

# UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA

Estudios con Reconocimiento de Validez Oficial por Decreto Presidencial  
del 3 de abril de 1981



“USO DE LAS HERRAMIENTAS DE LEAN CONSTRUCTION:  
LAST PLANNER Y ANÁLISIS ESTRUCTURADO,  
PARA EL CUMPLIMIENTO DE FECHAS DE TÉRMINO  
EN LA CONSTRUCCIÓN”

## TESIS

Que para obtener el grado de

**MAESTRA EN INGENIERÍA CON ESPECIALIDAD EN  
ADMINISTRACIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN**

Presenta

**SARA LUZ VALENZUELA CAMACHO**

Director de la Tesis  
Mtro. Rómulo de Jesús Munguía Salazar



# DEDICATORIA

A mis padres:

Fernando Valenzuela Martínez

Margarita Camacho Fernández



# Índice general

Índice de Tablas	VII
Índice de Figuras	XIII
Introducción	1
Objetivos	3
<b>1. Marco Económico de la Construcción en México</b>	<b>5</b>
1.1. Introducción . . . . .	5
1.2. Productividad en el Sector de la Construcción . . . . .	8
<b>2. Actual Proceso de Planificación y Control en la Construcción</b>	<b>17</b>
2.1. Definiciones . . . . .	17
2.1.1. Estimación de las duraciones de las actividades . . . . .	21
2.2. Métodos Tradicionales de Planificación . . . . .	22
2.2.1. Diagrama de Gantt . . . . .	22
2.2.2. Reglas para el trazo de redes . . . . .	23
<b>3. Filosofía Lean</b>	<b>37</b>
3.1. Antecedentes históricos . . . . .	37
3.2. Definición y Principios . . . . .	40
3.2.1. Definiciones . . . . .	40

3.2.2. Principios . . . . .	41
3.3. Implementación . . . . .	43
3.4. Sistemas Pull y Pull . . . . .	45
3.5. Lean Construction . . . . .	49
<b>4. Last Planner System</b>	<b>51</b>
4.1. Introducción . . . . .	51
4.2. Programa Maestro . . . . .	52
4.3. Método de Planeación por Fases o Pull Session . . . . .	54
4.4. Revisión Plus/Delta . . . . .	54
4.5. Planificación <i>Lookahead</i> . . . . .	58
4.6. Plan de Trabajo Semanal (Weekly Work Plan) . . . . .	60
4.6.1. Criterio de Calidad . . . . .	60
4.6.2. Análisis de Restricciones . . . . .	61
4.6.3. Distribución de la carga de trabajo . . . . .	63
4.6.4. Indicadores <i>Lookahead</i> . . . . .	64
4.6.5. Razones de No Cumplimiento . . . . .	66
<b>5. Análisis Estructurado (SADT)</b>	<b>73</b>
5.1. Antecedentes históricos . . . . .	73
5.2. Alcance de la Metodología . . . . .	74
5.3. Metodología . . . . .	75
5.4. Ejemplo de Aplicación a la Construcción . . . . .	90
<b>6. Conclusiones</b>	<b>103</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>105</b>

# Índice de tablas

2.1. Ventajas y Desventajas del Diagrama de Gantt . . . . .	24
2.2. Matriz de Información del Ejemplo 1. Trazo de una Red. . . . .	25
2.3. Tabla de Actividades del Ejemplo 3 (Red de Vencimientos sucesivos)	29
2.4. Matriz de Información del Ejemplo 4. . . . .	32
2.5. Revisión de caminos posibles. . . . .	32
2.6. Matriz de Información. . . . .	34
3.1. Beneficios de Lean Construction. . . . .	50





# Índice de figuras

1.1. Productividad y Desempeño de la Industria de la Construcción en EEUU, del 1964 al año 2012. Fuente: WEF, 2016. . . . .	7
1.2. Situación de la Actividad Productiva de la Industria de la Construcción como Generador Económico en Nuestro País. Fuente: CMIC, 2013. . .	8
1.3. Evolución del Producto Interno Bruto Nacional y de la Construcción enero 2012 – octubre 2017, Variación %. Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017. . . . .	9
1.4. Presupuesto de Egresos en Inversión Física. Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción con datos del Presupuesto de Egresos de la Federación 2017 y PEF 2018. . . . .	10
1.5. PIB de la Industria de la Construcción (Enero a Octubre 2017) (Variación % real contra el mismo periodo del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017. . . . .	11
1.6. Evolución de la Actividad Productiva del Subsector de Obras de Ingeniería Civil: 2017 (Variación % real con relación al mismo mes del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017. . . . .	11
1.7. Evolución de la Actividad Productiva del Subsector de Obras de Edificación: 2017 (Variación % real con relación al mismo mes del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017. . . . .	11
1.8. Índices de Precios al Productor: Materiales, alquiler de maquinaria y remuneraciones de la construcción. Período: Ene 2016 - Dic 2017, Mensual, Índice base junio 2012 = 100. Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2017. . . . .	12

1.9.	Evolución Mensual de la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) a 28 días y FONDEO Promedio Ponderado: Junio 2015 - Octubre 2017 (Porcentajes Anuales). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del Banco de México.	12
1.10.	Indicador de Confianza Empresarial de la Construcción a Diciembre de 2017. Fuente: INEGI.	13
1.11.	Inversión Fija Bruta de la Construcción a Octubre de 2017. Fuente: INEGI.	13
1.12.	Índice de Productividad Laboral (IPL) por Sector al Tercer Trimestre de 2017. Fuente: INEGI.	14
1.13.	Índice del Costo Unitario de la Mano de Obra (ICUMO) por Sector al tercer trimestre de 2017. Fuente: INEGI.	15
1.14.	Evolución de la Actividad Productiva del Subsector de Obras de Edificación: 2017 (Variación % real con relación al mismo mes del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO).	15
2.1.	Niveles Típicos de Costo y Dotación de Personal en una Estructura Genérica del Ciclo de Vida del Proyecto. Fuente: PMBOK	18
2.2.	Impacto de las Variables en Función del Tiempo del Proyecto. Fuente: PMBOK	19
2.3.	Desarrollo del programa. Fuente: Elaboración propia.	19
2.4.	Descripción General de la Programación. Fuente: PMBOK	20
2.5.	Ejemplo de un Programa de Obra usando un Diagrama de Gantt. Fuente: <a href="https://es.slideshare.net/AlezioAuditore/procedimientosdeconstruccion3wordimprimir1">https://es.slideshare.net/AlezioAuditore/procedimientosdeconstruccion3wordimprimir1</a>	23
2.6.	Red del Ejemplo 1. Fuente: Pomares, 1977.	25
2.7.	Tipos de Holgura. Fuente: Elaboración propia.	27
2.8.	Red de Vencimientos Sucesivos. Fuente: Elaboración propia.	30
2.9.	Programa de Escala No Uniforme. Elaboración Propia.	30
2.10.	Relación entre el costo y la duración de una tarea. Fuente: Elaboración propia.	31
2.11.	Identificación de la red para su reducción. Fuente: Elaboración propia.	31

2.12. Identificación de las reducciones de red. Fuente: Elaboración propia. . . . .	32
2.13. Red con camino crítico en rojo. Fuente: Elaboración propia. . . . .	33
2.14. Cálculos con todas las duraciones posibles. Fuente: Elaboración propia. . . . .	35
2.15. Diferencias en el costo contra duración. Elaboración propia. . . . .	36
2.16. Solución del Ejemplo 5. Fuente: Elaboración propia. . . . .	36
3.1. El telar manual de madera de Toyoda, y las cartas y especificaciones de la patente. Fuente <a href="https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda_sakichi/">https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda_sakichi/</a> . . . . .	38
3.2. Maquina de hilar y telar motorizado de Toyoda. Fuente <a href="https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda_sakichi/">https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda_sakichi/</a> . . . . .	38
3.3. Desperdicio en un Sistema de Valor. Fuente: Liker, 2013. . . . .	41
3.4. El Sistema de Producción de Toyota. Fuente: Liker, 2013. . . . .	42
3.5. Sistemas Push y Pull. Fuente: All About Lean, 2015. . . . .	45
3.6. Sistema Push. Fuente: Kaufman Global, 2017. . . . .	46
3.7. Sistema Pull. Fuente: Kaufman Global, 2017. . . . .	48
4.1. Ciclo de Last Planner. Fuente: Lean Construction Institute, 2007. . . . .	52
4.2. Actividades del Ciclo de Last Planner. Fuente: Lean Construction Institute, 2007. . . . .	53
4.3. Pull Sesión, pasos 1-3. Fuente: Elaboración propia. . . . .	55
4.4. Pull Sesión, pasos 4-7. Fuente: Elaboración propia. . . . .	55
4.5. Pull Sesión, pasos 8-10. Fuente: Elaboración propia. . . . .	56
4.6. Pull Sesión, paso 11. Fuente: Elaboración propia. . . . .	56
4.7. Ejemplo de Lista Plus/Delta. Fuente: <a href="http://companyculture.com/322-improve-your-meetings-the-plus-delta/">http://companyculture.com/322-improve-your-meetings-the-plus-delta/</a> . . . . .	57
4.8. Ejemplo de formato de Programa Lookahead. Fuente: Hernández, 2008. . . . .	59
4.9. Ejemplo de formato de Análisis de Restricciones. Fuente: Hernández, 2008. . . . .	62

4.10. Ejemplo de formato de Inventario de Trabajo Ejecutable. Fuente: Hernández, 2008. . . . .	65
4.11. Ejemplo de formato de Plan de Trabajo Semanal. Fuente: Hernández, 2008. . . . .	67
4.12. Análisis de las razones por las que el plan falló. Fuente: Lean Construction Institute, 2007. . . . .	69
4.13. Jerarquía de Análisis de Razones: Características y Prerrequisitos. Fuente: Lean Construction Institute, 2007. . . . .	70
4.14. Jerarquía de Análisis de Razones: Recursos. Fuente: Lean Construction Institute, 2007. . . . .	71
5.1. Douglas Taylor Ross (21 de diciembre de 1929 - 31 de enero de 2007) fue un científico estadounidense pionero en la informática y presidente de Softech, Inc. Es famoso por originar el término CAD para el diseño asistido por computadora, y es considerado el padre de Automatically Programmed Tools (APT), un lenguaje para controlar la fabricación controlada numéricamente. Fuente: <a href="https://www.ithistory.org/honor-roll/mr-douglas-doug-taylor-ross">https://www.ithistory.org/honor-roll/mr-douglas-doug-taylor-ross</a> . . . . .	74
5.2. Descomposición Estructurada. Fuente: Ross, 1977. . . . .	76
5.3. Características del Lenguaje del Análisis Estructurado (1 a 20). Fuente: Elaboración propia. . . . .	79
5.4. Características del Lenguaje del Análisis Estructurado (21 a 40). Fuente: Elaboración propia. . . . .	80
5.5. A0: Racionalización de las características del Análisis Estructurado. Fuente: <a href="http://ieeexplore.ieee.org/document/1702399/?reload=true">http://ieeexplore.ieee.org/document/1702399/?reload=true</a> . . . . .	81
5.6. A1: Definición de Gráficas. Fuente: Ross, 1977. . . . .	81
5.7. A2: Construcción de un diagrama. Fuente: Ross, 1977. . . . .	82
5.8. A21: Construcción de la estructura de cajas. Fuente: Ross, 1977. . . . .	83
5.9. A22: Construcción de la Estructura de Flechas. Fuente: Ross, 1977. . . . .	83
5.10. A23: Construcción de la Estructura del Diagrama. Fuente: Ross, 1977. . . . .	84
5.11. Dualidad de Actividades y datos. Fuente: Ross, 1977. . . . .	85
5.12. Necesidad y dominio. Fuente: Ross, 1977. . . . .	85

5.13. Fronteras e Interfases. Fuente: Ross, 1977. . . . .	86
5.14. A3: Uso de Notación Especial. Fuente: Ross, 1977. . . . .	87
5.15. A31: Uso de notación especial con flechas. Fuente: Ross, 1977. . . . .	88
5.16. Índice. Fuente: Ross, 1977. . . . .	89
5.17. Diagrama A-0 de la partida de obra: Reforzamiento exterior de una tubería de concreto presforzado. Fuente: Elaboración propia. . . . .	91
5.18. Primera descomposición del diagrama A0. Fuente: Elaboración propia.	92
5.19. A01 Preparación. Fuente: Elaboración propia. . . . .	93
5.20. A01-1 Controles y Mecanismos del Diagrama de Preparación. Fuente: Elaboración propia. . . . .	94
5.21. A01-2 FEO's del Diagrama de Preparación. Fuente: Elaboración propia.	95
5.22. A02 Instalación de tendones extruidos con recubrimiento. Fuente: Ela- boración propia. . . . .	96
5.23. A021 Colocación de torones. Fuente: Elaboración propia. . . . .	97
5.24. A021-1 Controles y Mecanismos del Diagrama de Colocación de Toro- nes. Fuente: Elaboración propia. . . . .	98
5.25. FEO's del Diagrama de Colocación de Torones. Fuente: Elaboración propia. . . . .	99
5.26. A022 Postensado. Fuente: Elaboración propia. . . . .	100
5.27. A022-1 Controles y Mecanismos del Diagrama de Postensado. Fuente: Elaboración propia. . . . .	101
5.28. A022-2 FEO's del Diagrama de Postensado. Fuente: Elaboración propia.	102



# Introducción

A diferencia de la Industria Manufacturera, los productos en construcción son únicos, lo cual representa un reto si se quiere calcular con la misma precisión el costo y tiempo que tomará una obra. En este trabajo se busca explorar dos herramientas de Lean Construction para auxiliar en el cumplimiento de fechas de término, éstas son: Last Planner y Análisis Estructurado.

A lo largo de la historia han surgido diversas metodologías para la planeación y control de los proyectos, como veremos en el Capítulo 2. Todas éstas aún están vigentes, pero su uso depende del nivel de detalle y precisión que se requiera, lo que a su vez depende de la etapa de planeación en la que se encuentre el proyecto.

Last Planner surge de la filosofía Lean y es una herramienta de programación en cascada que combina éstas y otras metodologías para monitorear el avance de la obra semana a semana, con el objetivo de aumentar el desempeño de las unidades de trabajo y mejorar el cumplimiento de fechas. Todo esto basándose en la experiencia de todas las áreas y mandos del proyecto, pero sobre todo de la gente presente en la construcción (a quienes se les denomina "El Último Planeador").

El Análisis Estructurado permite desglosar métodos constructivos con el suficiente detalle para que se puedan prever las herramientas y maquinaria que se van a requerir, además de los controles de calidad que se deben cumplir. Y, al igual que Last Planner, permite la retroalimentación para la mejora de estos procesos constructivos en proyectos futuros.

Una forma de enfrentar la difícil situación por la que ha estado pasando la Industria de la Construcción en México podría ser implementar este tipo de herramientas y filosofía en las empresas constructoras, las cuales les ayudarán a ser más productivas y, por lo tanto, más competitivas.

Aunque las herramientas antes mencionadas pueden ser utilizadas en empresas que no sigan los principios de Lean, darán mejores resultados si la cultura de la empresa es acorde a la filosofía Lean. Lamentablemente la cultura de las empresas de construcción en México, en su mayoría, distan mucho de esta filosofía y valores.





# Objetivos

El presente trabajo busca:

- Exponer la utilidad de las herramientas Last Planner y Análisis Estructurado para el control y seguimiento de los programas de obra, a fin de cumplir con los plazos programados.
- Hacer una comparativa de las ventajas y desventajas de los diferentes modelos de planificación que se usan actualmente en las obras.
- Describir el uso y ventajas del Análisis Estructurado en la descripción de Métodos Constructivos.
- Exponer el uso de la herramienta Last Planner y sus ventajas.



