frases de "No, es imposible", "No es demasiado difícil", o "No, no funcionará" a todas las mejoras propuestas sin prestarle verdadera atención.

5.2.5.4 *Estar cerca de las personas*

Actuar como médico de mejoras

Cuando se busca mejoras y se propone mejoras, debe uno ser cuidadoso de cómo se presenta estas propuestas. Porque como se trabaja con personas, existe cierto recelo de aceptarlos, y en vez de ayudarlos piensan que se les está perjudicando, por lo que, la persona que propone mejoras es mal vista. Por ello es preferible estar siempre alerta de una oportunidad de mejora y saber comunicarlo. O de otra manera, ser un médico que espera que el paciente le indique que necesita su ayuda.

Buenas relaciones humanas

Se repite esta constante, de que los planes serán implementados por personas para personas. Por lo que es importante tener buena relación con ellas. Muchas veces tener buenas relaciones es una ventaja competitiva frente a métodos similares. Entonces, los jefes e ingenieros deben respetar, valorar y reconocer a sus trabajadores, tal vez con un pequeño gesto de saludo de cumpleaños o un simple "Buenos días, ¿Cómo se encuentra hoy?". Esto causará en su trabajador una confianza en usted y una lealtad que lo seguirá a cumplir cualquier plan de mejorar que desea implementar, y con éxito.

La cultura y rasgos nacionales

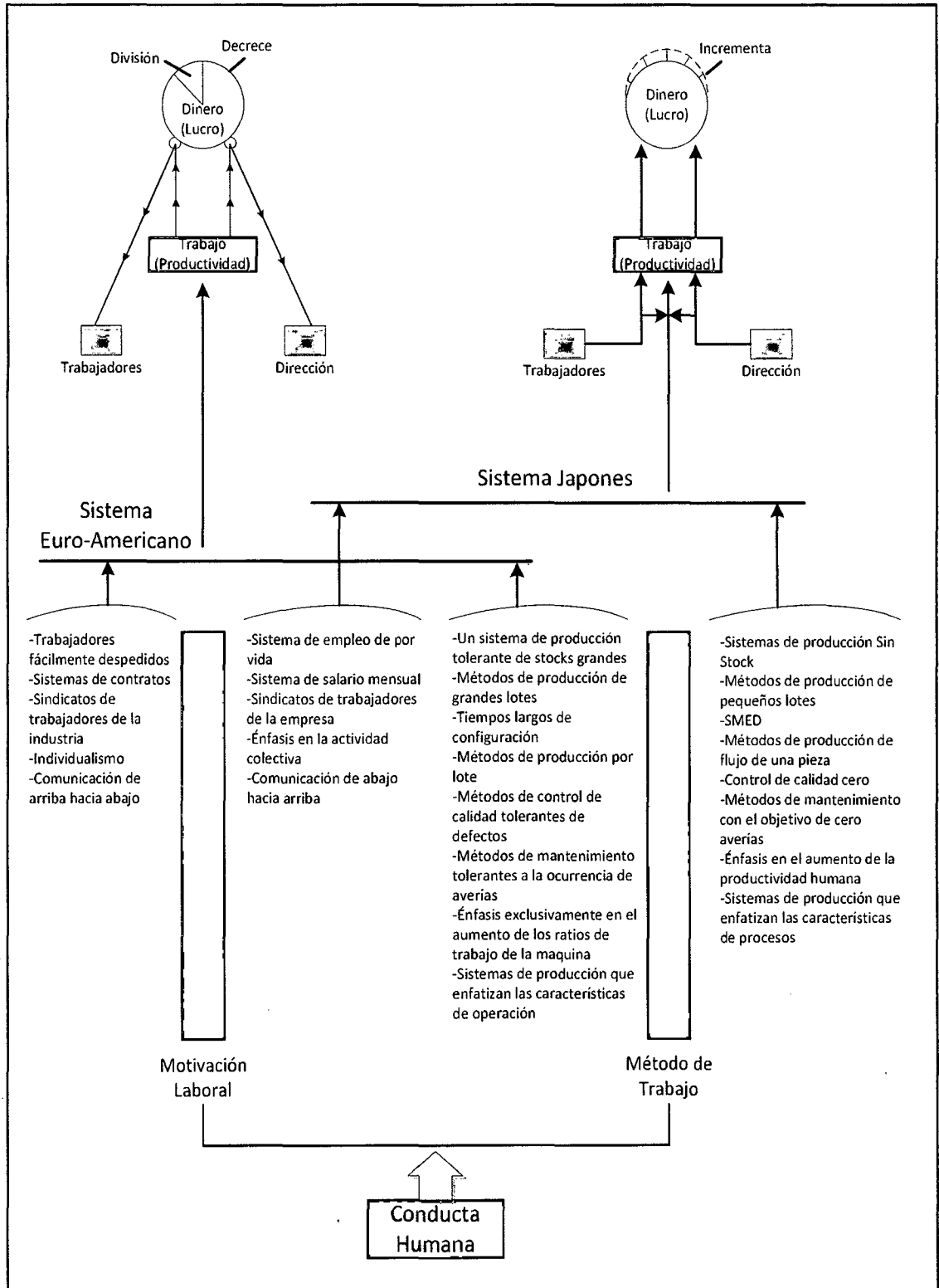
La metodología adoptada, o la implementación de los planes de mejoras pueden tener diferentes caminos respecto a la cultura del país o las personas. Es importante considerar algunos aspectos que diferencian a Japón con los países de occidente.

5.2.5.5 Actividades de la empresa para promover la mejora

Es importante que la empresa cuenta con una Gestión de Calidad Total, está involucra que: (1) el control de calidad no solo esté en el sector producción, sino en todos los departamentos, (2) Expansión vertical del control de calidad, no solo en los trabajadores si no también en los jefes, en la dirección media y superior, y (3) Expansión de la noción de calidad no sólo en el sentido de la calidad del producto sino también de la calidad del trabajo.

También se debe seguir considerando el uso de la Estadística de Control de Calidad, y crear círculos de calidad que promocionen la Calidad Total en la empresa, en sus vidas, y en los demás.

Figura 5.14. Comparación entre la cultura empresarial de Japón versus Europa-América



Fuente: Traducido de (Shingo, 1987)

CAPÍTULO VI. METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA EN SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN CON PREFABRICADOS

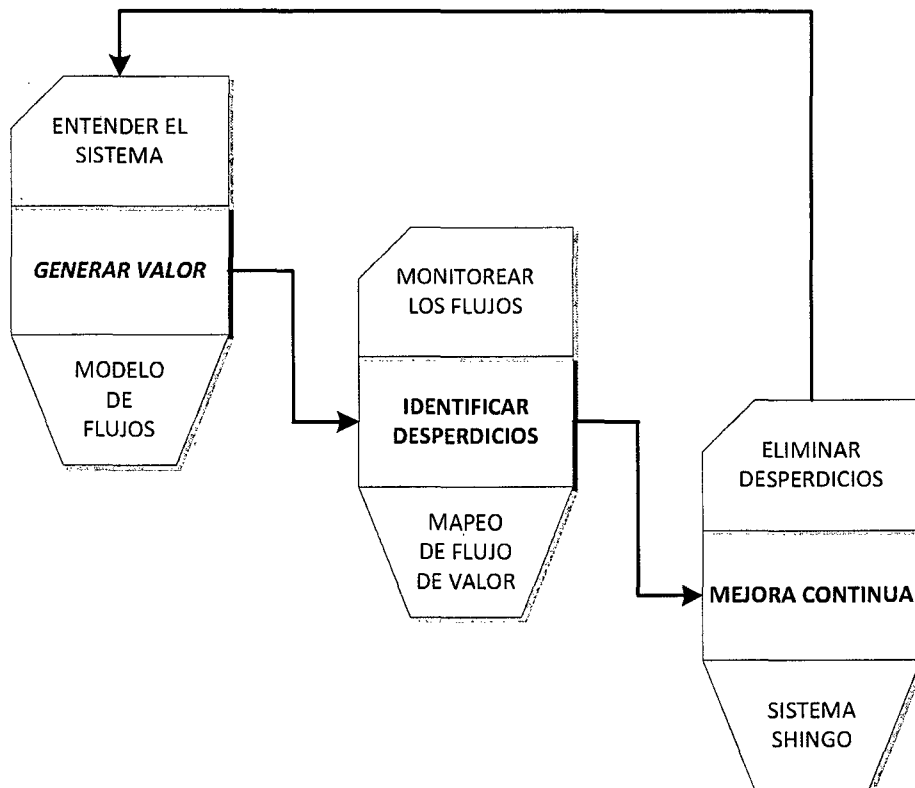
A continuación se presentará la metodología de mejora continua que se propone para el sistema de construcción con prefabricados u otros de similares características.