# 1

## Marco Económico de la Construcción en México

*“We shape our buildings and, afterwards, our buildings shape us. ”*

– Winston Churchill, 1944

### 1.1. Introducción

Socialmente, la Industria de la Construcción es uno de los primeros negocios desarrollados por la humanidad, y hasta el día de hoy sigue modelando nuestra forma de vida. Se puede decir que el resto de negocios requieren de esta industria para proveerles de servicios básicos y de un lugar físico para realizar sus actividades; además es un factor determinante de dónde y cómo: vive, trabaja y se divierte la gente. Para la mayoría de la población del mundo, el ambiente que las construcciones crean (iluminación, espacio, tipo de materiales empleados, etc.) afecta su calidad de vida.

Económicamente, a nivel mundial la industria de la construcción tiene un ingreso anual de casi 10 billones de dólares y un valor agregado de 3.6 billones de dólares, y es responsable del 6% de Producto Interno Bruto Mundial<sup>1</sup>. Más específicamente, representa el 5% del PIB en países desarrollados, y el 8% en países en vías de desarrollo.

A pesar de esto, en los últimos 50 años, la mayoría de los países ha presentado poca mejoría en su productividad dentro de la construcción, especialmente cuando se compara con otras industrias. Aunque han surgido nuevas tecnologías y herramientas,

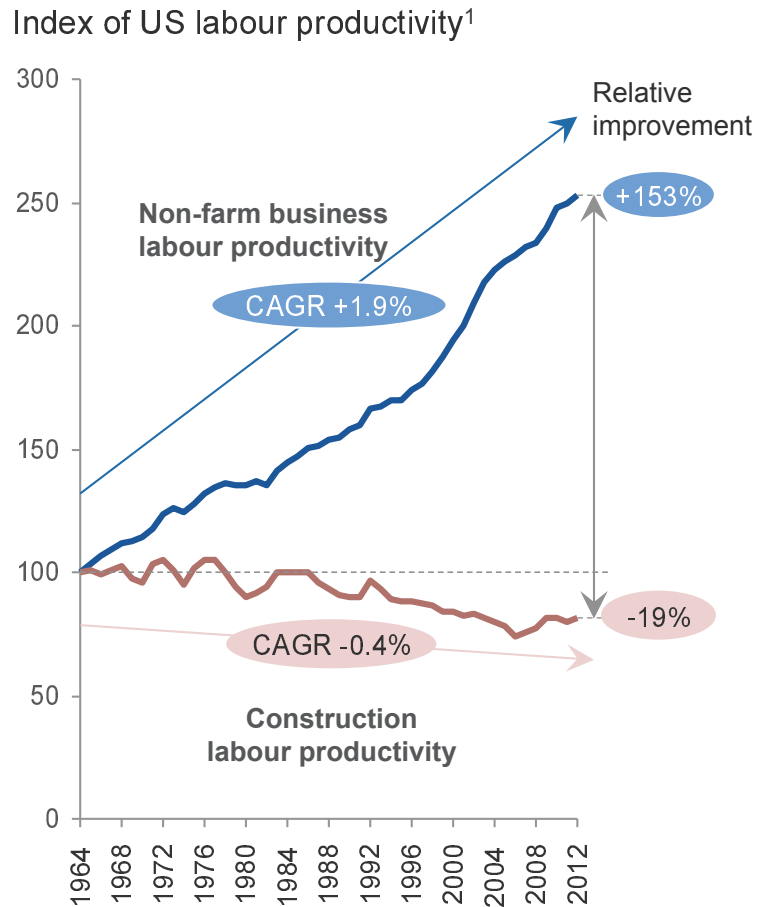
---

<sup>1</sup>El Producto Interno Bruto (PIB) es una magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de demanda final de un país o región durante un período determinado, normalmente de un año.

la adopción de éstas ha sido lenta [30] (Figura 1.1). Las causas de esto, entre otras son:

**Falta de innovación y adopción tardía de ésta.** Toda Industria requiere de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías, sin embargo los beneficios de estas actividades son a largo plazo y los costos son en el presente. Estas características hacen que, en una industria que trabaja por proyecto, estas actividades reciban menos atención que en otro tipo de industrias. **Procedimientos informales o falta de rigor y consistencia en la ejecución del procedimiento.** Usualmente a los procedimientos adoptados por las constructoras les falta madurez. Frecuentemente las compañías ponen mucho más empeño en definir el producto final que en la planeación del proceso constructivo. **Transferencia de conocimiento insuficiente de proyecto a proyecto.** A pesar de que cada proyecto tiene características únicas, los procesos de construcción en sí se repiten. Por lo que las lecciones aprendidas en un proyecto son de utilidad en futuros proyectos. Aún así pocas compañías tienen institucionalizados dichos procedimientos, por lo que la experiencia pasada se pierde, y los proyectos continúan dependiendo fuertemente de la experiencia individual de un Project Manager. **Un mal monitoreo del proyecto.** Existe un monitoreo insuficiente de los proyectos comparado con otras industrias. En la industria manufacturera, por ejemplo, las operaciones son continuamente rastreadas y grandes cantidades de información recolectada. De tal forma que, si algo sale mal, el fabricante puede identificar rápidamente la causa e implementar acciones inmediatas y eficientes para remediar el problema. Son pocas las constructoras que trabajan con este tipo de control. **Poco trabajo en equipo multidisciplinario.** El proceso constructivo convencional generalmente es secuencial, representándose como una cadena que inicia con el cliente, seguido del diseño, construcción y suministros, todos en distintas etapas del proyecto. Este arreglo evita se haga una planeación más sofisticada donde el conocimiento de todos los involucrados sea usado desde el diseño y planeación del proyecto. **Poca colaboración con los proveedores.** Para los grandes contratistas, la estrategia de compras involucra relaciones a largo plazo con sus proveedores; sin embargo, las decisiones finales en este aspecto se hacen de acuerdo al proyecto. **Cultura corporativa conservadora.** La industria de la construcción opera en un ambiente un tanto conservador y por lo general mantiene una cultura corporativa conservadora. La impresión en general es que las compañías no son lo suficientemente progresistas o con visión a futuro. **Escasez de talento joven y de desarrollo de personal.** La imagen que las personas tienen del empleo en la industria de la construcción es relativamente mala, con inadecuada diversidad de género y poca seguridad del empleo (debido a la naturaleza cíclica del negocio). Como resultado las compañías en esta industria frecuentemente tienen problemas para atraer reclutas talentosos a su fuerza de trabajo. Además, en comparación con compañías de otras industrias, las constructoras cada vez fomentan menos el desarrollo del personal [30].

**Figure 3: US Industry Productivity and Performance, 1964-2012<sup>28</sup>**



<sup>1</sup> Peer set based on US companies with Engineering, Construction and Services-related Standard Industrial Classification codes. Financials are inflation-adjusted and indexed to 1964; output per working hours. CAGR = compound average growth rate  
 Source: Global Vantage; Compustat; Bloomberg; [www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue\\_67.html](http://www.aecbytes.com/viewpoint/2013/issue_67.html); [www.nber.org/papers/w1555.pdf](http://www.nber.org/papers/w1555.pdf); S&P Capital IQ; BCG ValueScience Center; World Economic Forum

Figura 1.1: Productividad y Desempeño de la Industria de la Construcción en EEUU, del 1964 al año 2012. Fuente: WEF, 2016.

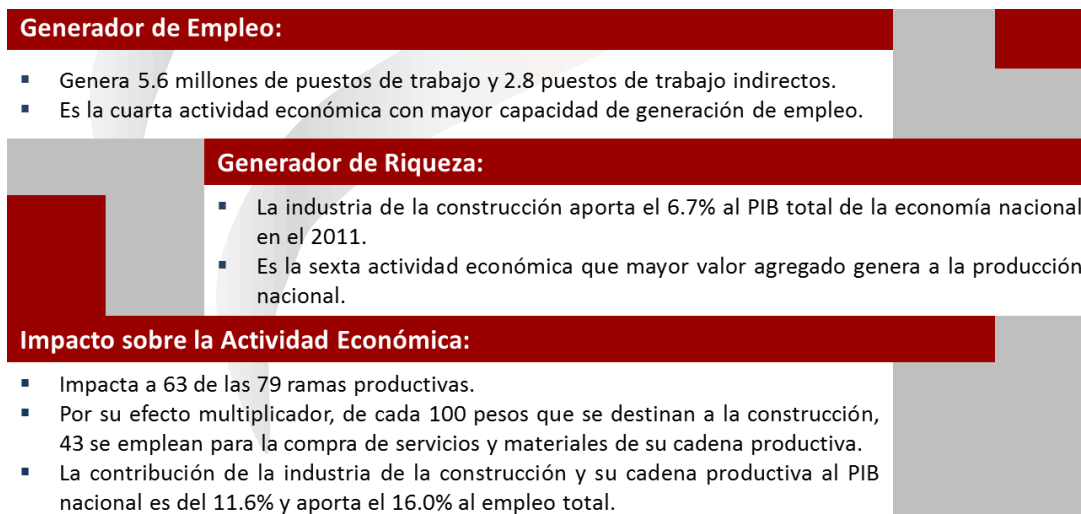


Figura 1.2: Situación de la Actividad Productiva de la Industria de la Construcción como Generador Económico en Nuestro País. Fuente: CMIC, 2013.

Dadas las fortalezas y debilidades del sector anteriormente expuestas, herramientas como el Análisis Estructurado y Last Planner nos ayudan a aumentar la productividad de las empresas constructoras, a través de un cambio de mentalidad debido a la incorporación de la filosofía Lean.

## 1.2. Productividad en el Sector de la Construcción

En México la construcción siempre ha estado vinculada con el desarrollo del país y ha sido palanca fundamental para lograrlo. Mientras más obras se construyen, más riqueza y mayor empleo se generan (Figura 1.2)[5].

Anteriormente en México el sector de la construcción era el motor de crecimiento que impulsaba el resto de las actividades productivas, sin embargo, en los últimos 10 años el PIB de la construcción ha crecido a una tasa promedio de 2 %, apesar de tener un potencial anual de crecimiento de 4 % a 5 % anual (Figura 1.3).

Aunado a esto, en el periodo de enero a octubre del 2017 se registró una caída de (-) 1.2 % con relación al mismo lapso del 2016, esto es el resultado de los recortes a la inversión física presupuestaria del 2017 que, de acuerdo con el Dictámen de Presupuesto de Egresos de la Federación del 2018, para este año continuarán con una reducción de (-) 1.8 % del presupuesto en relación con lo aprobado para el 2017 (Figura 1.4).

El subsector de Obras de Ingeniería Civil, ante la reducción de la inversión pública, ha registrado una importante disminución en el desarrollo de obras (Figura 1.5). Desde abril de 2016 a Octubre de 2017 ha registrado 18 meses de caídas consecutivas (Figura

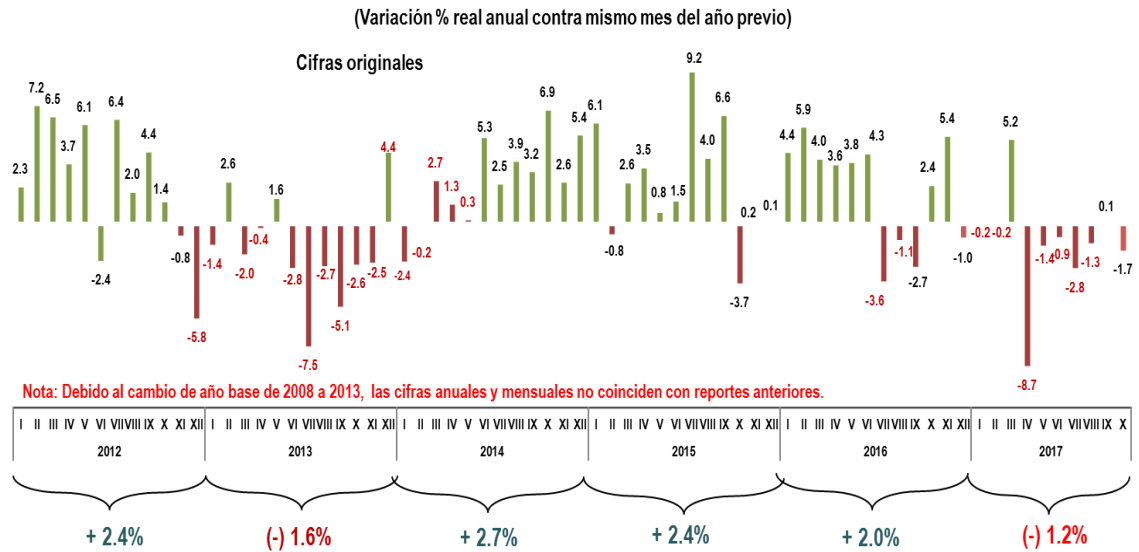


Figura 1.3: Evolución del Producto Interno Bruto Nacional y de la Construcción enero 2012 – octubre 2017, Variación %. Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017.

1.6), que en promedio tienen un descenso de (-) 10.9 % [6].

El aumento de la gasolina en México viene a complicar aún más el panorama que enfrenta la Industria de la Construcción, sus principales impactos están en el aumento de precios de los materiales, de los servicios de autotransporte de carga y del alquiler de maquinaria y equipo (Figura 1.8) [7].

Además de esto, la Obra Privada se vió afectada por el aumento gradual de las tasas de interés (Figura 1.9), lo cual incrementa los costos financieros, inhibe la inversión y aumenta la deuda. Debido a lo cual presentó una desaceleración en la actividad productiva como se observa en la Figura 1.7 [6].

Actualmente en México se vive una gran incertidumbre económica y política. Esto debido a las declaraciones y amenazas del presidente de EEUU, Donald Trump, en contra del libre comercio y el libre flujo de inversiones. Además el 1 de julio de 2018 se llevarán a cabo las elecciones federales [6]. Todo esto se ve reflejado en el Indicador de Confianza Empresarial de la Construcción<sup>2</sup>, el cual se ubicó en 46.6 puntos en diciembre del 2017, llevando en total 35 meses por debajo del umbral de los 50 puntos (Figura 1.10) [13]; y en el Indicador Mensual de la Inversión Fija Bruta<sup>3</sup> el cual muestra una tendencia a la baja (Figura 1.11) [14].

<sup>2</sup>Los Indicadores de Confianza Empresarial (ICE) se elaboran con los resultados de la Encuesta Mensual de Opinión Empresarial (EMOE), y permiten conocer la opinión de los directivos empresariales del sector Manufacturero, de la Construcción y del Comercio sobre la situación económica que se presenta tanto en el país como en sus empresas.

<sup>3</sup>La Inversión Fija Bruta, que representa los gastos realizados en Maquinaria y equipo de origen nacional e importado, así como los de Construcción

Presupuesto de Egresos en Inversión Física				
PEF 2018 V.S PEF 2017				
Concepto	PEF 2017 (Millones de pesos)	PEF 2018 (Millones de pesos)	Diferencia en cifras absolutas entre el PEF 2018 Vs PEF 2017 (Millones de pesos)	Cambio % Real PEF 2018 / PEF 2017
<b>Total</b>	<b>570,049</b>	<b>586,511</b>	<b>16,463</b>	<b>-1.8%</b>
<b>Ramos Autónomos</b>				
Poder Legislativo	380	128	-252	-67.8%
Poder Judicial	6,322	8,356	2,034	26.1%
Instituto Nacional Electoral	272	343	71	20.4%
Comisión Nacional de los Derechos Humanos	35	64	29	73.1%
Comisión Federal de Competencia Económica	2	3	1	51.5%
Instituto Nacional para la Evaluación de la Educación	2	5	3	157.6%
Instituto Federal de Telecomunicaciones	111	66	-45	-43.3%
Instituto Federal de Acceso a la Información y Protección de Datos	50	81	31	54.4%
Tribunal Federal de Justicia Fiscal y Administrativa	46	58	12	20.0%
Información Nacional Estadística y Geográfica	69	84	15	16.0%
<b>Ramos Administrativos</b>				
Presidencia de la República	0	0	0	-
Gobernación	72	0	-72	-100.0%
Relaciones Exteriores	97	107	10	5.4%
Hacienda y Crédito Público	139	131	-8	-10.2%
Defensa Nacional	4,417	13,730	9,313	196.6%
Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación	168	0	-168	-100.0%
Comunicaciones y Transportes	72,723	73,254	531	-3.9%
Economía	4,356	4,395	39	-3.7%
Educación Pública	1,689	1,706	17	-3.6%
Salud	4,717	5,409	692	9.4%
Marina	3,392	6,908	3,516	94.3%
Trabajo y Previsión Social	334	344	11	-1.5%
Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano	n.d	n.d	-	-
Medio Ambiente y Recursos Naturales	18,660	19,727	1,067	0.9%
Procuraduría General de la República	70	57	-13	-22.2%
Energía			0	-
Desarrollo Social	1,527	1,600	73	0.0%
Turismo	1,093	1,055	-38	-7.9%
Función Pública	0	0	0	-
Tribunales Agrarios	0	0	0	-
Consejería Jurídica del Ejecutivo Federal	0	0	0	-
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología	2,500	1,857	-643	-29.1%
<b>Ramos Generales</b>				
Provisiones Salariales y Económicas	41,490	21,228	-20,262	-51.2%
Aportaciones Federales para Entidades Federativas y Municipios	155,543	167,661	12,118	2.9%
<b>Entidades de Control Directo</b>				
Comisión Federal de Electricidad	36,525	43,487	6,962	13.6%
Petróleos Mexicanos (Consolidado)	204,622	204,622	0	-4.6%
Instituto Mexicano del Seguro Social	7,126	8,485	1,359	13.6%
Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores Est.	1,500	1,560	60	-0.8%

Figura 1.4: Presupuesto de Egresos en Inversión Física. Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción con datos del Presupuesto de Egresos de la Federación 2017 y PEF 2018.



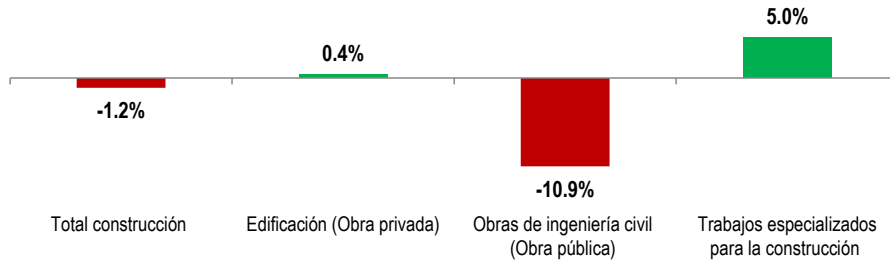


Figura 1.5: PIB de la Industria de la Construcción (Enero a Octubre 2017) (Variación % real contra el mismo periodo del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017.

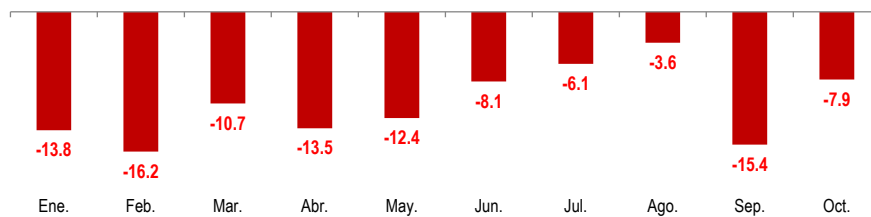


Figura 1.6: Evolución de la Actividad Productiva del Subsector de Obras de Ingeniería Civil: 2017 (Variación % real con relación al mismo mes del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017.

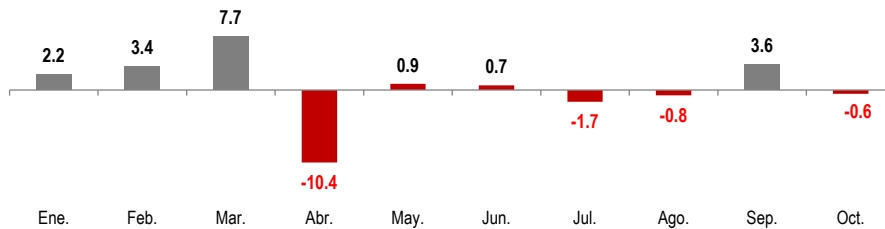


Figura 1.7: Evolución de la Actividad Productiva del Subsector de Obras de Edificación: 2017 (Variación % real con relación al mismo mes del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del INEGI, 2017.

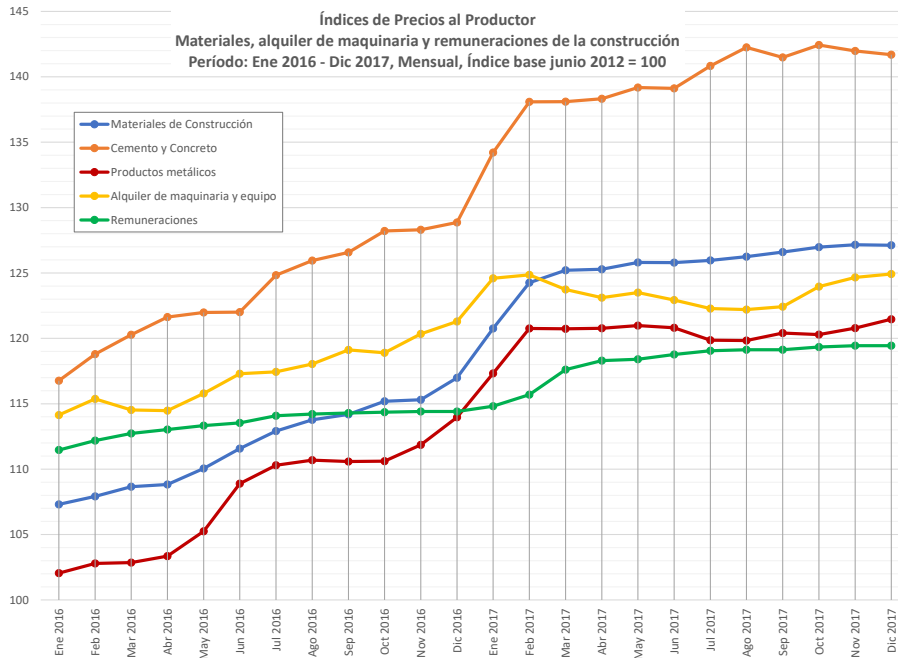


Figura 1.8: Índices de Precios al Productor: Materiales, alquiler de maquinaria y remuneraciones de la construcción. Período: Ene 2016 - Dic 2017, Mensual, Índice base junio 2012 = 100. Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI, 2017.

**Evolución Mensual de la TIIE 28 días y el Fondo Promedio Ponderado: Jun. 2015-Oct. 2017 (Porcentajes Anuales)**

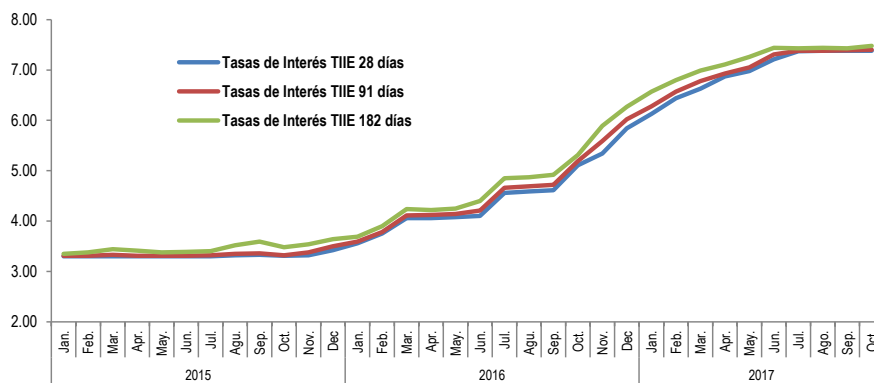


Figura 1.9: Evolución Mensual de la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) a 28 días y Fondo Promedio Ponderado: Junio 2015 - Octubre 2017 (Porcentajes Anuales). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) con datos del Banco de México.

**INDICADOR DE CONFIANZA EMPRESARIAL DE LA CONSTRUCCIÓN  
A DICIEMBRE DE 2017**

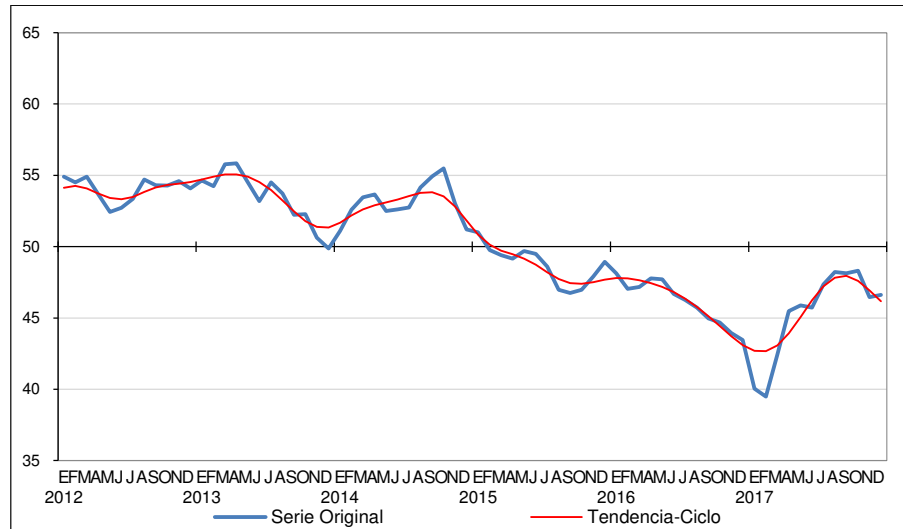


Figura 1.10: Indicador de Confianza Empresarial de la Construcción a Diciembre de 2017. Fuente: INEGI.

**CONSTRUCCIÓN A OCTUBRE DE 2017  
SERIES DESESTACIONALIZADA Y DE TENDENCIA-CICLO  
(Índice base 2013=100)**

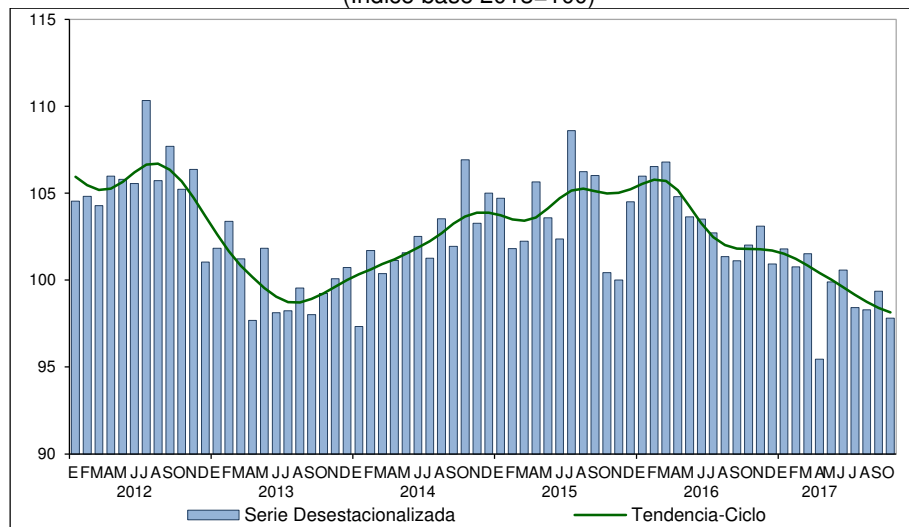


Figura 1.11: Inversión Fija Bruta de la Construcción a Octubre de 2017. Fuente: INEGI.

**ÍNDICE DE PRODUCTIVIDAD LABORAL (IPL) POR SECTOR  
AL TERCER TRIMESTRE DE 2017**  
**SERIES DE TENDENCIA-CICLO**  
(Índice base 2008=100)

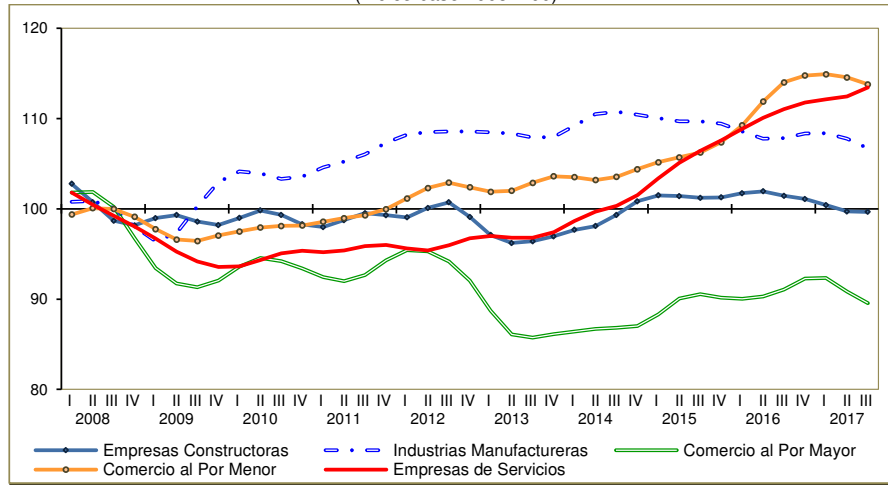


Figura 1.12: Índice de Productividad Laboral (IPL) por Sector al Tercer Trimestre de 2017. Fuente: INEGI.

Finalmente en cuanto a la Mano de Obra, el Índice de Productividad Laboral<sup>4</sup> de la construcción se ha mantenido prácticamente al mismo nivel que en el 2008 (Figura 1.12), mientras que el Índice del Costo Unitario de la Mano de Obra<sup>5</sup> ha disminuído (Figura 1.13)[15].

Sumado a esto están los riesgos de una baja de los precios del petróleo, la continuación de presiones inflacionarias y recortes adicionales al presupuesto de egresos 2018 para la inversión pública en infraestructura. Se prevé que los impulsores de la construcción en 2018 sean la construcción inmobiliaria residencial media y alta, así como la infraestructura turística, comercial y de servicios, y la etapa de reconstrucción después de los sismos del pasado mes de Septiembre de 2017 (Figura 1.14)[6].

Dada su importancia, el sector de la construcción en México requiere crecer a su potencial de 4 a 5 % anual y ser competitivo globalmente, para ello, es necesario que su estructura productiva crezca y se fortalezca. Por tal motivo, se deben implementar acciones y políticas específicas que promuevan el desarrollo del capital humano, la tecnología, el financiamiento y un marco jurídico adecuado para apoyar el crecimiento de las empresas Mipymes, y robustezcan a las medianas y grandes empresas, promoviendo la especialización y la generación de alianzas estratégicas para sumar capacidades y volverse más competitivas en el mercado nacional e internacional[8].

<sup>4</sup>El Índice de Productividad Laboral (IPL) se define como el cociente entre el índice del valor de la producción a precios constantes en un periodo determinado, y el índice de horas trabajadas o el índice de personal ocupado total en el mismo periodo.

<sup>5</sup>El Índice del Costo Unitario de la Mano de Obra (ICUMO), es un indicador complementario al índice de productividad laboral, el cual resulta de relacionar el costo por unidad de insumo laboral (remuneraciones medias reales), con la medida de la productividad laboral.