6.1. METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA

La metodología cuenta con tres pasos fundamentales para poder llevar a cabo una mejora en el sistema de producción y tener éxito en su implementación.

Figura 6.1. Esquema de Metodología de Mejora Continua

METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA



ENTENDER: Conocer el sistema e identificar los flujos – Generar Valor

Lo primero que se debe hacer antes de realizar cualquier acción en una construcción es conocer, entender e identificar el sistema que se crea para cumplir con los objetivos del proyecto.

La metodología sugiere que se realice un modelo conceptual del sistema de producción de la construcción basándose en los modelos de flujos.

En el capítulo III se identificó que en los proyectos de construcción se encuentran cinco tipos de flujo: Flujo de objetos (también conocido como Flujo de Producción Principal - Procesos), Flujo de sujetos (Operaciones), Flujo de comunicaciones, Flujo de abastecimiento (Logística) y Flujo de Apoyo (Flujo de objetos de apoyo al Flujo de Producción Principal). Todos estos flujos interactúan en un medio físico conocido como Lay Out (Distribución) de obra, y además estos flujos son administrados y conectan al Cliente, Contratista, Subcontratistas, Proveedores, Proyectistas y Supervisión.

MONITOREAR: Sistema transparente y diagnóstico del flujo – Identificar desperdicios

Luego de haber comprendido el sistema de construcción al cual vamos a enfrentar debemos trasladarlo a una plataforma que nos permita visualizar el sistema, haciéndolo transparente para todos los equipos del proyecto e involucrados, y además contar con un diagnóstico del modelo de flujos.

Para ello en el capítulo IV se desarrolló la teoría y aplicación en la construcción de la herramienta Lean denominada Mapeo de Flujo de Valor (VSM), el cual permitirá llevar el modelo de flujos a un modelo gráfico con mayor precisión y convirtiéndose en un tablero de control de los flujos. Esta herramienta cumple con los requisitos de contar con un sistema transparente y monitoreo continuo de los flujos.

MEJORAR: Eliminar Desperdicios – Mejora Continua

El fin de la metodología es poder realizar mejoras significativas para el sistema de producción y que tengan un impacto holístico dentro del mismo. Para cumplir con este objetivo es necesario cumplir con los dos pasos previos, los cuales son: entender el sistema donde se va a realizar la mejora y tener un sistema transparente y monitoreado.

Como se requiere de mejoras integrales se necesita contar con un sistema de mejora continua global, por lo que, el sistema de mejora de Shingo adaptado a la construcción descrito en el Capítulo V, posee las características necesarias: Visión holística, identificación profunda del desperdicio, fomento de la creatividad para mejoras, evaluación integral para la elección de la mejora incluido el aspecto económico, y recomendaciones para una implementación exitosa.

6.2. RECOMENDACIONES PARA EL USO DE LA METODOLOGÍA

La metodología de mejora continua que se presenta se implementa en proyectos de construcción con elementos prefabricados pero para posibles aplicaciones en proyectos similares u otros, se detalla algunas sugerencias importantes a considerar.

Del modelo de flujos

- Debe ser aplicado a proyectos de edificaciones de viviendas, oficinas e industriales que cuenten con un frente de trabajo o más pero similares. Para proyectos complejos -por las especialidades que participan o por extensión- se debe crear modelos de flujos por frente de trabajo.
- El modelo de flujos permite identificar un flujo crítico (o flujo principal), que suelen ser el flujo de objetos y el flujo de sujetos dependiendo cuál de ellos se quiere analizar. Se recomienda que para la metodología se considere al flujo de objetos – Flujo de Producción Principal – como el flujo crítico. Esto permitirá el uso de la herramienta del VSM.

Del Mapeo de Flujo de Valor (VSM)

- La herramienta del Mapeo de Flujo de Valor fue creada para el sector de manufactura por lo que su adaptación a la construcción cuenta con variaciones y elementos añadidos.
- El VSM funciona muy bien cuando se realizan tareas repetitivas y uniformes por lo que no se podría usar - salvo variaciones que no son parte de esta tesis – en todos los tipos de proyectos de construcción. Se halló aplicación en proyectos de vivienda social masiva uniformes y proyectos de construcción con prefabricados, como pueden ser: edificaciones de viviendas, naves industriales, o puentes entre otros.

Del Sistema de Mejora Continua Shingo

- El Sistema de Mejora Continua Shingo cuenta con variadas herramientas que permiten llegar al objetivo de la mejora con impacto en el sistema, pero no serían exclusivamente las únicas, por lo que cabe la posibilidad de usar técnicas o herramientas que no se presenten pero que ayudan a los objetivos de cada etapa del sistema.
- Este sistema de mejora puede ser utilizado de manera aislada sin necesidad de cubrir los pasos previos de esta metodología, por lo que su aplicación en cualquier tipo de proyecto de construcción debería tener éxito.
- El sistema de mejora continua se recomienda realizarlo con un equipo de trabajo conformado con personas propias del proyecto, con experiencia, mente abierta y creativa.

6.3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE MEJORA CONTINUA

La aplicación de la metodología propuesta se realizó en proyectos que se caracterizan por sus procesos constructivos con prefabricados. Se realizó seguimiento de su cadena de valor a partir del proveedor hasta la colocación del elemento prefabricado en su ubicación final. Para la aplicación cuenta con el modelamiento de flujos, el modelamiento en el VSM y la mejora del flujo del valor del proyecto de modo virtual. Para cada uno de los proyectos se realizó: (1) Modelo de Flujos, (2) Modelamiento en VSM y (3) Mejora del flujo de valor virtual (propuestas de mejora con resultados virtuales).