**ÍNDICE DEL COSTO UNITARIO DE LA MANO DE OBRA (ICUMO) POR SECTOR  
AL TERCER TRIMESTRE DE 2017  
SERIES DE TENDENCIA-CICLO  
(Índice base 2008=100)**

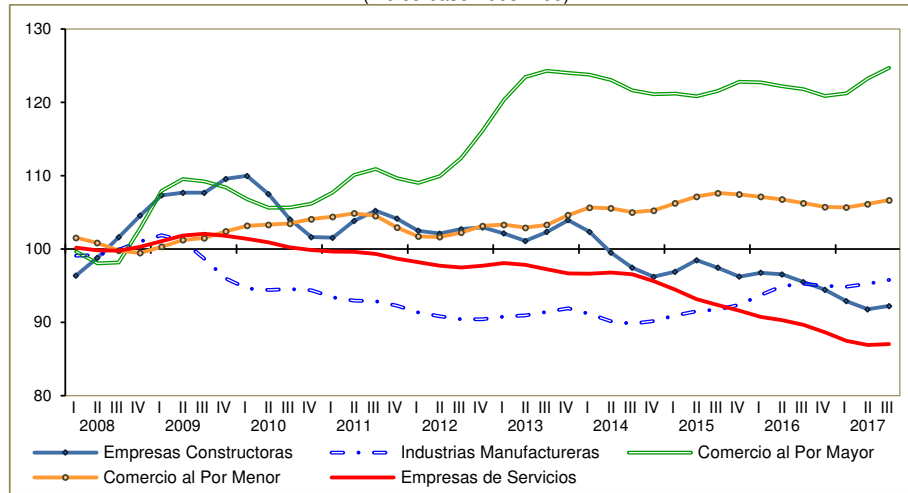


Figura 1.13: Índice del Costo Unitario de la Mano de Obra (ICUMO) por Sector al tercer trimestre de 2017. Fuente: INEGI.

**Escenarios de Crecimiento para la Industria de la Construcción 2017-2020**

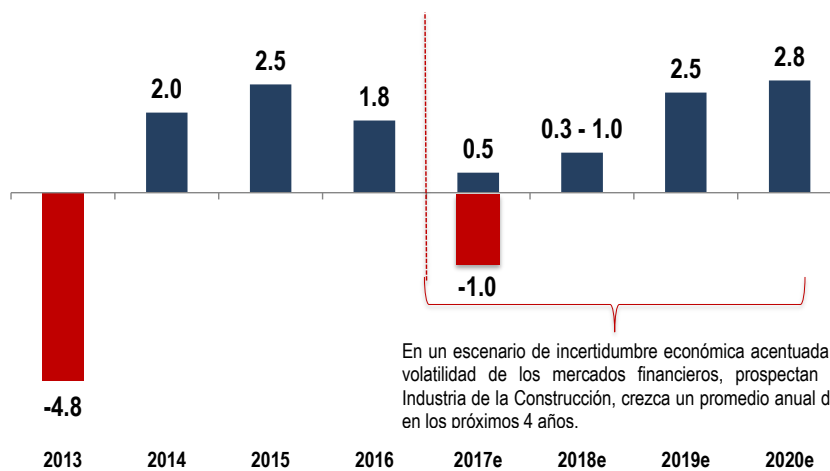


Figura 1.14: Evolución de la Actividad Productiva del Subsector de Obras de Edificación: 2017 (Variación % real con relación al mismo mes del año previo). Fuente: Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO).



## 2

# Actual Proceso de Planificación y Control en la Construcción

*“By failing to prepare, you are preparing to fail.”*

– Benjamin Franklin

## 2.1. Definiciones

De acuerdo con el Project Management Institute (PMI), un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. El ciclo de vida de un proyecto es la serie de fases por las que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre. La Figura 2.1 muestra una estructura genérica del ciclo de vida de un proyecto con cuatro fases básicas:

1. Inicio del proyecto
2. Organización y preparación
3. Ejecución del trabajo
4. Cierre del proyecto[24]

El manejo, la administración y el cumplimiento de los tiempos son, junto con la calidad y el costo, características fundamentales que se necesita alcanzar en la realización de un proyecto. Al tiempo conviene estimarlo con unidades de precisión y supervisarlos para tenerlo bajo control<sup>1</sup> y, en su caso, corregir sus desviaciones oportunamente[25].

---

<sup>1</sup>En un proyecto el control se define como la serie de actividades que permiten identificar una desviación respecto a un parámetro original (presupuesto y programa de obra), y plantear acciones correctivas.



Figura 2.1: Niveles Típicos de Costo y Dotación de Personal en una Estructura Genérica del Ciclo de Vida del Proyecto. Fuente: PMBOK

Es importante mencionar que los riesgos y la incertidumbre son mayores al inicio del proyecto y disminuyen a medida que se van tomando decisiones y cumpliendo entregables<sup>2</sup>. Además la capacidad de influir en las características finales del producto del proyecto, sin afectar significativamente el costo, es mayor al inicio del proyecto y va disminuyendo a medida que el proyecto avanza (Figura 2.2), es por ello que es tan importante la correcta planificación y programación de las obras[24].

Podríamos definir a la programación como una herramienta gráfica —tabulada, escrita o dibujada— que permite determinar la secuencia de todas las actividades de un proyecto y asignar tiempos[25]. Para lo cual es necesario ya haber realizado el presupuesto con conceptos de obra perfectamente definidos, y con unidades de medida.

Esto se logra conociendo los métodos de construcción que se utilizarán, los cuales se seleccionarán en base a la información directa e inferida, comparando sus costos y tiempos (Figura 2.3). Además se tomarán en cuenta las condiciones externas: términos contractuales, por ejemplo, la fecha de terminación requerida, en base a la cual se generará un tiempo disponible para la realización de los trabajos; los recursos que se tengan disponibles; y características físicas del lugar[21].

La Figura 2.4 proporciona una descripción general de la programación, que muestra las interacciones que se dan entre método de programación, herramienta de programación y salidas de los procesos requeridos para gestionar la terminación del proyecto dentro del plazo, que de acuerdo al PMI son:

1. **Planificar la Gestión del Cronograma:** se establecen las políticas, los pro-

<sup>2</sup>Entregable: es cualquier producto medible y verificable que se elabora para completar un proyecto o parte de un proyecto.



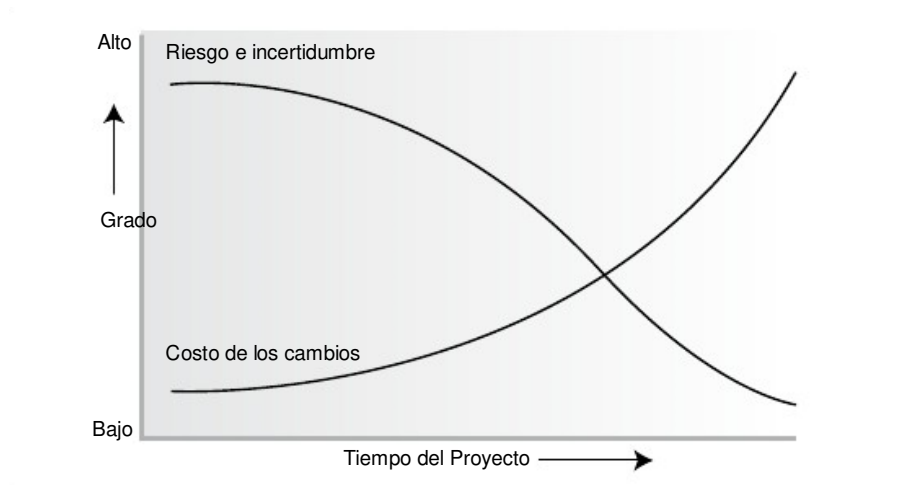


Figura 2.2: Impacto de las Variables en Función del Tiempo del Proyecto. Fuente: PMBOK

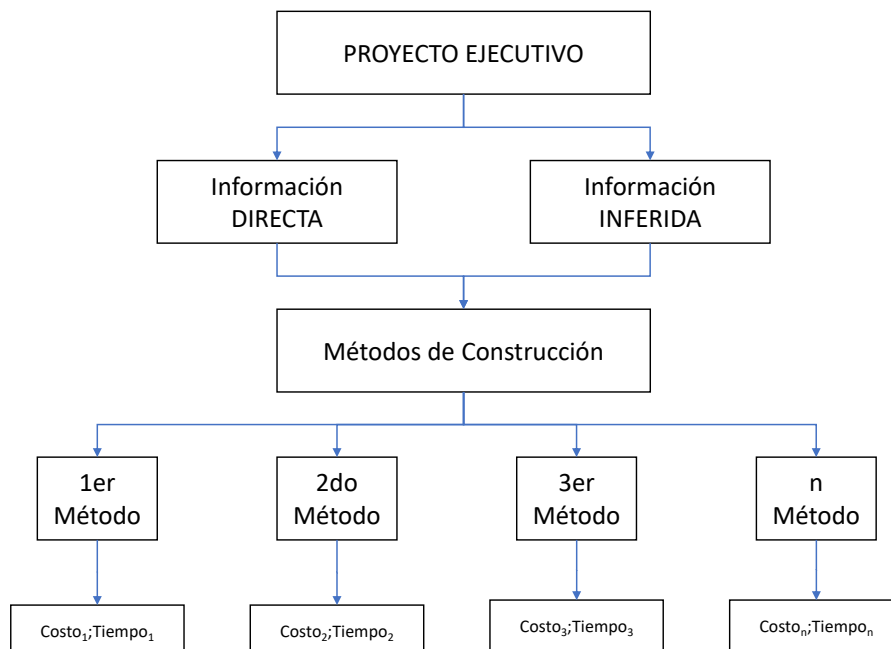


Figura 2.3: Desarrollo del programa. Fuente: Elaboración propia.

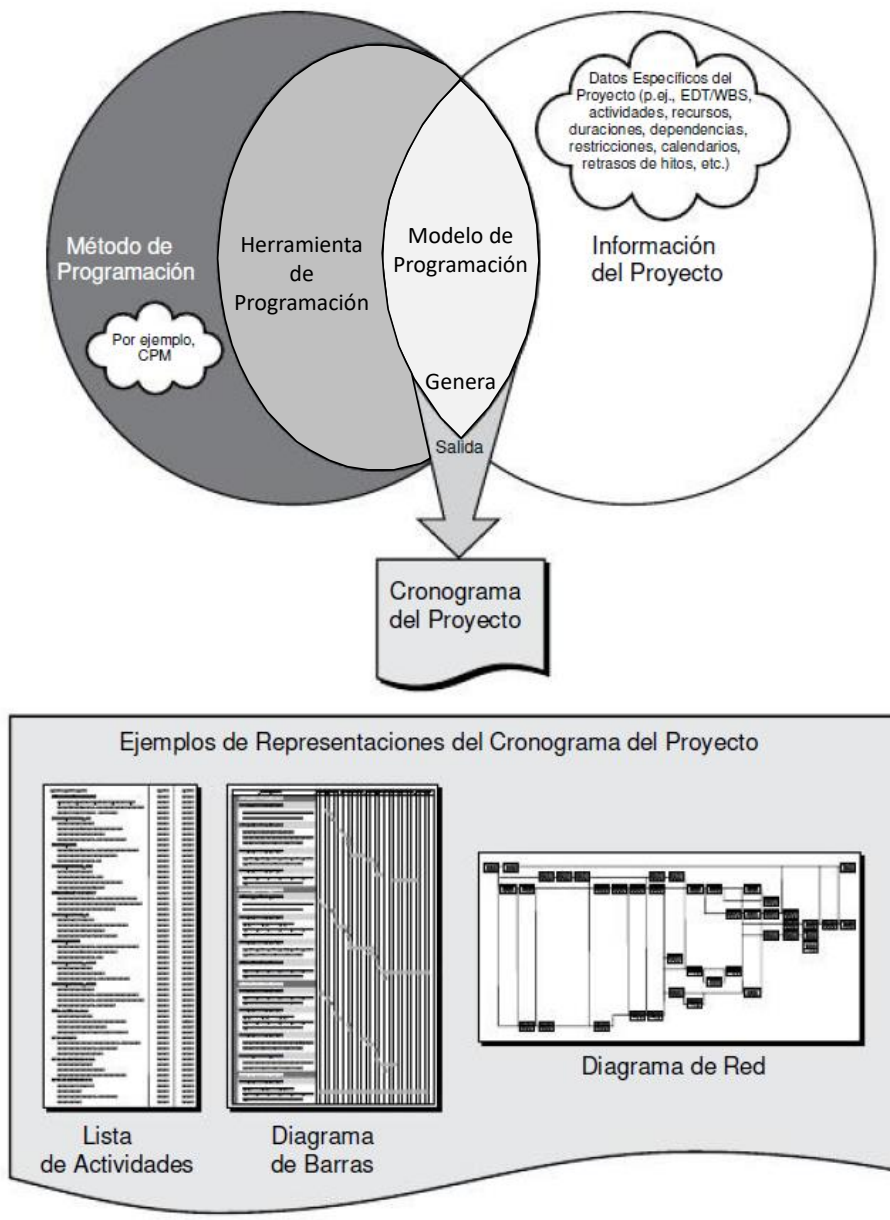


Figura 2.4: Descripción General de la Programación. Fuente: PMBOK

cedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto.

2. **Definir las Actividades:** identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para generar los entregables del proyecto.
3. **Secuenciar las Actividades:** identificar y documentar las relaciones existentes entre las actividades del proyecto.
4. **Estimar los Recursos de las Actividades:** estimar el tipo y las cantidades de materiales, recursos humanos, equipos o suministros requeridos para ejecutar cada una de las actividades.
5. **Estimar la Duración de las Actividades:** estimar la cantidad de períodos de trabajo necesarios para finalizar las actividades individuales con los recursos estimados.
6. **Desarrollar el Cronograma:** analizar secuencias de actividades, duraciones, requisitos de recursos y restricciones del cronograma para crear el modelo de programación del proyecto.
7. **Controlar el Cronograma:** monitorear el estado de las actividades del proyecto para actualizar el avance del mismo y gestionar los cambios a la línea base del cronograma a fin de cumplir con el plan.

### 2.1.1. Estimación de las duraciones de las actividades

Una vez que se han definido las actividades del proyecto, la duración de éstas está definida por:

- *Las características específicas de las actividades.* Suponiendo que todos los demás factores sean iguales, colar concreto en el piso 41 va a tomar más tiempo que el el segundo piso.
- *Cantidad de trabajo.* Evidentemente una actividad que involucre 6,000 m<sup>2</sup>, tomará más tiempo que otra que consista de 3,000 m<sup>2</sup>.
- *El método constructivo.* Colar concreto con grúa y bacha tomará más tiempo que con una bomba para concreto.
- *Recursos usados para realizar el trabajo.* Muy probablemente 20 albañiles terminarán más rápido una tarea, de lo que lo harían 15 albañiles.
- *Las jornadas trabajadas.* Una tarea será terminada en menos días si se usan dobles turnos.

Además de estos factores, dependiendo las condiciones del trabajo, se deben tener en cuenta otros, por ejemplo: en el caso de movimiento de tierra, se requiere que los camiones de volteo estén balanceados con la maquinaria que los va a cargar de material; de igual forma un número excesivo de trabajadores en un área reducida, reduce dramáticamente su productividad [11].

La forma más sencilla de estimar las duraciones de las actividades es consultando en un libro o sitio especializado sus rendimientos y calculándolo. Otra forma de obtener los rendimientos de un trabajo es de manera experimental, midiéndolos en campo.

*Ejemplo 1.* Supongamos que necesitamos conocer el precio unitario del trabajo de pintura, para ello vamos a suponer que el pintor puede cubrir de pintura una superficie de 5 metros cuadrados en una hora. Ya que el jornal en México tiene 8 horas, entonces tenemos  $5 \times 8 = 40$  m<sup>2</sup>, esto quiere decir que el trabajador pintará una superficie de 40 metros cuadrados en un jornal de 8 horas, por lo tanto tenemos que el rendimiento de este trabajador es de  $1/40$  ya que en un jornal rinde 40 metros cuadrados, para efectos aritméticos podemos decir que el rendimiento es  $1/40 = 0.0225$  [4].

## 2.2. Métodos Tradicionales de Planificación

Los gráficos son una de las mejores herramientas para asimilar información con gran rapidez. En esta sección se presentarán brevemente algunas de las herramientas más usadas en la programación de obras.

### 2.2.1. Diagrama de Gantt

Fue desarrollado durante la Primer Guerra Mundial por el ingeniero Henry Laurence Gantt. Consta de renglones y columnas que nos muestran las actividades a realizar de un proyecto indicando también las fechas de inicio y término (Figura 2.4). En él es fácil ver las actividades que se realizan en serie o paralelo, pero no nos muestra la interdependencia de unas actividades con otras [22].

En la tabla 2.1 se muestran algunas de sus ventajas y desventajas. Los gráficos de Gantt se revelan muy eficaces en las etapas iniciales de la planificación. Sin embargo, después de iniciada la ejecución de la actividad y cuando comienzan a efectuarse modificaciones, el gráfico tiende a volverse confuso. Además, no ofrece condiciones para el análisis de opciones, ni toma en cuenta factores como el costo. Es fundamentalmente una técnica de prueba y error[25].

En resumen, para la planificación de actividades relativamente simples, el gráfico de Gantt representa un instrumento de bajo costo y extrema simplicidad en su utilización. Para proyectos complejos, sus limitaciones son bastantes serias[25].

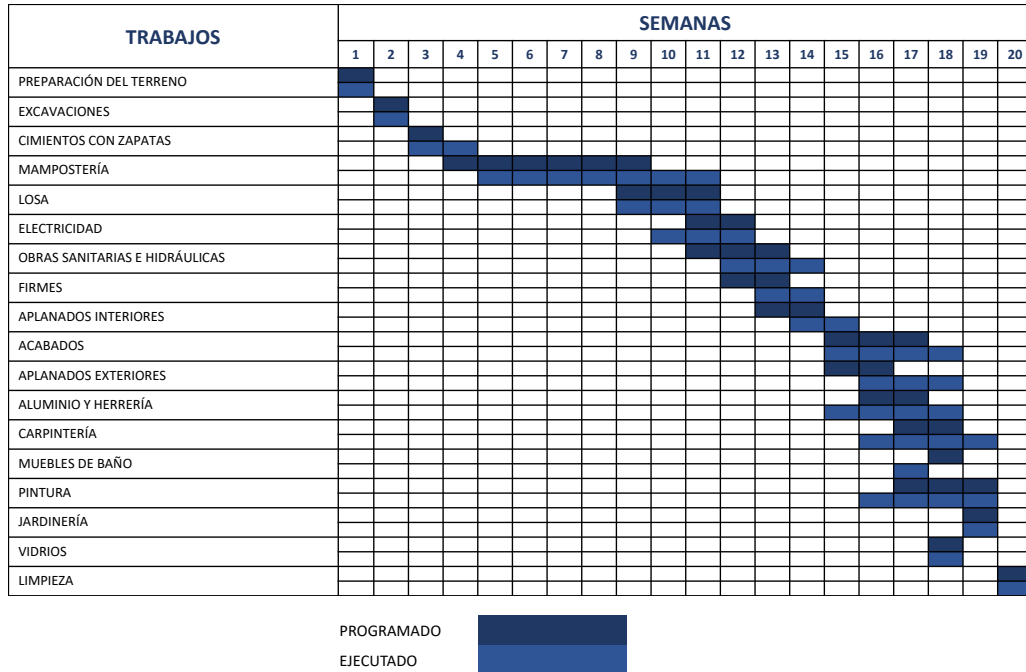


Figura 2.5: Ejemplo de un Programa de Obra usando un Diagrama de Gantt. Fuente: <https://es.slideshare.net/AlezioAuditore/procedimientosdeconstruccion3wordimprimir1>

### 2.2.2. Reglas para el trazo de redes

El análisis de redes es un técnica que estudia el proyecto en tres etapas:

1. Contruye un modelo matemático del proyecto descomponiéndolo en actividades, las cuales deben conectarse de acuerdo a sus precedencias y simultaneidad.
2. Estudia la duración de cada tarea ya sea de forma probabilística (Sistema P.E.R.T.) o determinística (Método del Camino Crítico), determinando con ello la duración del proyecto y aquellas actividades críticas para su término en tiempo.
3. Analiza la relación entre el costo total del proceso y su plan de ejecución [22].

Por tanto, una red es un modelo del proyecto que deseamos planificar, programar y controlar. Estará formado por actividades, que son el trabajo que deseamos realizar (exige consumo de tiempo y medios, excepto por las virtuales o ficticias), y acontecimientos, que no consumen tiempo y representan el inicio o término de una actividad. Dependiendo del sistema que se utilice, las actividades pueden ser flechas y los acontecimientos nodos (círculo cuadros u óvalos) ó viceversa. La red siempre contendrá un acontecimiento inicial marcando el comienzo del proyecto y uno final que marque el término de éste [22].

Ventajas	Desventajas
1. Su trazado requiere un nivel mínimo de planificación	1. Dificulta el control simultáneo de varias actividades
2. Facilita la supervisión	2. No evalúa repercusiones de atrasos en la ejecución
3. Ordena las actividades en secuencia	3. Imposibilita el conocimiento de las actividades críticas
4. Estima el tiempo de una Obra	4. Dificulta la visión del conjunto de la Obra
5. Divide una obra en etapas (barras)	5. Dificulta determinar las secuencias e interrelaciones
6. Verifica incompatibilidades	6. La coordinación es escasa[28][25]

Tabla 2.1: Ventajas y Desventajas del Diagrama de Gantt

Algunas reglas para el trazo de la red son:

1. Cada actividad está representada por una y sólo una flecha en la red
2. Dos actividades diferentes no pueden identificarse por el mismo inicio y término, para evitar esto se deben usar actividades ficticias.
3. No pueden existir circuitos cerrados o bucles.
4. Evitar que las flechas sean curvas.
5. Evitar que las flechas se crucen.
6. Evitar en lo posible que las longitudes de las flechas sean desproporcionadas unas con otras.
7. Evitar en lo posible que tengan ángulos pequeños entre ellas.
8. Evitar el desorden en la numeración.
9. Evitar flechas ficticias innecesarias [22][1].

*Ejemplo 2.* Dadas una serie de actividades de una obra o proyecto y sabiendo que la actividad A precede a las actividades B, C y D, y éstas a la actividad E, dibujar el grafo correspondiente.

Los sistemas de análisis de grafos son fundamentalmente tres: C.P.M., P.E.R.T. y Roy.

Concepto	Precedencia
A	-
B	A
C	A
D	A
E	B, C, D

Tabla 2.2: Matriz de Información del Ejemplo 1. Trazo de una Red.

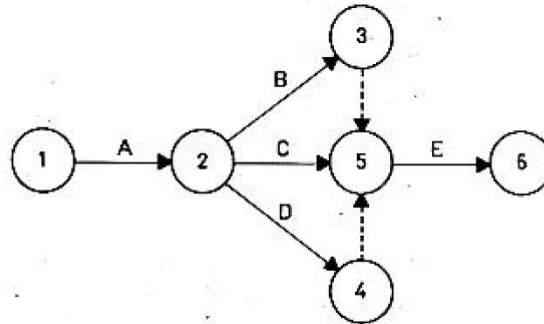


Figura 2.6: Red del Ejemplo 1. Fuente: Pomares, 1977.

### Método del Camino Crítico o C.P.M. (*Critical Path Method*)

Fue inventado en 1956 por James E. Kelley, de la empresa E. I. Du Pont de Nemours, y Morgan R. Walker, de la Remington Rand, al buscar un nuevo método de programación que les permitiera abordar proyectos mayores y más complejos, se utilizó por primera vez en la construcción de una planta química [22].

Este método nos permite conocer las actividades críticas que definen o determinan la duración de un proyecto. Esto significa que, si una actividad de la ruta crítica se retrasa, el proyecto entero lo hace en esa misma proporción.

Las actividades que no están en la ruta crítica tienen una holgura determinada, y por tanto pueden iniciarse más tarde, permitiendo que el proyecto se mantenga dentro del programa[25].

Para realizarlo se siguen estos pasos:

1. Identificar la correlación de las actividades.
2. Establecer la duración óptima de cada tarea.
3. Establecer las relaciones de precedencia.
4. Hacer la red.

5. Obtener los tiempos más lejanos.
6. Obtener los tiempos más cercanos.
7. Determinar la ruta crítica
8. Calcular las holguras[25][28].

Los tiempos y holguras mencionados se definen para cada actividad como se muestra a continuación:

**Fecha de comienzo más temprana.** Es el tiempo más corto en el que puede alcanzarse el inicio de una actividad, se obtiene al sumar las duraciones de las actividades necesarias para llegar a él por el camino más largo, esto es:

$$t_{ci} = \sum D \quad (2.1)$$

**Fecha de finalización más temprana.** Es el tiempo más corto en el que puede alcanzarse el término de una actividad, de acuerdo con la ecuación anterior este sería:

$$t_{cf} = t_{ci} + t_e \quad (2.2)$$

**Fecha de comienzo más tardía.** Es el tiempo más largo que puede transcurrir para alcanzarse el inicio de una actividad sin retrasar la siguiente, se calcula restando del comienzo más temprano de la siguiente actividad menos el tiempo de duración de la actividad, esto es:

$$t_{li} = t_{ci} - D \quad (2.3)$$

**Fecha de finalización más tardía.** Es el tiempo más largo que puede transcurrir para alcanzarse el término de una actividad sin retrasar la siguiente, esto es:

$$t_{lf} = t_{li} + t_e \quad (2.4)$$

**Holguras** Se le llama así al margen disponible para adelantar o atrasar el inicio o finalización de una actividad. Existen diferentes tipos de holguras, para ilustrarlas consideremos los eventos  $A$  y  $B$ , que representan el inicio y fin de una actividad dada, cada uno teniendo los tiempos más cercanos y más lejanos para su ocurrencia como se observa en la Figura 2.7. Con base en esto podemos definir los tipo de holguras:



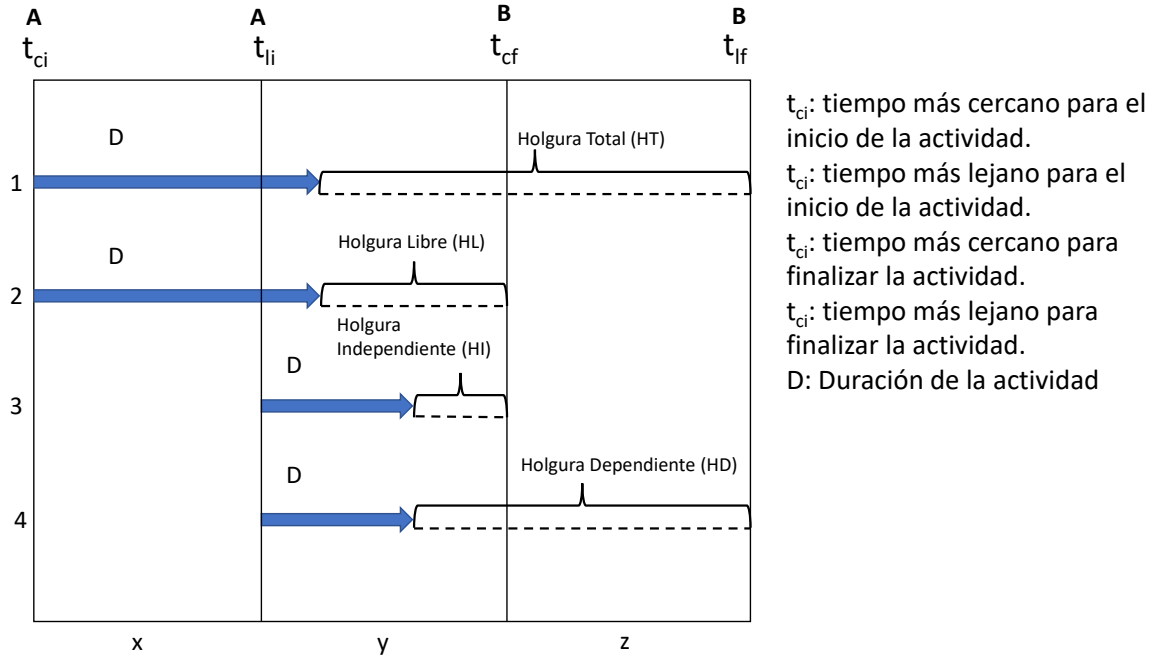


Figura 2.7: Tipos de Holgura. Fuente: Elaboración propia.

**Holgura Total (HT).** Es el atraso máximo que una actividad puede tener sin perturbar el plazo máximo para su finalización.

$$HT = t_{lf} - t_{ci} - D \quad (2.5)$$

**Holgura Libre (HL).** Es el atraso máximo que puede tener una actividad sin perturbar la fecha de inicio de la actividad que le sigue.

$$HL = t_{cf} - t_{ci} - D \quad (2.6)$$

**Holgura Independiente (HI).** Es el margen de tiempo disponible para que una actividad se inicie en el tiempo más lejano y termine en el tiempo más cercano de la actividad siguiente.

$$HI = t_{cf} - t_{li} - D \quad (2.7)$$

**Holgura Dependiente (HD).** Es el margen de tiempo disponible para que una actividad se inicie en el tiempo más lejano y termine en el tiempo más lejano de la actividad siguiente.

$$HL = t_{lf} - t_{li} - D \quad (2.8)$$

**Camino Crítico o Ruta Crítica.** Es el camino desde el inicio del proyecto hasta su término cuyas actividades tienen holgura cero (se les denomina actividades Críticas),

y por lo tanto cualquier retraso en estas actividades retrasa la fecha de término del proyecto. El camino crítico se indica con una doble línea en las actividades que lo forman[22].

La ventaja principal del método de ruta crítica es que muestra claramente la interrelación de las tareas y contribuye a destacar cómo pueden ocasionar problemas al terminarse el plazo programado. La mayor desventaja del método es que su lectura resulta difícil y se necesita demasiado tiempo para elaborarlo y ponerlo al día[25].

## Sistema PERT

Fue creado en 1958 por la Armada de los Estado Unidos, en colaboración con las empresas Lockheed y Booz-Allen & Hamilton, con el fin de coordinar plazos y actividades de las empresas que intervenían en la construcción de cohetes. Es un sistema análogo al C.P.M., siendo la principal diferencia la forma en que se obtiene la duración de las actividades. En el C.P.M., como ya vimos es determinístico, mientras que en el P.E.R.T la duración se obtiene por medios probabilísticos.

En este sistema pueden presentarse dos casos para la obtención de la duración de una actividad:

- Si se conocen las distribuciones de los tiempos operatorios, se puede determinar la duración media y la varianza de ésta.
- Si se desconocen, por comodidad en el cálculo, se utiliza la distribución  $\beta$

Esta simplificación con la distribución  $\beta$  si bien es ampliamente usada, es más recomendable utilizar una simulación Monte Carlo.

Cuando los tiempos de las actividades de un proyecto son muy desproporcionados entre sí, se usa la **Red de Vencimientos Sucesivos**, la cuál es un método gráfico que no utiliza una escala verdadera sino una representación de ésta, en esta red también es posible aplicar la metodología del CPM o PERT.

*Ejemplo 3.* Con la tabla 2.3 generar:

1. Red de Vencimientos Sucesivos: Figura 2.8
2. Programa de Escala No Uniforme: Figura 2.9

## Sistema CPM/PERT-Costos y Reducción de Red

En cualquier tipo de empresa los egresos producidos pueden ser: directos o indirectos. Llamamos costos directos a los consumidos directamente en la producción, es

Concepto	Secuencia	Tiempo
0	1	-
1	2	30
2	3, 4, 5, 6	5
3	7	7
4	8	1
5	9	21
6	10	37
7	11, 12	70
8	11, 12	89
9	10	54
10	13	93
11	13	86
12	13	199
13	-	36

Tabla 2.3: Tabla de Actividades del Ejemplo 3 (Red de Vencimientos sucesivos)

decir aquellos con una aplicación directa a un concepto de obra (materiales, mano de obra, maquinaria y subcontratos); y los costos indirectos son los de la estructura de la empresa ya sea en campo o en la oficina central. Los costos totales serán iguales a la suma de ambos[22].