6.3.1. Proyecto “Patio Taller del Tren Eléctrico”

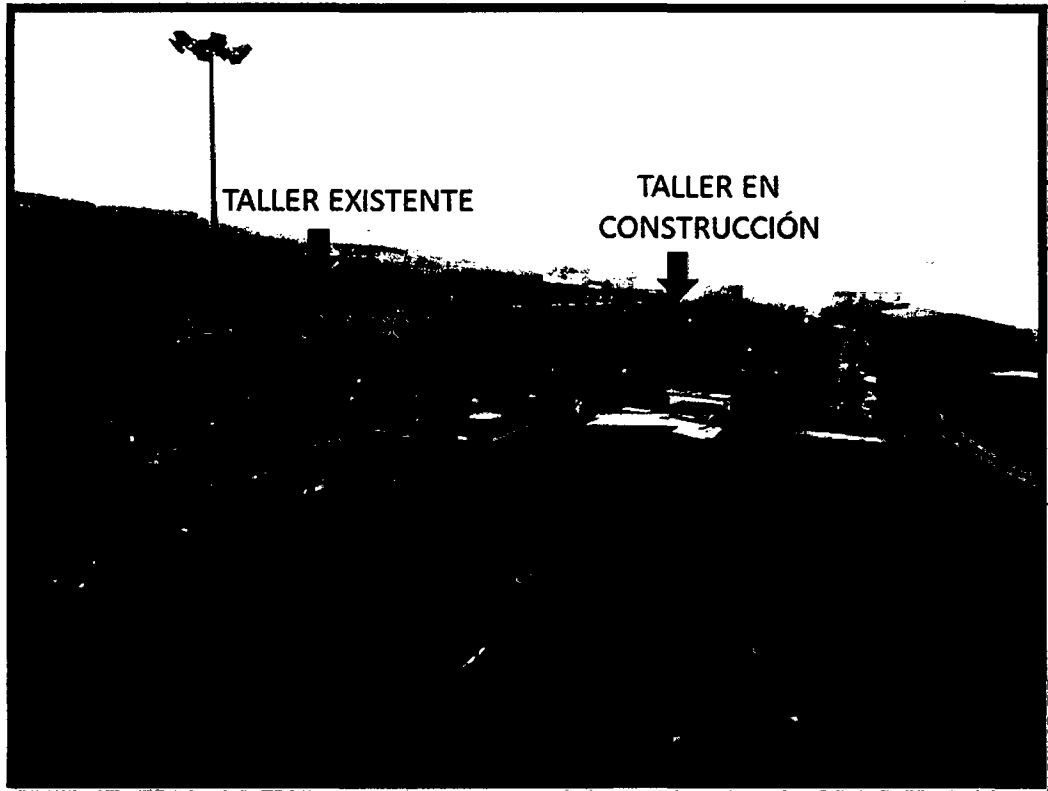
Tipo de proyecto: Taller de Mantenimiento y Reparación del Tren Eléctrico – Obra Civil

Contratista General: GyM

Cliente: Concar

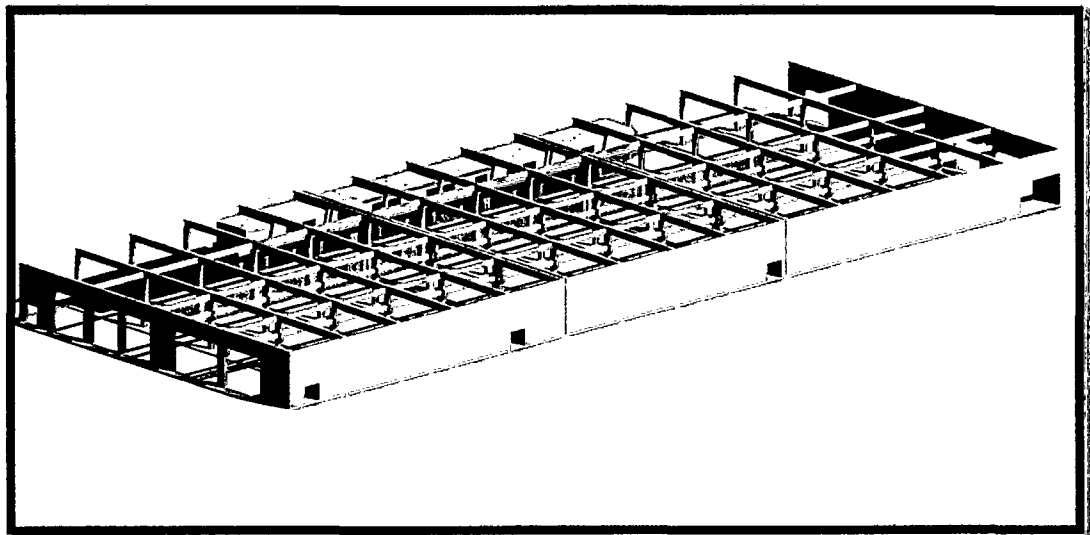
Descripción: El propósito del proyecto es ampliar el taller para el mantenimiento y reparación de los trenes de la Línea 1. La forma y tamaño del nuevo taller debe ser similar a la del taller existente pero con un ambiente moderno. Los elementos verticales fueron construidos de manera tradicional con encofrado y vaciado de concreto in situ. Los elementos horizontales (vigas) al principio fueron diseñadas para construirse in situ pero por características del proyecto y experiencia del gerente de obra se decidió cambiar el proceso constructivo in situ por un proceso constructivo con prefabricados. Debido a ello fue necesario un cambio de ingeniería de las vigas, así mismo los muros perimetrales también fueron realizados con elementos prefabricados. Los elementos prefabricados se realizaban en un ambiente adyacente al taller logrando que la manipulación y transporte se realice sin restricciones de horario y permisos. Para el techo se utilizaron coberturas metálicas las mismas que fueron armadas en suelo firme para luego ser montadas con la ayuda de una grúa. Se hizo uso de la tecnología BIM para el modelamiento y compatibilización de la estructura e instalaciones.

Figura 6.2. Foto con la distribución del Proyecto Patio Taller



Fuente: Proyecto Patio Taller

Figura 6.3. Modelado 3D del Taller



Fuente: Proyecto Patio Taller

(1) Modelo de Flujos

Es proyecto se compone por: Cliente, Oficina Técnica, Ingenieros de Campo, Sub-contratistas y proveedores.

En esta representación del modelo de flujos podemos encontrar los cinco tipos de flujos (Flujo de información, Flujo de abastecimientos, Flujo de Objetos, Flujo de Sujetos y el Flujo de Apoyo).

El Flujo de Apoyo es la fabricación de vigas pre-armadas que se realizan en el taller de acero para luego ser transportadas a la planta de prefabricados en obra de las vigas prefabricadas. Luego las vigas prefabricadas son montadas en la obra que esta adyacente a la planta.

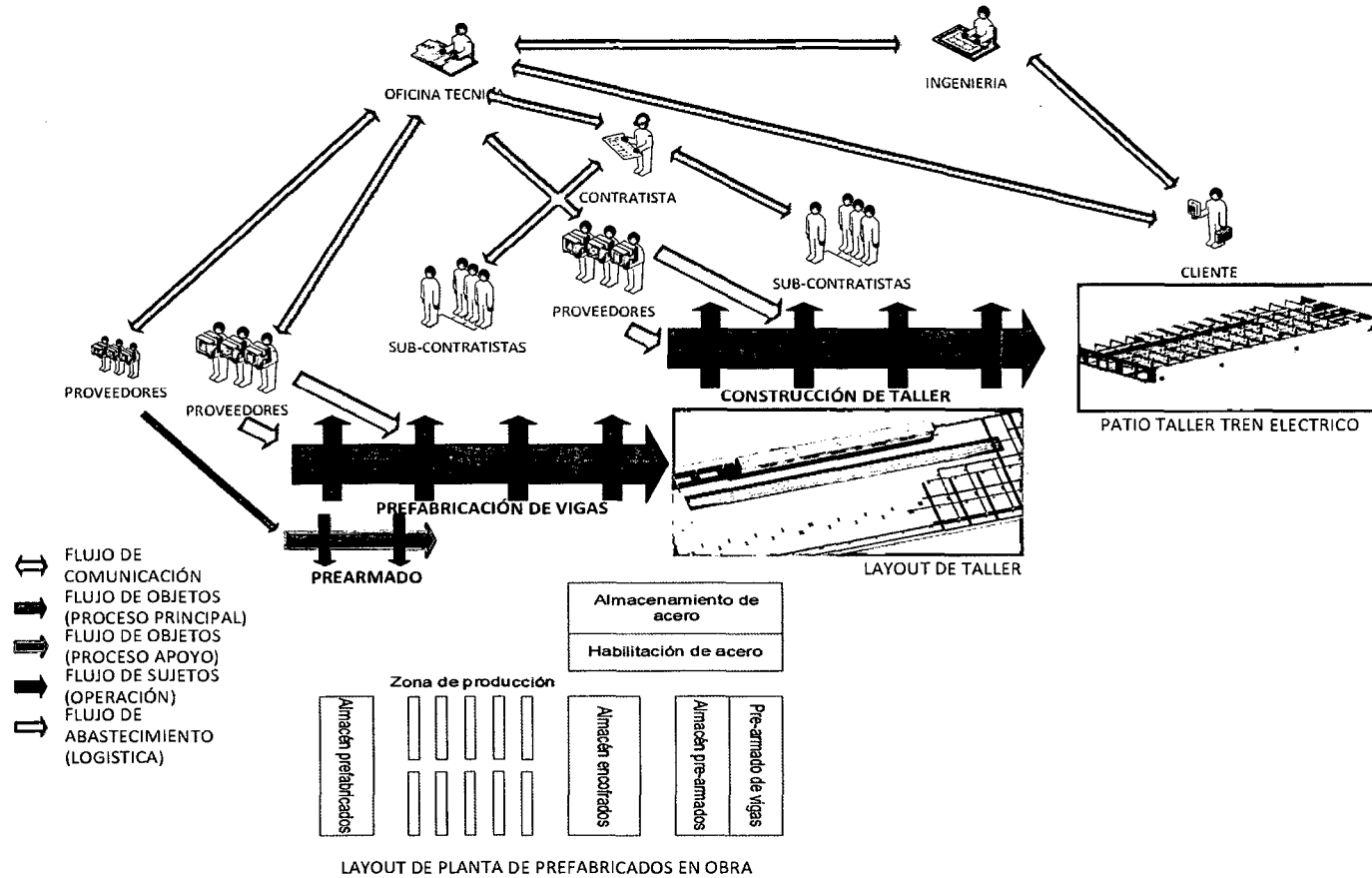
El punto de concurrencia del flujo de información es la oficina técnica de la obra que realiza las compras, la programación de la producción y los contratos con los subcontratistas. La supervisión de los subcontratistas lo realizan los ingenieros de campo.

(2) Mapa de Flujo de Valor

Para elaborar el Mapa de Flujo de Valor del Proyecto Patio Taller se escogió a las vigas carrileras por ser prefabricadas y porque su proceso constructivo fue claramente identificado en campo.

El Mapa de Flujo de Valor de la vigas carrileras se dividió en tres: (1) Flujo de Apoyo donde se arma la viga pre-armada; (2) Flujo de Objetos donde se fabrica las vigas prefabricadas; y (3) Flujo de Objetos en donde se realiza el montaje de las vigas carrileras.

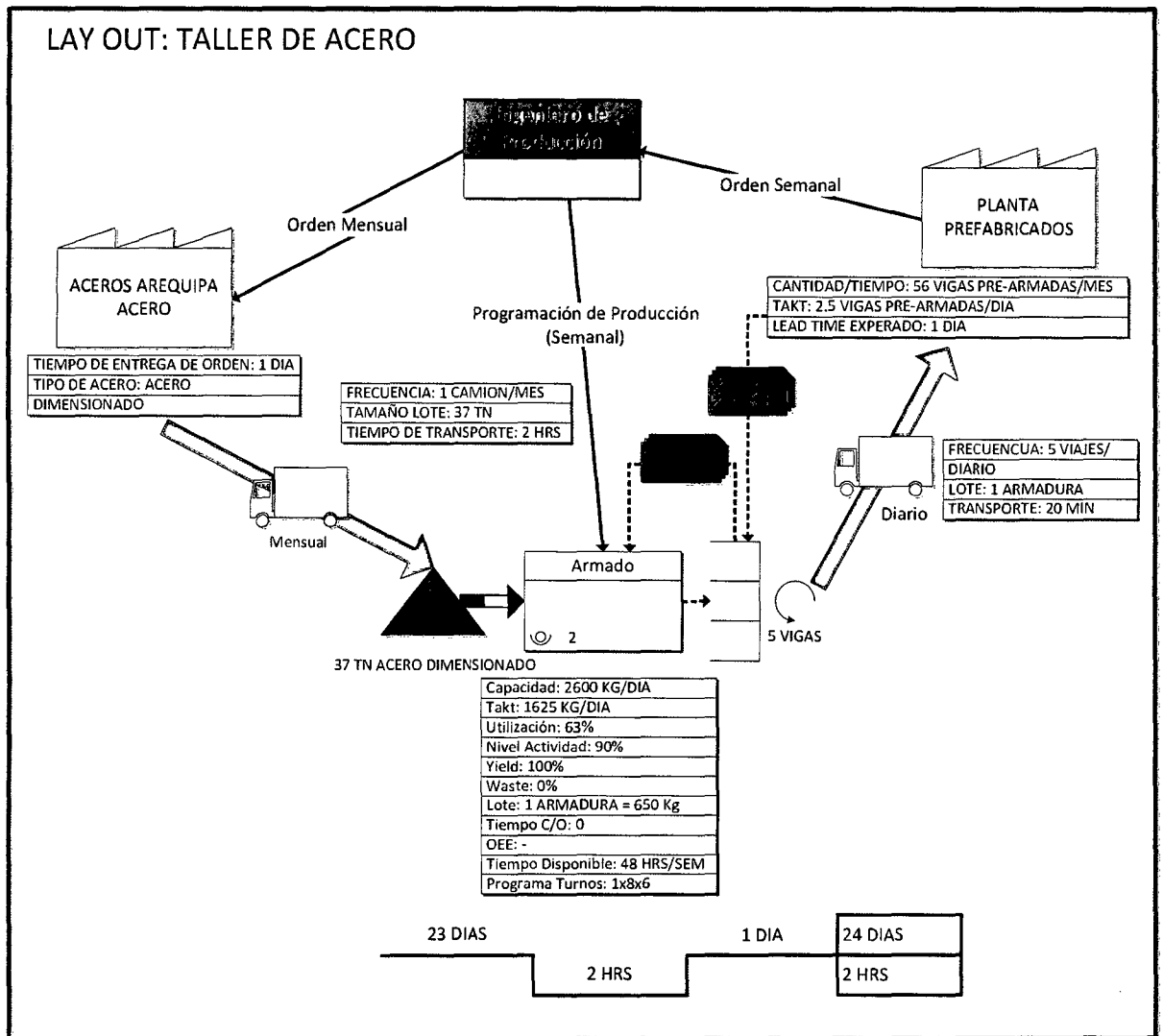
Figura 6.4. Modelo de Flujos Proyecto Patio Taller de Tren Eléctrico



(3) Mejora del Flujo de Producción

La mejora del flujo de producción ataca los procesos que no agregan valor y se reducen los tiempos que no agregan valor que está influenciado principalmente por el stock del trabajo en proceso.

Figura 6.8. VSM MEJORADO del Flujo de Apoyo - Prearmado de viga de acero – PATIO TALLER



6.3.2. Proyecto “Tren Eléctrico – Línea 1 – Tramo 2”

Tipo de proyecto: Vías del Tren Eléctrico – Obra Civil

Contratista General: Consorcio Odebrecht - GyM

Cliente: PE Tren Eléctrico

Descripción: El proyecto es construir los rieles aéreos por donde pasará el tren eléctrico. Estos rieles están apoyados entre pilares de gran esbeltez. La construcción de la superestructura está compuesto por elementos prefabricados como son las vigas y las losas. Los elementos prefabricados de concreto se fabrican en una planta de prefabricados que tiene dos (2) líneas de producción con una capacidad de doce (12) vigas diarias. La planta de prefabricados está bien equipada con dos (2) grúas pórticos y planta de concreto premezclado. La vigas al finalizar su fabricación son almacenadas en la misma planta para luego ser transportadas en horas de la noche madrugada hacia el frente por construir, y ser montadas con ayuda de grúas de celosía.

(1) Modelo de Flujos

Es proyecto se compone por: Cliente, Oficina Técnica, Ingenieros de Campo, y proveedores.