Cuando se programa una obra mediante el método de redes, es posible calcular las actividades con datos de los recursos y costos integrados al programa, lo que permite el análisis duración-costo para cada actividad. En los métodos anteriores se asumió que la cantidad de tiempo necesaria para completar una actividad era fija, sin embargo, generalmente no es así; usualmente se puede alterar el tiempo necesario para completar una actividad[1]. Por ejemplo, para reducir o acortar un proyecto o una tarea podemos utilizar distintos procedimientos como:

1. Asignar más personas a la tarea.
2. Trabajar jornadas u horas extras.
3. Pagar primas a la mano de obra para adelantar su terminación.
4. Buscar otras estrategias o procedimientos constructivos[22].

Por lo que, en general para cualquier actividad existe una curva costo-tiempo (Figura 2.10) en la que:

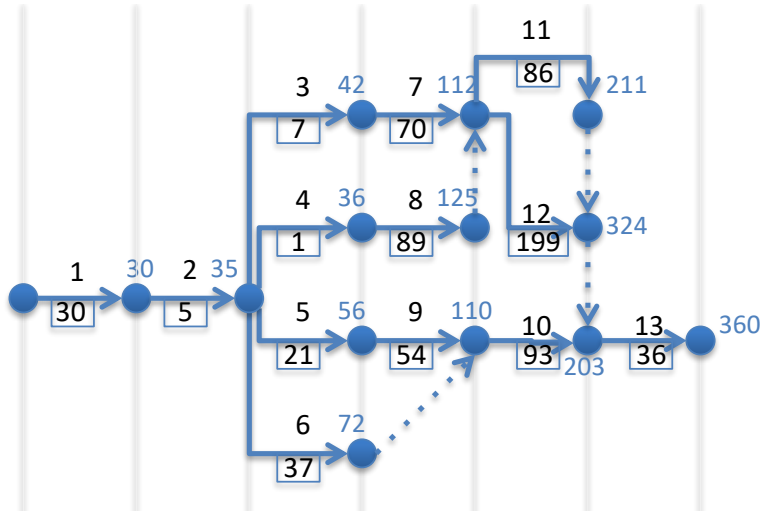


Figura 2.8: Red de Vencimientos Sucesivos. Fuente: Elaboración propia.

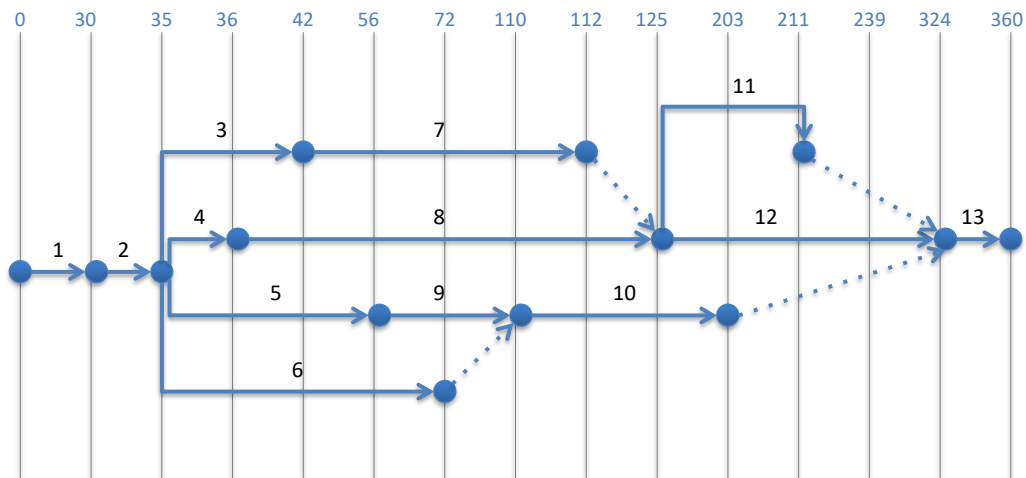


Figura 2.9: Programa de Escala No Uniforme. Elaboración Propia.

$B =$  Tiempo mínimo con mayor costo.

$A =$  Costo mínimo con mayor tiempo.

$$\text{siendo la pendiente} = \frac{C_B - C_A}{T_A - T_B}$$

(2.9)

Una vez que se tiene esta información para cada una de las actividades, estamos listos para aplicar CPM o PERT, según se asignen tiempos determinísticos o probabilísticos a las actividades, y con ello determinar las actividades críticas y holguras de las actividades no críticas[22].

Puesto que la duración de todo proyecto depende del tiempo necesario para terminar las diferentes actividades, es posible tener una escala o rango de duraciones en función de los tiempos necesarios para realizar cada actividad. Para cada duración

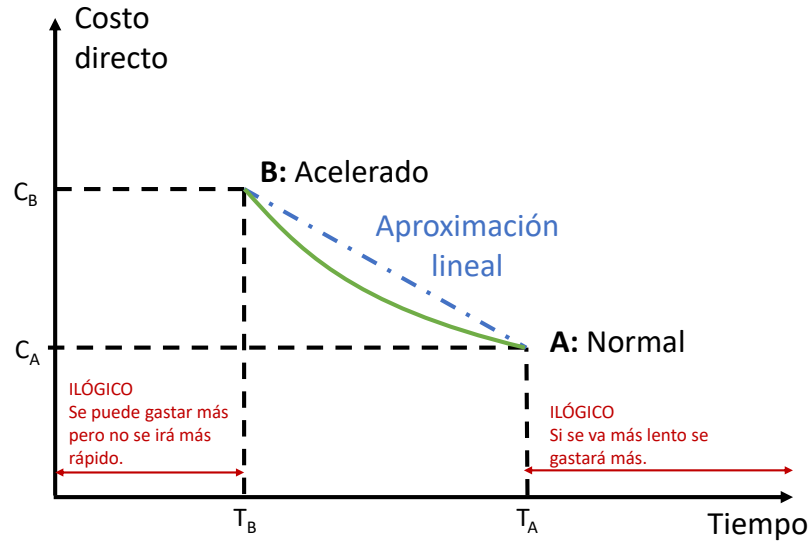


Figura 2.10: Relación entre el costo y la duración de una tarea. Fuente: Elaboración propia.

del proyecto el costo total será distinto[22]. Para aplicar esta metodología debemos:

1. Trazar la red e identificarla de acuerdo a la Figura 2.11. Donde:

- $a$  : concepto
- $t$  : tiempo normal
- $t_m$  : tiempo acelerado
- $N$  : presupuesto a tiempo normal
- $L$  : presupuesto a tiempo acelerado
- $m = \frac{L-N}{t-t_m}$  : pendiente de la Red

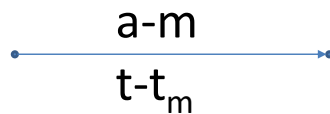


Figura 2.11: Identificación de la red para su reducción. Fuente: Elaboración propia.

2. Aplicar el método del máximo

- a) Dividir la red en todos los caminos posibles (desde el evento inicial hasta el final).
- b) Hacer la suma acumulada de los  $t_m$  de cada camino.
- c) Seleccionar el máximo de los tiempos acumulados obtenidos e identificar el Camino Critico a Tiempo Mínimo (CCTM).
- d) Trazar la Red del CCTM e identificarla de acuerdo a la Figura 2.12

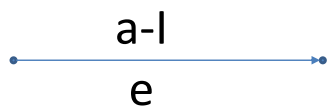


Figura 2.12: Identificación de las reducciones de red. Fuente: Elaboración propia.

3. Considerar el indirecto y determinar el incremento total o el ahorro total.
4. Aumentar una unidad y volver a calcular el incremento o ahorro total. Repetir hasta llegar a la duración normal del proyecto[21].

*Ejemplo 4.* Hacer la reducción y gráfica Costo vs Tiempo de la siguiente matriz de información:

Concepto	Secuencia	$t$	$t_m$	N	L	m
0	1, 3	-	-	-	-	-
1	2	2	1	600	1000	400
2	6	3	1	300	500	100
3	4, 5	3	2	800	1000	200
4	6	3	1	200	700	250
5	7, 8	5	3	300	900	300
6	9	4	2	500	700	100
7	9	4	1	300	900	200
8	-	6	2	300	1100	200
9	-	3	2	100	400	300

Tabla 2.4: Matriz de Información del Ejemplo 4.

1. Primero se traza la red y se calcula el camino crítico a tiempo normal: Figura 2.13.
2. Se hace la revisión de caminos posibles y selección del CCTM: Tabla 2.5.

Camino	Duración
1, 2, 6, 9	6
3, 4, 6, 9	7
3, 5, 7, 9	8 CCTM
3, 5, 8	7

Tabla 2.5: Revisión de caminos posibles.

3. Se calculan los costos de las reducciones posibles: Figura 2.16.

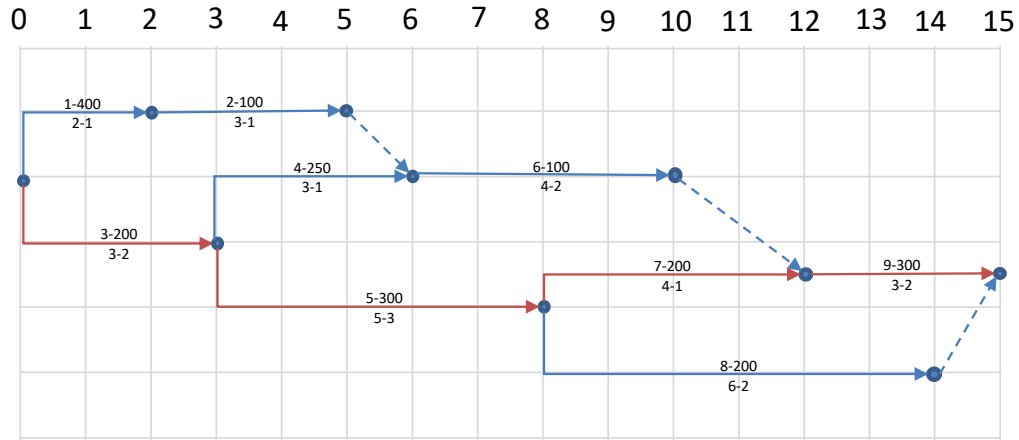


Figura 2.13: Red con camino crítico en rojo. Fuente: Elaboración propia.

4. Graficamos incrementos o ahorros para elegir la duración más conveniente: Figura 2.15.

Las principales Ventajas de CPM/PERT-Costos son:

- Proporcionan una disciplina lógica para planificar y organizar un programa detallado de largo alcance.
- Ofrecen una metodología estandarizada para comunicar los planes del proyecto mediante un cuadro de tres dimensiones: tiempo, personal, costo.
- Identifica los segmentos más críticos del plan en donde problemas potenciales puedan perjudicar el cumplimiento del programa propuesto.
- Muestra la posibilidad de simular los efectos de las decisiones alternativas o situaciones imprevistas y una oportunidad para estudiar sus consecuencias en relación con los plazos de cumplimiento de los programas.
- Aportan la probabilidad de cumplir exitosamente los plazos propuestos[25].

## Sistema de los Potenciales de Roy

En Francia en 1959, Berbard Roy propuso este método cuya diferencia con PERT/CPM es que en él los nudos representan actividades o tareas y los arcos o flechas representan las restricciones.

*Ejemplo 5.* Dadas las actividades cuyas duraciones y precedencias se indican en la Tabla 2.6, se pide: red con camino crítico y holguras en sistema Roy.

Concepto	Precedencias	Duración
A	C	2
B	D	3
C	E, F	5
D	E, F	4
E	G, I	6
F	H, K, G, I	3
G	J	5
H	J	7
I	-	8
J	-	3
K	-	9

Tabla 2.6: Matriz de Información.



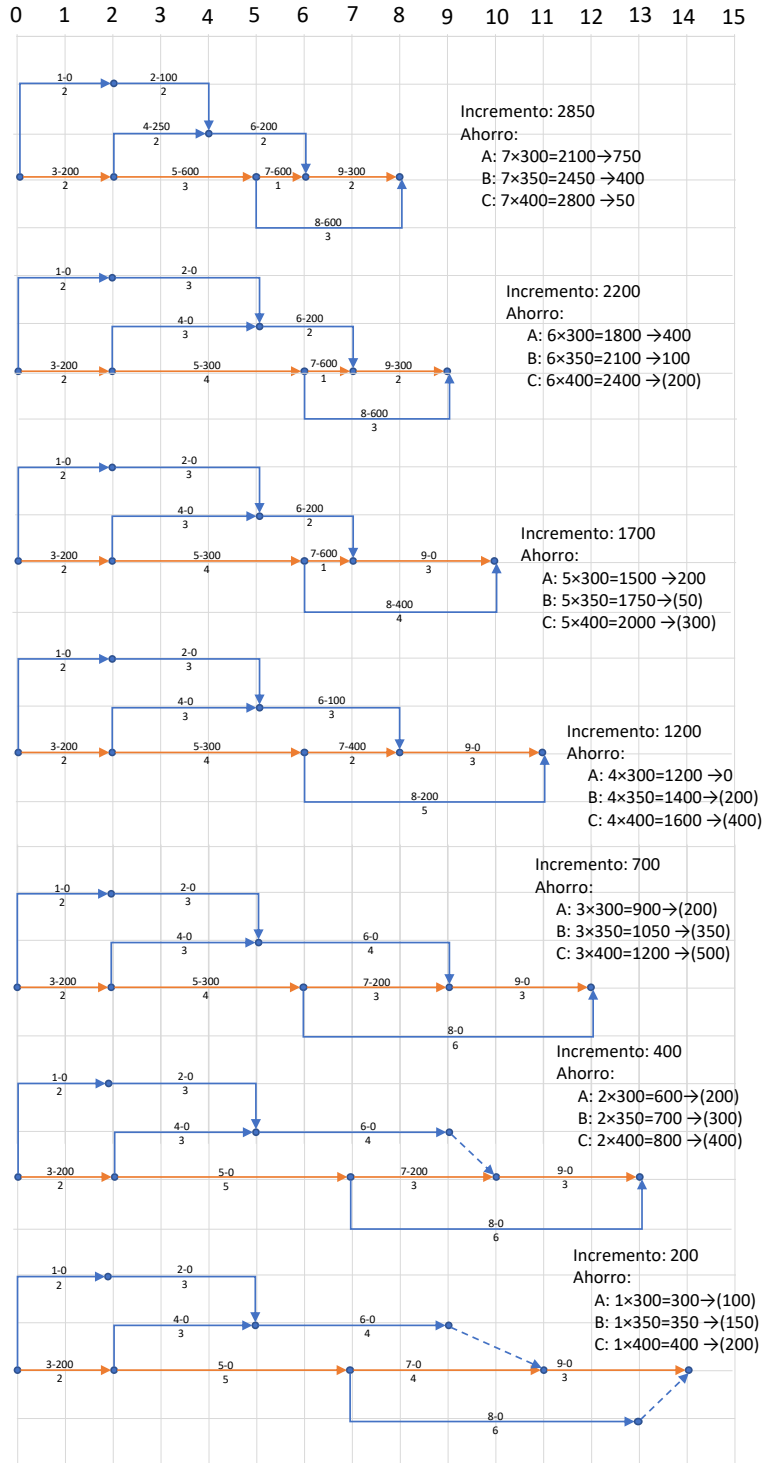


Figura 2.14: Cálculos con todas las duraciones posibles. Fuente: Elaboración propia.