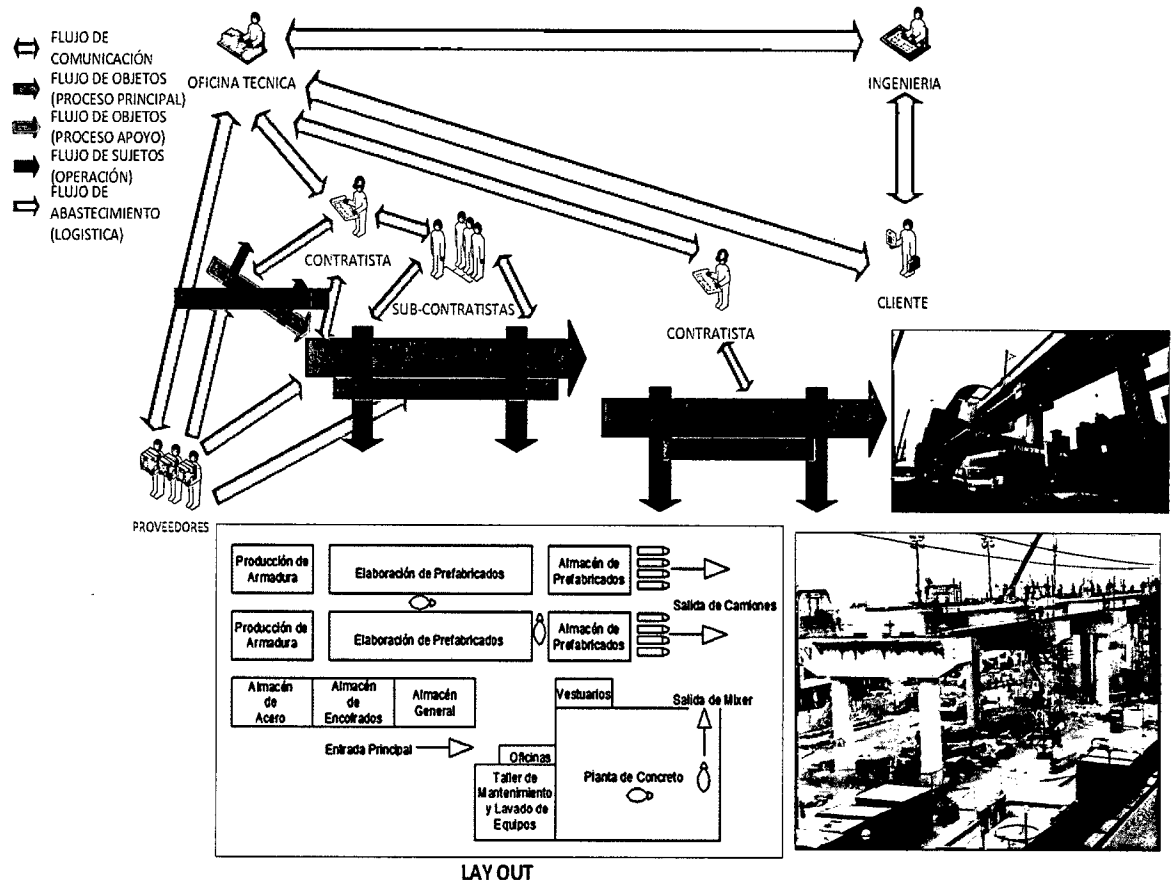
En esta representación del modelo de flujos podemos encontrar los cinco tipos de flujos (Flujo de información, Flujo de abastecimientos, Flujo de Objetos, Flujo de Sujetos y el Flujo de Apoyo).

El Proyecto del Tren Eléctrico tiene dos áreas donde se desarrolla: la primera es la planta de prefabricados donde también se ubica la planta de premezclado exclusiva para este proyecto; y la segunda son los frentes de avance donde se realiza el montado de las vigas prefabricadas.

A diferencia del Proyecto del Patio Taller en este no se pre-arman las vigas por ser de gran longitud, se instalan in situ, pero si cuenta con una planta de concreto premezclado que los abastece continuamente.

El punto de concurrencia del flujo de información es la oficina técnica de la obra que realiza las compras y programación de la producción.

Figura 6.11: Modelo de Flujos Proyecto Línea 1 – Tramo 2 - Tren Eléctrico



(2) Mapa de Flujo de Valor

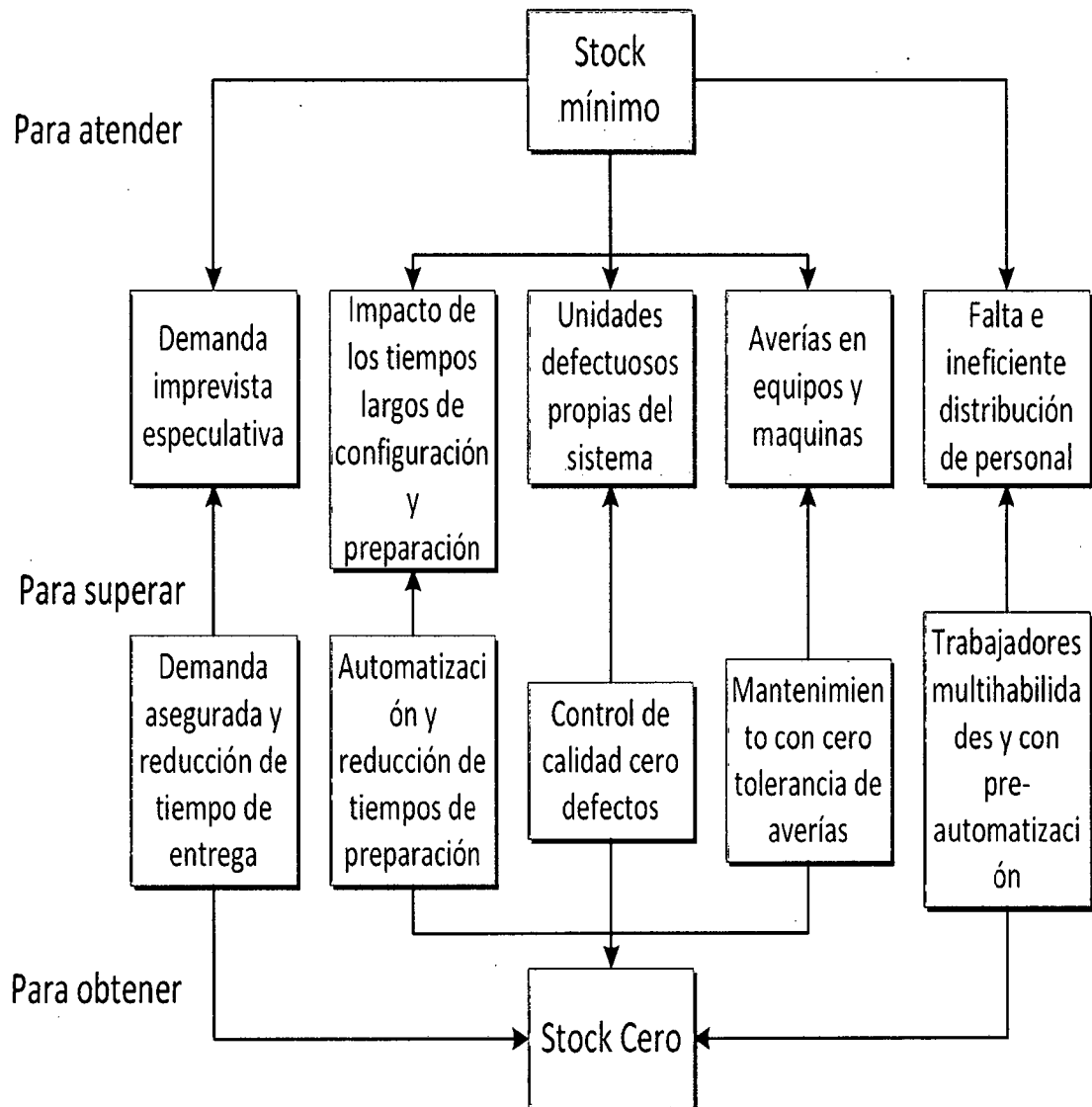
Para elaborar el Mapa de Flujo de Valor del Proyecto Patio Taller se escogió a las vigas por ser prefabricadas y porque su proceso constructivo fue claramente identificado en campo, además que ya tiene una línea producción establecida.

El Mapa de Flujo de Valor de las vigas se dividió en tres: (1) Flujo de Apoyo donde se produce el concreto premezclado; (2) Flujo de Objetos donde se fabrica las vigas prefabricadas; y (3) Flujo de Objetos en donde se realiza el montaje de las vigas en los frentes de avance.

6.3.3. Análisis del Stock en el sistema de producción

El stock es el principal problema en los sistemas de producción por lo que su análisis es necesario para saber si otros factores causan el stock y como se puede eliminar el mismo.

Figura 6.18. Mapa de conceptos para el análisis del Stock Mínimo



6.3.3.1 Herramientas para el análisis

Tabla 6.1. Los 5W + 1H para los conceptos

	¿Qué?	¿Quién?	¿Dónde?	¿Cuándo?	¿Por qué?	¿Cómo?
Demanda imprevista	Incremento imprevisto de la demanda	Necesidad del mercado o cliente insatisfecho	En el área de mercadeo y ventas	Periodo pico al año	Desconocimiento de capacidad	Reducción lead time
Preparación larga	Se mantiene la misma tecnología	Responsable de la investigación y tecnología	Área de producción	Periodo de obsolescencia	Dependencia de mano de obra	Reducción de tiempos de preparación y automatización
Unidades defectuosas	Control estadístico de calidad	Unidad de calidad y control	A lo largo de la línea de producción	Al concluir el producto	Excesiva confianza en la muestra	Control cero defectos
Averías en equipos	Fallas mecánicas y fallas en uso	No se reportan a tiempo las fallas	Área de mantenimiento	Obsolescencia de los equipos	Diseño que permite fallas de operación	Sistema de mantenimiento que no permita averías
Falta de personal	Ausencia de trabajo	Personal muy especializado	Área de producción	Escasa automatización	Dependencia de personal	Trabajador multi-habilidades y Pre-automatización

Tabla 6.2. Los 5 porqués para el concepto de demanda imprevista

¿Por qué hay demanda imprevista?	Por falta de previsión
¿Por qué hay falta de previsión?	Por una visión de corto plazo
¿Por qué hay una visión de corto plazo?	Por falta de perspectiva empresarial
¿Por qué falta de perspectiva empresarial?	Falta de investigación y desarrollo
¿Por qué hay falta de investigación y desarrollo?	Por resolver el problema de la forma aparentemente más fácil: utilizar stock

CONCLUSIONES

- La construcción es la “industria” que resuelve sus problemas de producción como en el pasado, razonablemente bien. Se deja pasar la oportunidad de aplicar el desarrollo tecnológico de otras industrias para dar soluciones a problemas de los proyectos que permitan manejar eficientemente los recursos.
- La filosofía Shigeo Shingo tiene conceptos, principios, sistemas, técnicas y herramientas que han sido aplicados tanto en la industria automotriz como en el sector salud con total éxito.
- La filosofía Shigeo Shingo considera que el éxito de una empresa o proyecto es garantizar la calidad del producto o servicio, productividad, rentabilidad, y respeto al trabajador. Si no se cumpliera uno de los indicadores no se podría garantizar que se está aplicando la filosofía Shingo.
- La aplicación de la filosofía Lean en construcción es parcial porque solo se usa la herramienta de programación Last Planner, cuando realmente es la combinación de una transformación de la cultura organizacional, un ambiente y lenguaje Lean, y aplicación de herramientas Lean.
- La implementación de la mejora continua en una cultura diferente a la japonesa debe pretender adoptar los principios fundamentales Lean: Eliminar todo tipo de desperdicio, Generar valor para el cliente, Mejora Continua buscando la perfección, y Respeto por el trabajador.
- La construcción es un sistema, por lo tanto, el análisis de la construcción debe partir de estudiar el sistema de construcción, conocerlo y entenderlo. Este estudio permite tener una visión clara del funcionamiento, actores, variaciones, relaciones, entre otros componentes del sistema, obteniendo análisis holístico donde los cambios que se propongan impacten en todo el sistema.
- La construcción es un sistema complejo, no lineal y dinámico, y debe ser

comprendido como tal. Esto se debe a que cada proyecto de construcción es único, la interrelación de sus componentes sale de los límites del sistema, y existe un alto nivel de variabilidad.

- La construcción representada en el modelo de flujos pretende involucrar la complejidad y variabilidad para la gestión de construcción. Analizar un fenómeno en su forma compleja permite obtener resultados o respuestas confiables, con el mismo criterio se cree que analizando la construcción de esta forma se podría mejorar tanto en la operación, como en los procesos, programación, tecnología, entre otras.
- Los procesos constructivos con elementos prefabricados tienen beneficios en costo, tiempo, seguridad, calidad, productividad, entre otros. A pesar de que los beneficios de los prefabricados y el nivel de utilización en el Perú aún son bajos, se usan principalmente en proyectos de gran envergadura (Patio Taller del Tren Eléctrico, y Carriles del Tren Eléctrico). La difusión de los beneficios y casos exitosos del uso de prefabricados en el país podría dar pie a que sean utilizados en mayor número de proyectos
- La tecnología para la fabricación, transporte y montaje de prefabricados de concreto de grandes elementos en tamaño y peso existe en el Perú. El proyecto del Tren Eléctrico muestra un proceso constructivo con prefabricados de concreto de alto nivel, con una planta de prefabricados muy bien implementada, sistemas de transporte con camiones especializados y equipo de montaje con los requerimientos necesarios para la manipulación de los elementos prefabricados.
- Los mayores problemas encontrados para el uso de prefabricados son las conexiones. La fabricación del elemento en un lugar diferente a su ubicación final es ventajosa, pero el montaje de este elemento se complica por la variabilidad de los componentes, o mal diseño de sus conexiones. El punto crítico del proceso de construcción con prefabricados es el montaje, que está supeditado al tipo de conexiones que se diseña.
- El curado de elementos de concreto, es tal vez, la actividad que mayor

tiempo consume en el flujo de valor de la construcción de los elementos in situ. Esto no pasa con los prefabricados, más bien, es la actividad que lo diferencia del proceso in situ, porque con tecnología en fábrica pueden reducir el tiempo de curado, mejorar la calidad del mismo, y garantizar la resistencia del concreto.

- El Mapeo de Flujo de Valor es una técnica muy valiosa que poco a poco se está usando más en la construcción. Aunque tiene sus limitaciones es fácilmente adaptada a construcción como se presenta en esta investigación.
- El valor –concepto fundamental Lean- no solo debe ser señalado desde la perspectiva del cliente final sino también incluir a todos los que están involucrados, clientes internos, proveedores, usuarios y sociedad.
- El Mapa de Flujo de Valor es el modelo cuantitativo del Modelo de Flujos propuesto. Los flujos componentes del modelo de flujos se aprecian claramente en el Mapa de Flujo de Valor, lo que fundamenta la afirmación anterior.
- El Mapa de Flujo de Valor es un principio fundamental Lean porque permite tener un sistema de producción transparente, además de monitorear el flujo de producción para eliminar desperdicios y encontrar oportunidades de mejora.
- En el Proyecto del Patio Taller se elaboraron tres Mapas de Flujo de Valor, porque todo el proceso se realizaba en tres espacios distintos (Zona de pre-armado de vigas, Zona de producción de vigas prefabricadas, y la edificación donde se montaban las vigas).
- En el VSM de la zona de pre-armado se encuentran dos procesos, uno de ellos es el habilitado que puede ser eliminado si opta por usar acero dimensionado, con este cambio los trabajadores solo se dedicarían al armado de vigas. También, por tener una producción mayor a la de la zona de prefabricación puede usarse el sistema kanban, lo que evitaría tener gran cantidad de armaduras almacenadas y fierro oxidándose, ya que solo se hace lo que se tiene programado fabricar en la zona de

prefabricados.