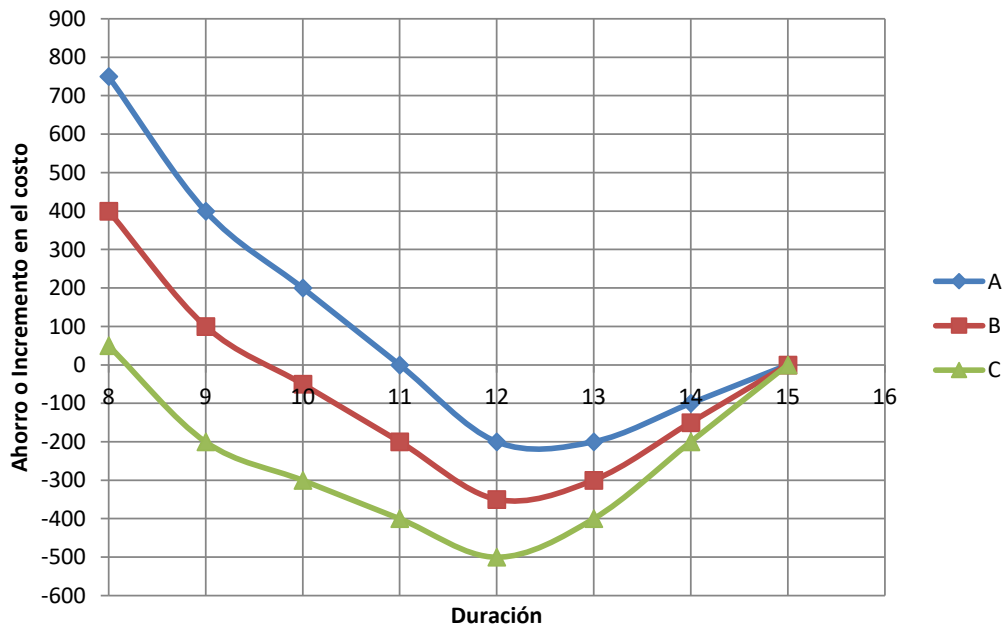


Figura 2.15: Diferencias en el costo contra duración. Elaboración propia.

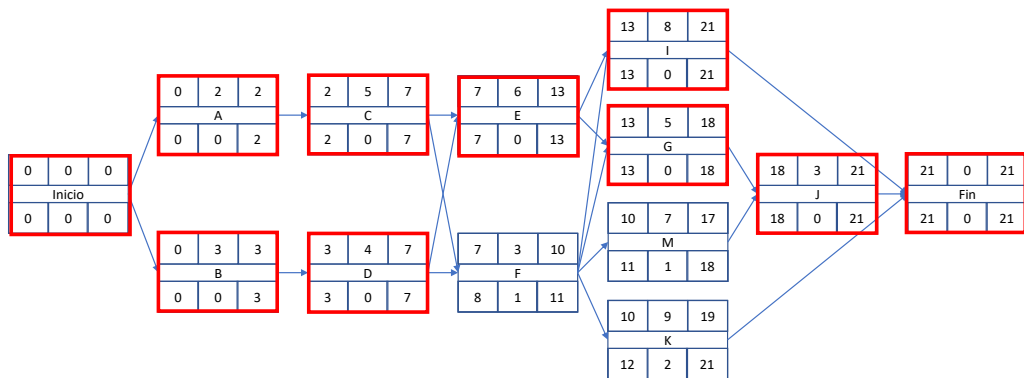


Figura 2.16: Solución del Ejemplo 5. Fuente: Elaboración propia.

# 3

## Filosofía Lean

*“If you always do what you always did, you’ll get what you always got ”*

– Henry Ford

### 3.1. Antecedentes históricos

Todo comenzó con Sakichi Toyoda, uno de los más grandes inventores japoneses, quien al observar lo duro que era para su madre y abuela el trabajar con los telares, decidió inventar uno (Figura 3.1). Este requería de sólo una mano para ser operado en lugar de dos, mejoraba la calidad de la tela final y tenía una eficiencia 45 % mayor [20].

Sakichi no se detuvo allí, y dado que no obtuvo el éxito que esperaba con sus telares manuales, inventó una máquina de hilar altamente eficiente con la que logró obtener los recursos suficientes para mejorar su telar y hacerlo motorizado (Figura 3.2). Además de esto, colocó en su telar un mecanismo que automáticamente detenía al telar cuando el hilo se rompía, este detalle más tarde evolucionaría a uno de los dos pilares del *Toyota Production System* llamado *jidoka* [20].

Debido a su experiencia como inventor, Sakichi pidió a su hijo, llamado Kiichiro Toyoda, dedicara su vida a crear algo que beneficiara a la sociedad, así como él lo había hecho con los telares. Kiichiro era ingeniero mecánico y al igual que a su padre le gustaba de aprender haciendo, lo que se le facilitó en la fabrica de telares de su padre [20].

Con el dinero que obtuvo de la venta de la patente del telar motorizado a la empresa Platt Brothers en Inglaterra fundó la que hoy se conoce como *Toyota Motor Corporation* en 1937, en la cual aplicó la filosofía aprendida de su padre y añadió innovaciones suyas, la más importante de estas fue lo que después se convertiría en el



Figura 3.1: El telar manual de madera de Toyoda, y las cartas y especificaciones de la patente. Fuente [https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda\\_sakichi/](https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda_sakichi/)

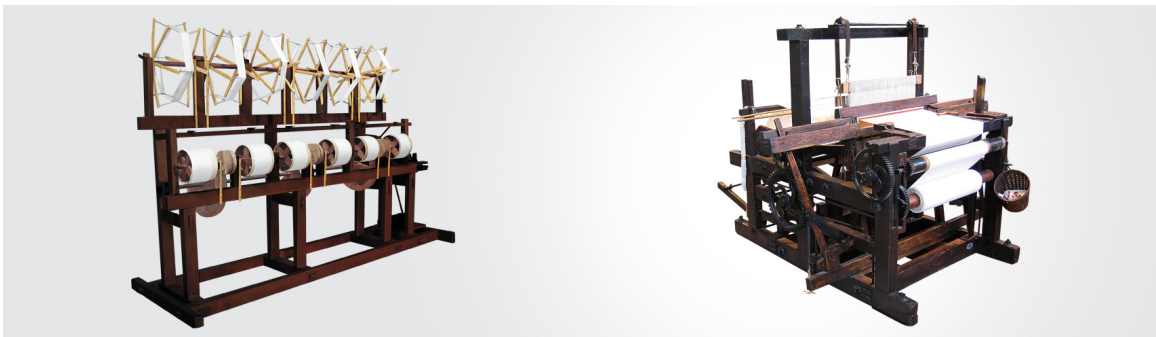


Figura 3.2: Maquina de hilar y telar motorizado de Toyoda. Fuente [https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda\\_sakichi/](https://www.toyota-industries.com/company/history/toyoda_sakichi/)

pilar *kanban*, también llamado *Just-In-Time*. Ideas que están inspiradas en un viaje que hizo a las plantas de Ford en Michigan, y en cómo los supermercados abastecen los productos justo a tiempo para que los consumidores los compren [20].

Sin embargo, la Segunda Guerra Mundial y la derrota de Japón en la guerra, le dieron un golpe muy fuerte a la economía del país. Y si bien existía mucha demanda por los automóviles, la inflación evitó que la compañía saliera a flote. Sin embargo las acciones de Kiichiro durante estos tiempos tuvo un impacto profundo en la historia y filosofía de Toyota [20].

Para evitar la bancarrota instauró recortes voluntarios en el salario de los gerentes, y 10 % de reducción del salario de los empleados a fin de evitar despidos. Cuando estos recortes no fueron suficientes pidió la renuncia voluntaria de 1600 trabajadores, lo cual hizo estallar huelgas y descontento entre los trabajadores. Al ver esto, Kiichiro decidió aceptar la responsabilidad del fracaso de la compañía y renunció como presidente de ésta, a pesar de que los problemas de la compañía estaban más allá del control de cualquiera. Esta acción calmó la insatisfacción de los trabajadores y motivó a que más de ellos renunciarán voluntariamente [20].

Hasta el día de hoy, la filosofía de Toyota refleja este sacrificio: "pensar más allá de las preocupaciones individuales para el bien a largo plazo de la empresa", y "tomar responsabilidad de los problemas" [20].

Otro de los miembros de la familia Toyoda que creció con el mismo principio de que para hacer las cosas tienes que hacerlas tú mismo y ensuciarte las manos, fue Eiji Toyoda primo de Kiichiro y sobrino de Sakichi, quién llevaría a la compañía a ser el mayor fabricante mundial de automóviles. Eiji ayudó a liderar, y posteriormente, dirigió la empresa durante los años de crecimiento después de la guerra. Además ayudó a consolidar la filosofía del clan Toyoda de formar y seleccionar a los líderes con los principios de Toyota [20].

Decidido a convertir a la empresa en líder mundial, Eiji decidió visitar junto con sus gerentes las plantas automotrices de Estados Unidos en 1950. Al hacerlo se sorprendieron de lo poco que habían cambiado las técnicas desde los años 30's y de las muchas fallas que presentaban. Siendo la principal la falta de un flujo continuo de producción. Al regresar Eiji le dió la tarea al gerente de planta Taiichi Ohno de mejorar el proceso de manufactura para que iguale la productividad de Ford en el mercado japonés [20].

Para lograr esto Eiji se basó en: las ideas de Ford sobre flujo continuo, estandarización de procesos y eliminación de desperdicios; en el concepto de *pull system* inspirado en los supermercados estadounidenses; y en las ideas de W. Edwards Deming sobre calidad. Y con ello logró crear junto con su equipo un nuevo paradigma del proceso de producción, llamado *Toyota Production System* (TPS) o *lean production*, que se fue extendiendo desde la planta de producción, hasta toda la empresa y sus proveedores [20].

Sin embargo, esta filosofía no llegó a otros países sino hasta que tres investigadores del Massachusetts Institute of Technology, James P. Womack, Daniel T. Jones, y Daniel Roos, se dieron cuenta de la significativa diferencia en productividad que había entre las industrias automotrices estadounidenses y las japonesas. Y publicaron este estudio en su libro *The Machine That Changed the World*, usando el término *lean* para describirlo, debido a que los mismos procesos en la industria japonesa requerían de menos mano de obra, menos materiales, menos espacio y menos tiempo [3].

## 3.2. Definición y Principios

### 3.2.1. Definiciones

Lean es crear valor para el cliente y eliminar desperdicio (o *muda* como se dice en japonés). Por lo que Lean production se define como un sistema de negocio para organizar y gestionar el desarrollo de un producto, las operaciones y las relaciones con clientes y proveedores, que requiere menos esfuerzo humano, menos espacio, menos capital y menos tiempo para fabricar productos con menos defectos según los deseos precisos del cliente, comparado con el sistema previo de producción en masa [23].

Valor es todo aquello que el cliente desea obtener, el resto será desperdicio el cual deberá ser eliminado o minimizado. Los desperdicios más comunes son:

1. **Sobre producción.** Producir artículos para los que no hay órdenes, lo cual a su vez genera desperdicios tales como exceso de personal, costos de almacenamiento y de transporte, debidos al exceso de inventario.
2. **Esperas.** Trabajadores esperando por una pieza, herramienta, material o equipo.
3. **Transporte.** El transporte de materiales o partes desde o hacia el almacén.
4. **Trabajos dobles.** Cada que se producen artículos de una calidad distinta a la requerida.
5. **Exceso de inventario.** Exceso de material, de piezas en proceso de producción o de piezas terminadas causan retrasos en el tiempo de entrega, obsolescencia o daño de las piezas, costos en transporte y almacenamiento, y demoras. Además, el inventario adicional oculta problemas tales como desequilibrios de producción, entregas tardías de proveedores, defectos, tiempo de inactividad del equipo y tiempos de configuración largos.
6. **Movimientos innecesarios.** Cualquier movimiento extra que los empleados tengan que hacer para realizar su trabajo, ya sea buscar una pieza o herramienta, alcanzar o apilar partes, etc., implican un desperdicio.

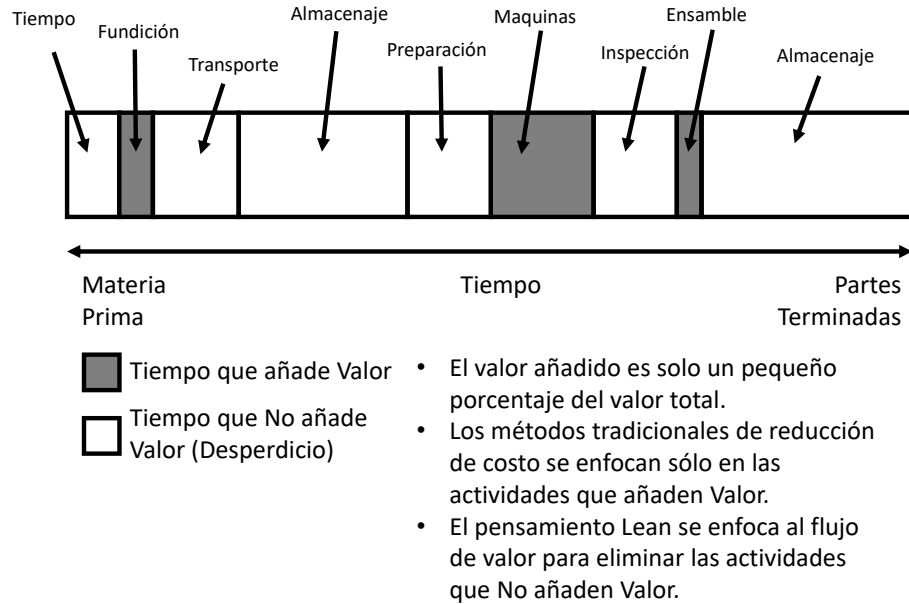


Figura 3.3: Desperdicio en un Sistema de Valor. Fuente: Liker, 2013.

7. **Defectos.** Producción de partes defectuosas y la corrección de éstas.
8. **No utilizar la creatividad de los empleados.** Pérdida de ideas, habilidades, mejoras y enseñanzas por no conversar y escuchar a los empleados [20].

El diagrama *TPS House* fue encargado a Fujio Cho por Ohno para ayudar en la enseñanza del TPS, se eligió representarlo con una casa por ser ésta un sistema estructural, donde si el techo, columnas o cimentación fallan, el sistema completo falla, cada elemento es crítico para el funcionamiento de todo el sistema [20].

Comienza con los objetivos de mejor calidad, menor costo y el tiempo de entrega más corto; que representan el techo. Hay dos pilares externos, justo a tiempo (*just in time*), probablemente la característica más conocida del TPS, y jidoka, que en esencia significa nunca dejar que un defecto pase a la siguiente estación y liberar a las personas de las máquinas (automatización). En el centro del sistema está la gente, porque sólo con la mejora continua de ésta es que se logrará la estabilidad que el sistema requiere. Y finalmente, en la cimentación, hay varios elementos fundamentales, que incluyen la necesidad de procesos estandarizados, estables y confiables; el llamado *heijunka*, que significa nivelar el cronograma de producción tanto en volumen como en variedad; hacer los procesos visibles y por tanto mejorar la comunicación; y la filosofía [20].

### 3.2.2. Principios

I Filosofía a Largo Plazo.