- El VSM de la zona de prefabricada muestra 8 procesos, en cada uno de ellos se genera almacenamiento. Se propone utilizar el sistema FIFO (Primero Que Entra, Primero Que Sale) considerando al proceso de concreto de viga como el proceso crítico porque el espacio y las líneas de producción que se tiene están limitados a 5 vigas por lote. Con esto se evita que los procesos anteriores al de concreto de viga puedan generar gran cantidad de sub-productos almacenados. Los procesos posteriores al concreto como el curado y desencofrado pueden realizarse como un flujo de pieza única, esto no produce stock entre procesos.
- En el VSM del montaje de las vigas, en la edificación, se observa un flujo intermitente, porque las vigas que se fijan no suelen estar en secuencia para poder realizar la conexión a través del nudo. Se sugiere realizar el montaje en vigas consecutivas para que la construcción del nudo no esté paralizada.
- Para el Proyecto del Tren Eléctrico se elaboraron tres (3) Mapas de Flujo de Valor, siendo el primero el VSM de la Planta de premezclados administrada por el proveedor UNICON, el segundo VSM es el flujo de toda la línea de producción de las vigas prefabricadas post-tensadas, y el tercero es el flujo de montaje en los pilares del Tren Eléctrico.
- Los flujos de producción analizados en el Proyecto del Tren Eléctrico – Línea 1 – Tramo 2 se encuentran optimizados, esto debido a que se cuenta con la experiencia del tramo Línea 1 – Tramo 1.
- A pesar de tener un flujo de producción continuo, el stock de vigas prefabricadas en la zona de entrega es alto, la misma que abarca casi 10%, en el área de toda la línea de producción. Se debería sincronizar mejor el flujo de producción con el flujo de montaje, el sistema kanban podría brindar beneficios en este caso.
- El Flujo de Objetos (Proceso) y el Flujo de Sujetos (Operaciones) no pueden ser analizados de la misma manera, tampoco se puede aplicar las mismas herramientas de optimización, porque tienen diferentes

objetivos y áreas de actividad. Para mejorar el flujo de objetos se tiene que analizar todo el flujo de valor, mientras que para el flujo de sujetos se tiene que analizar el comportamiento del trabajador y máquinas.

- La mejora debe atacar primero a los PROCESOS antes que la mejora de OPERACIONES. Debido a que los diferentes tipos de desperdicios impactan notoriamente en los PROCESOS (o FLUJO DE OBJETOS), lo que se traduce en paralizaciones en el flujo, re-trabajos, generación de stock, entre otros.
- El sistema de mejora Shingo es una guía para optimizar el sistema de producción de manera cualitativa y cuantitativa. De manera cualitativa porque primero realiza una visión holística del sistema y un cuestionamiento continuo al status quo del sistema. De manera cuantitativa porque fundamenta sus decisiones en mediciones reales e indicadores.
- La Metodología del Estudio de Trabajo ampliamente utilizada para la mejora de procesos en construcción. Esta metodología ha sido mal interpretada y aplicada. La forma de aplicación errónea ocurre cuando primero se realiza la medición de tiempos (Tiempos productivos, Tiempo Contributarios y Tiempos No Contributarios) para luego ir a la estandarización del proceso, lo correcto es estandarizar los procesos y controlarlos a través de la medición de tiempos. El sistema de mejora continua Shingo utiliza el Estudio del Trabajo y lo complementa con la visión holística del sistema.
- El sistema de mejora Shingo tiene cinco etapas que son específicas y secuenciales por lo que su comprensión es sencilla y su implementación es práctica.
- Se demuestra que los sistemas de producción sin stock tienen ventaja sobre los sistemas de producción tradicionales, además que el stock es la fuente de todos los desperdicios. En la construcción es posible crear sistemas de producción sin stock (stock de reposición) porque la demanda es única y se conoce al inicio del proyecto.

- Para que el Mapa de Flujo de Valor y el Sistema de Mejora Shingo puedan ser implementadas con éxito, la empresa o proyecto debe estar dispuesta a recibir una cultura de calidad y mejora continua que se aplique a todas sus áreas.
- Para la aplicación de esta metodología debe crearse círculos de mejora o de calidad donde participen trabajadores calificados de la mano de obra, ingenieros de campo y oficina técnica, todos ellos con mente abierta, dispuestos a cuestionar su trabajo y mejorarlo continuamente.

RECOMENDACIONES

- Promover una Norma Técnica Peruana que permita garantizar las buenas prácticas en los procesos constructivos con prefabricados. Se usan normas europeas y norteamericanas.
- El uso de la tecnología BIM para la modelación y simulación de proyectos de construcción con elementos prefabricados tendría mayor confiabilidad y utilización para la programación del proyecto porque cada elemento es un objeto, unidad básica en BIM.
- Se sugiere crear círculos de mejora o calidad de manera voluntaria con una jerarquía horizontal para la identificación y generación de ideas de mejora.
- El uso de los indicadores de maquinaria pesada - como Tiempo Medio Entre Fallas (MTBF), Tiempo Medio Para Reparar (MTTR), y Confiabilidad de Equipo - es importante para el análisis de los procesos de construcción. En la programación de obra no se suele considerar la confiabilidad de la maquinaria pesada y equipos, omitiendo tiempos de espera por mantenimiento de maquinaria o frecuencia de averías.
- El uso de las estadísticas en la medición y cálculo de los tiempos de ciclo e indicadores en general darían una mejor comprensión de la variabilidad en los flujos de procesos y operaciones.
- En el Mapa de Flujo de Valor no se recomienda usar ratios de producción como hh-kg para acero o hh-m² para encofrados porque un proceso no es personal sino por cuadrillas. Lo que sería recomendable es usar capacidades por dimensionamiento de cuadrilla y no por trabajador. Cada proceso en el Mapa de Flujo de Valor representa la transformación de insumos, dicha transformación la realiza una máquina o una cuadrilla de trabajadores. La máquina tiene una capacidad y la cuadrilla también, no se puede fraccionar la cuadrilla en trabajadores y proporcionalmente la capacidad debido a que no es lineal.

- Los indicadores que se consideran para controlar los procesos no ayudan porque muchos de los elementos no son construidos como los indicadores lo describen y lo hacen muy variable. Caso del acero y encofrados. Ejemplo, el habilitado y colocación de acero de una columna con varillas de acero de 1" de diámetro y estribos de 1/2" de diámetro se realiza casi en el mismo tiempo, con la misma cantidad de componentes de acero, que una columna con varillas de acero de 5/8" de diámetro y estribos de 3/8" de diámetro. Por lo tanto, Kilogramo/H-H no es un buen indicador de productividad, tal vez, el de Estribos/H-H podría mejorar este indicador y hacerlo menos variable.
- Se recomienda tener reuniones semanales donde no solo se evalúen las causas de no cumplimiento de las actividades si no también oportunidades de mejora que se observaron en la semana. Esto sería más valioso porque eliminaríamos posibles causas de problemas.
- Se debe diseñar la capacidad de los sistemas de construcción antes de ejecutar la obra, y no basarse en los rendimientos de presupuestos para realizar la programación, cálculo de cuadrillas, y requerimientos de materiales. Conocer la capacidad de los procesos permitirá elaborar un flujo de valor con mayor confiabilidad.
- Se espera que al igual que se mide los niveles de actividad de los trabajadores, también se pueda medir los niveles de los flujos. Se recomienda que se realice investigaciones sobre la medición de los flujos.
- En la actualidad la gestión de proyectos se rige a la gestión de subcontratos, sería importante determinar qué impacto tiene la gestión por subcontratos en el flujo de producción comparándolo con un flujo de producción de un solo contratista.
- Se recomiendo usar el software VISIO de Microsoft para realizar el diagrama grafico del Mapa de Flujo de Valor.

BIBLIOGRAFÍA

1. Baccari, D. (1996). The concept of project complexity - a review. *International Journal of Project Management*, 201-204.
2. Baker, S. (2004). *Critical Path Method*. Columbia: University of South Carolina.
3. Ballard, H. G. (2000). *The last planner system of production control*. Birmingham-UK: The University of Birmingham.
4. Ballard, G. (2008). *The Lean Project Delivery System: An Update*.
5. Ballard, G., Tommeleint, I., Koskela, L., & Howell, G. (2002). Lean construction tools and techniques. En *In Design and Construction: Building in Value* (págs. 227-255). Oxford.
6. Ballard, G., & Arbulu, R. (2004). Making prefabrication lean. *11th Annual Conference of International Group for Lean Construction*. Helsingor.
7. Bertelsen, S. (2002). Complexity - Construction in a new perspective. *11th Annual Conference of International Group for Lean Construction*. Gramado.
8. Bertelsen, S. (2003). Construcción as a complex system. *12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Virginia.
9. Bertelsen, S., Henrich, G., Koskela, L., & Rooke, J. (2007). Construction physics. *15th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Michigan.
10. Botero, L. F. (2004). *Construcción sin pérdidas: Análisis de procesos y filosofía Lean Construction*. Colombia: Legis.
11. Cabrera Calva, R. (24 de Diciembre de 2011). *VSM Value Stream Mapping Análisis del Mapeo de la Cadena de Valor*. Recuperado el 28 de Mayo de 2013, de <http://dspace.universia.net/bitstream/2024/1154/1/VSM+VALUE+STREAM+M>

APPING+ANALISIS+DEL+MAPEO+DE+LA+CADENA+DE+VALOR+-
+copia.pdf

12. Cornish, J. (2008). *A brief history of project scheduling*. Reino Unido: Micro Planning International.
13. Deming, W. E. (1982). *Calidad, productividad y competitividad: La salida de la crisis*. Cambridge, EE.UU.: The MIT Press.
14. Dos Santos, A., & Powell, J. (1999). Potential of Poka-Yoke devices to reduce variability in construction. *7th Annual Conference of International Group for Lean Construction*. Berkeley.
15. Edmons, B. (1999). *What is complexity? The philosophy of complexity per se with application to some examples in evolution*. Netherlands: Kluwer Academy Publishers.
16. Ghio Castillo, V. (2001). *Productividad en obras de construcción: Diagnóstico, crítica y propuesta*. Lima: Fondo Editorial de la Pontificie Universidad Católica del Perú.
17. Ghio Castillo, V., Bascuñan W., R., De Solminihac T., H., & Serpell Bley, A. (1998). *Guía para la innovación tecnológica en la construcción* (Segunda ed.). (V. Ghio Castillo, Ed.) Santiago de Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile.
18. Gilbreth, F. (1909). *Bricklaying System*. Nueva York, EE.UU.: The Myron C. Clark Publishing Co.
19. González, V., & Alarcón, L. F. (2003). *Buffers de programación: una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción*. Santiago: GEPUC.
20. Hernández Cárdenas, G. (2005). *Teoría General de Sistemas y Sistemas de Manejo*. Iztapalapa: Universidad Autónoma Metropolitana.
21. Hopp, W., & Spearman, M. (1995). *Factory Physics: Foundations of Manufacturing Management* (Segunda ed.). McGraw-Hill Higher Education.

22. Imai, M. (1998). *KAIZEN: La clave de la ventaja competitiva japonesa*. Mexico: Compañía Editorial Continental.
23. Instituto del Cemento Portland Argentino. (s.f.). *Curado del hormigón*. Recuperado el 15 de Mayo de 2013, de Sitio web de ICPA: http://www.icpa.org.ar/publico/files/curado_del_hormigon.pdf
24. Irish Precast Concrete Association. (s.f.). *Precast Concrete: Frames Guide*. Irlanda.
25. Jon M. Huntsman School of Business. (2012). *The Shingo Prize for Operational Excellence: Model & application guidelines*. Logan, Utah, EE.UU.: Utah State University.
26. Khaswala, Z., & Irani, S. (2011). Value Network Mapping (VNM): Visualization and Analysis of Multiple Flows in Value Stream Maps. *Lean Management Solutions Conference*. St. Louis, MO.
27. Koskela, L. (1992). Technical Report #72: Application of the new production philosophy to construction. California: Center for Integrated Facility Engineering.
28. Koskela, L. (1999). Management of production in construction: A theoretical view. *7th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Berkeley.
29. Koskela, L. (2000). An exploring towards a production theory and its application to construction. Espoo: VVT Technical Research Centre of Finland.
30. Koskela, L., Rooke, J., Bertelsen, S., & Henrich, G. (2007). The TFV theory of production: new developments. *15th Annual Conference of International Group for Lean Construction*. Michigan.
31. Liker, J. (2004). *The Toyota Way*. EE.UU.: McGraw-Hill.
32. Lucas, C. (25 de Abril de 2013). *The philosophy of complexity*. Obtenido de CALResCo Complexity Writings: <http://www.calresco.org/lucas/philos.htm>

33. Mary, W. (1988). *Cómo administrar con el método deming*. Colombia: Grupo Editorial Norma.
34. Ministerio de Vivienda. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
35. Nassar, K., & Hegab, M. (2006). Developing a complexity measure for project schedules. *Journal of Construction Engineering and Management*, 132(6).
36. Navarro Hayashida, J. (2010). Mejora de la productividad en edificaciones mediante la externalización de procesos: pre-armado de vigas, columnas y placas. Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima.
37. OIT. (1996). *Introducción al estudio del trabajo* (Cuarta ed.). Ginebra: Oficina Internacional del Trabajo.
38. Pasqualini, F., & Zawislak, P. (2005). Value Stream Mapping in Construction: A case study in a Brazilian construction company. *13th Annual Conference of International Group for Lean Construction*, (págs. 117-125). Sydney.
39. Rooke, J., Sapountzis, S., Koskela, L., Codinhoto, R., & Kagioglou, M. (2010). Lean Knowledge Management: The problem of value. *18th Annual Conference of International Group for Lean Construction*, (págs. 12-21). Haifa.
40. Salvatierra-Garrido, J., Pasquire, C., & Thorpe, T. (2010). Critical review of the concept of value in lean construction theory. *18th Annual Conference of International Group for Lean Construction*, (págs. 33-41). Haifa.
41. Schroeder, R. (2004). *Administración de Operaciones: Casos y Conceptos Contemporáneos*. México: Mc Graw Hill.
42. Serpell Bley, A. (2002). *Administración de operaciones de construcción* (Segunda ed.). México: Alfaomega.
43. Shingo, S. (1987). *Producción sin stocks: el sistema Shingo para la mejora continua*. Tokyo, Japón: Japan Management Association.

44. The Concrete Centre. (2007). *Precast concrete in buildings: A guide to design and construction*. Grain Britain: British Precast.
45. Thomas, R., & Raynar, K. (Junio de 1997). Scheduled overtime and labor productivity: Quantitative analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(2).
46. Vargas, T. (30 de Abril de 2013). *De la ingeniería de la complejidad*. Obtenido de Metodología de Investigación: http://ingenieria.peru-v.com/documentos/De_la_Ingenieria_de_la_Complejidad.pdf
47. Vargas Saavedra, T. (25 de Agosto de 2010). *Sobre el valor y los requerimientos del usuario*. Recuperado el 15 de Abril de 2013, de Metodología de Investigación: http://ingenieria.peru-v.com/documentos/Sobre_el_valor_y_los_requerimientos_del_usuario.pdf