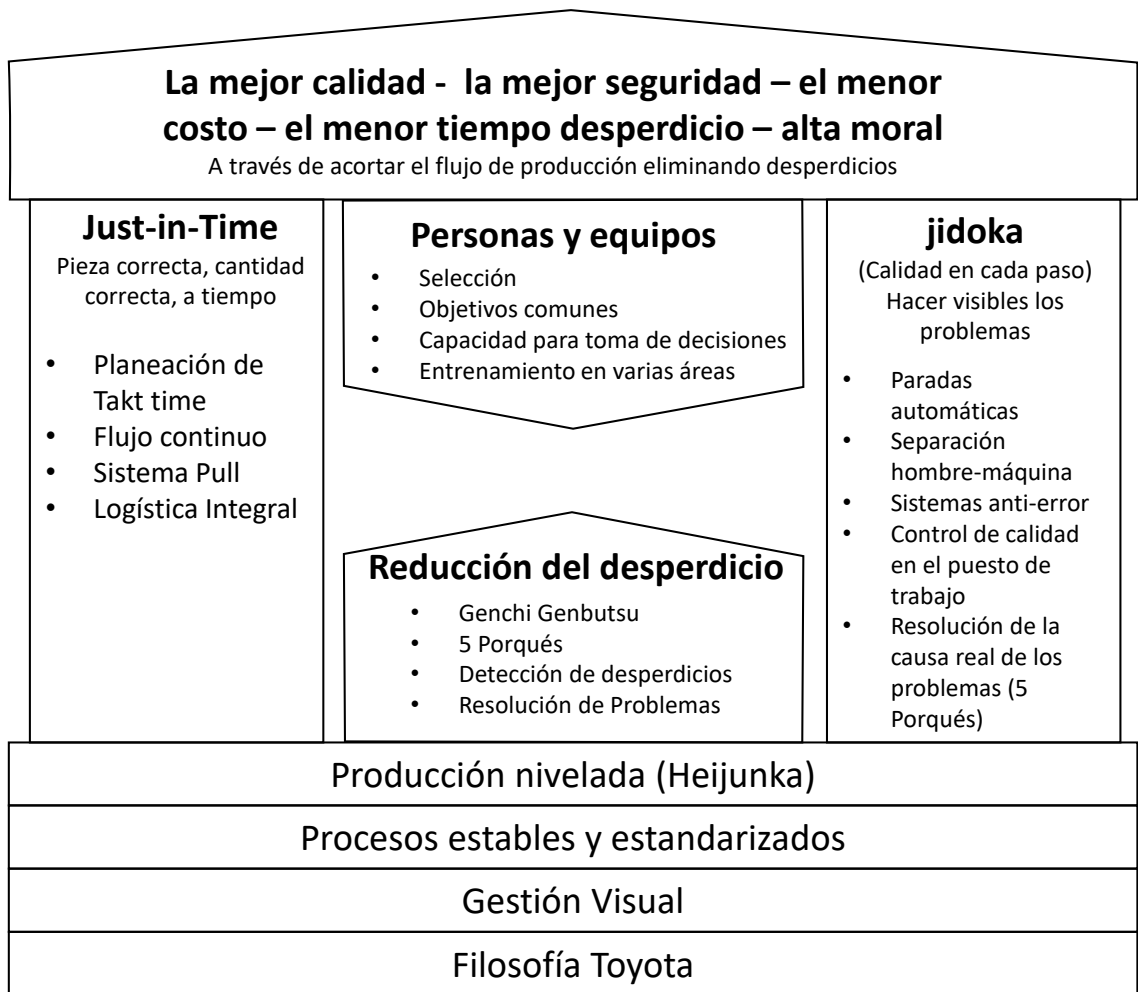


Figura 3.4: El Sistema de Producción de Toyota. Fuente: Liker, 2013.



- 1 Basar las decisiones administrativas en una filosofía a largo plazo, incluso a expensas de los objetivos financieros a corto plazo.
- II El procedimiento adecuado producirá los resultados adecuados.
- 2 Crear un flujo de proceso continuo para que los problemas salgan a la superficie.
  - 3 Usar sistemas "pull" para evitar la sobreproducción.
  - 4 Nivelar la carga de trabajo (heijunka). (Trabajar como la tortuga y no como la liebre).
  - 5 Desarrollar una cultura de detenerse para solucionar problemas, para obtener la calidad correcta desde la primera vez.
  - 6 Las tareas estandarizadas son la base para la mejora continua y el empoderamiento de los empleados.
  - 7 Usar controles visuales para que no haya problemas ocultos.
  - 8 Usar sólo tecnología confiable y completamente probada que sirva a la gente y a los procesos.
- III Añade valor a la organización desarrollando a tu gente.
- 9 Hacer líderes que entiendan a fondo el trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a otros.
  - 10 Desarrollar personas y equipos excepcionales que sigan la filosofía de la empresa.
  - 11 Respetar a los socios y proveedores de la empresa, desafiándolos y ayudándolos a mejorar.
- IV La continua solución de problemas de raíz aumenta el aprendizaje organizacional.
- 12 Ir y ver por uno mismo para entender a fondo la situación (genchi genbutsu).
  - 13 Tomar decisiones lentamente y por consenso, considerando a fondo todas las opciones; implementar decisiones rápidamente.
  - 14 Convertirse en una organización de aprendizaje a través de la reflexión implacable (hansei) y la mejora continua (kaizen) [20].

### 3.3. Implementación

Como hemos visto la Filosofía Lean o Toyota es más que un conjunto de herramientas y técnicas, y requiere de un compromiso de toda la organización y de tiempo, ya que está diseñado para que la gente esté en constante búsqueda de mejorar el trabajo que realizan.

Algunas recomendaciones para realizar este cambio en una empresa son:

1. **Empezar por la parte técnica, seguido de un rápido cambio en la filosofía.** Si una compañía quiere cambiar la cultura, debe desarrollar líderes lean que puedan reforzar la cultura de cambio. La mejor forma de hacer esto se logra mejorando los flujos de valor principales de la compañía, apoyándose en los líderes que refuercen esa cultura.
2. **Aprender primero haciendo las cosas y después capacitarse en ello.** La mejor capacitación requiere de experiencia práctica. Esta filosofía busca poner a las personas en situaciones difíciles para que aprendan a resolver los problemas que se les presenten.
3. **Hacer líneas de producción piloto para demostrar cómo es un sistema lean y que otras áreas puedan ir a verlo.** Para una planta esto sería crear toda una línea de producción lean desde el suministro de materia prima hasta el producto terminado. En una empresa de servicios, sería hacer lean un procedimiento del negocio de principio a fin.
4. **Utilizar el *Value Stream Mapping* para desarrollar visiones de estados futuros.** *Value Stream Mapping* es un método para mostrar en un diagrama el flujo de material e información. Cuando se desarrolla esta herramienta, se recomienda tener a administradores y a trabajadores durante este proceso. De esa forma el equipo aprende junto dónde está el desperdicio en el estado actual, y juntos deciden como aplicar la filosofía y herramientas lean en el estado futuro.
5. **Usar los talleres *kaizen* para enseñar como hacer cambios rápidos.** El taller *kaizen* permite a un equipo hacer cambios en una semana que de otra forma podrían tomar meses hacerlos, se deben usar como herramienta para implementar cambios específicos guiados por un estado futuro del *Value Stream Map*.
6. **Organizarse alrededor de los flujos de valor.** En la mayoría de las organizaciones la administración está organizada por proceso o por funciones, lo que resulta en que los administradores sean responsables de un paso del proceso de crear valor para el cliente, pero nadie es responsable del flujo completo. Si se quiere tener líderes que entiendan el producto y el proceso, deben ser responsables de todo el proceso de crear valor para un cliente y tomar responsabilidad frente a éste.
7. **Hacerlo obligatorio.** Si se toma como algo voluntario, la transformación a lean no va a suceder.
8. **Una crisis puede detonar un movimiento lean, pero esto no implica que logre transformarse a toda la compañía.** Una crisis donde la compañía esta muy cerca de la quiebra, moviliza a la dirección y a los trabajadores a tomar en serio la filosofía lean, pero es importante recordar que esta filosofía es a largo plazo.

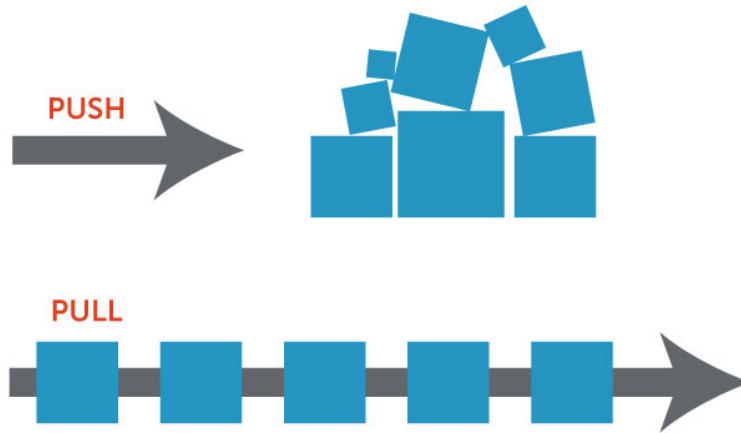


Figura 3.5: Sistemas Push y Pull. Fuente: All About Lean, 2015.

9. **Estar alerta a las nuevas oportunidades que den impactos financieros grandes.** Esto es principalmente importante cuando la compañía no está convencida de la filosofía lean.
10. **Alinear las metas con la perspectiva de flujo de valor.** Se debe eliminar aquellas métricas que no sean lean (número de piezas producidas, número de horas trabajadas, etc.), e implementar aquellas que ayuden a medir el flujo de valor (tiempo en el inventario, calidad del primer producto, etc.)
11. **Construir la historia de la compañía para desarrollar sus propios valores y filosofía.** Toyota tiene su filosofía, que como vimos se fué construyendo a lo largo de su historia, cada compañía necesita construir su historia y su filosofía.
12. **Contratar o desarrollar a líderes lean, y desarrollar un sistema de sucesión.** Los líderes, dentro de la filosofía lean, deben entender, creer y vivir la filosofía de la empresa. Además de entender a detalle el producto, su fabricación y cómo involucrar a la gente.
13. **Usar a expertos como profesores para así obtener resultados rápido.** Un experto será aquel que domine su área de conocimiento y además tenga al menos 5 años de experiencia en lean, este tipo de persona apresurará el cambio enseñando a través de la aplicación de la filosofía y las herramientas [20].

### 3.4. Sistemas Pull y Pull

Una distinción clave entre Lean y los métodos tradicionales es el sistema Pull de Lean contra el sistema usual llamado Push (Figura 3.5). En la figura 3.6 se muestra una secuencia típica de un sistema Push con tres empleados trabajando en tres procesos consecutivos, en este ejemplo cada empleado hace su trabajo al mismo tiempo

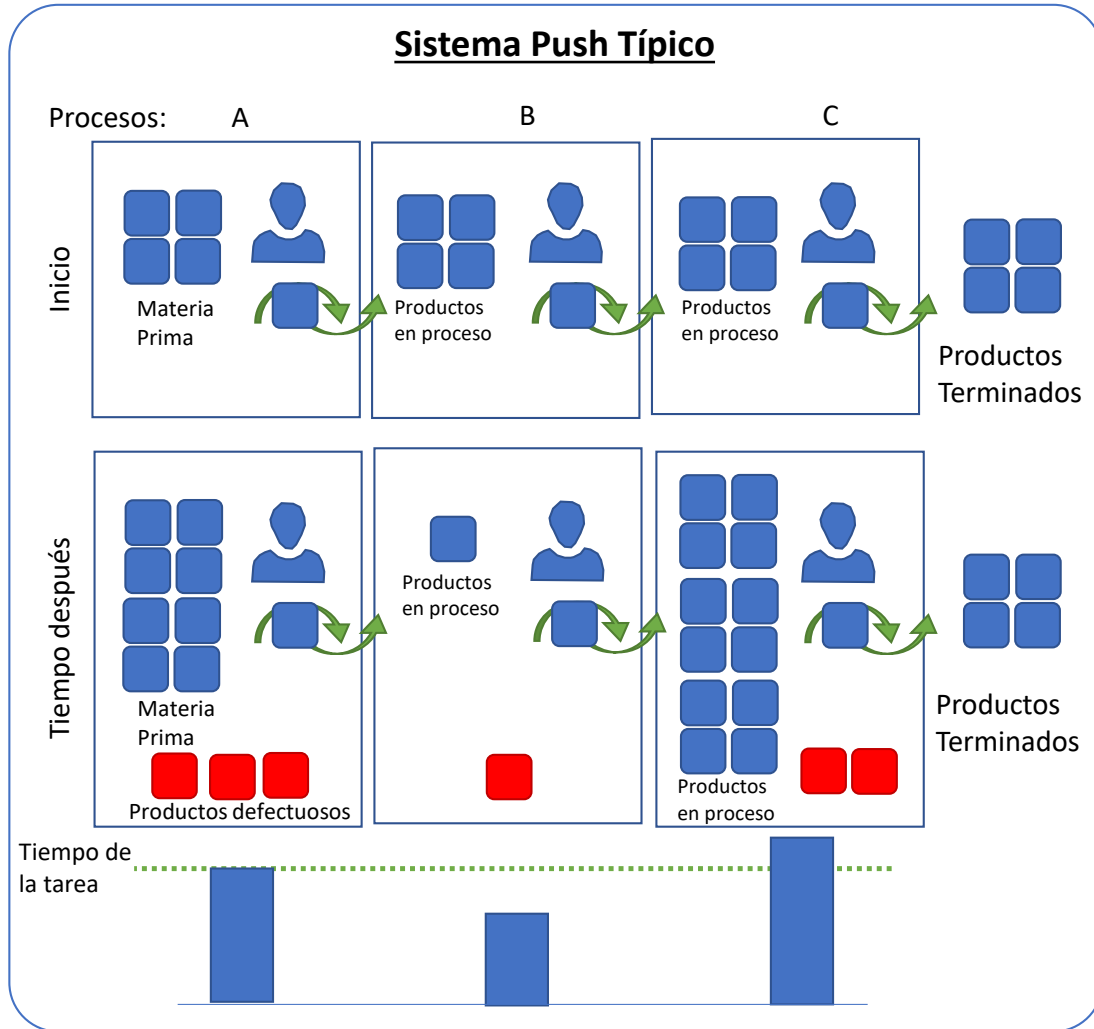


Figura 3.6: Sistema Push. Fuente: Kaufman Global, 2017.

de forma independiente, y una vez completado lo pasa a la siguiente estación, además se ha supuesto que cada empleado trabaja a la misma velocidad siempre.

En el escenario de “Inicio” se ilustra la situación justo cuando han comenzado a trabajar en un nuevo producto. El trabajador A tiene cuatro piezas de materia prima en inventario. Hay también cuatro piezas de Productos en Proceso esperando a pasar por las etapas B y C, cada empleado tiene una pieza en la que se encuentra trabajando, y hay cuatro piezas de productos terminados esperando a ser transportadas.

También observamos que los procesos no están balanceados, esto debido a que cada trabajador requiere de distintos tiempos para completar su tarea. Dado que el Proceso C toma mayor tiempo para ser completado, éste será un cuello de botella y determinará la capacidad del sistema.

Después de cierto tiempo de operar, el escenario de “Inicio” se convierte en el de

“Tiempo después” (mostrado en la parte de abajo de la Figura 3.6). Debido a que el sistema no está balanceado, el empleado B constantemente se queda sin material con el cual trabajar. El gerente, al ver esto, ordena que se agregue más trabajo al sistema con lo cual se agrega más materia prima al inventario y horas extras al trabajador A, hasta que logra que todos los trabajadores estén ocupados todo el tiempo.

Como resultado de esto se obtiene una gran cantidad de inventario de todo tipo: materia prima, productos en proceso y productos terminados. Al ver a los empleados ocupados y mucho inventario, el gerente tiene la falsa percepción de que muchos productos están casi listos para cubrir la demanda del cliente. Pero como mencionamos anteriormente la capacidad del sistema está determinada por el proceso C, y todo el inventario de materia prima y productos en proceso son irrelevantes para cubrir los requerimientos del cliente.

En lugar de balancear el trabajo en cada etapa, la reacción del sistema push es utilizar horas extras, más trabajadores, equipo más costoso, o todas las anteriores.

Nótese que los cuadros rojo que aparecen en el escenario de “Tiempo después” son piezas con defectos.

La Figura 3.7 representa los escenarios “Inicio” y “Tiempo después” análogos al sistema pull. En el “Inicio” los tiempos para completar cualquier unidad son iguales a los de la Figura 3.6, pero hay muy poco inventario.

El sistema pull comienza cuando los productos terminados son removidos de la estación 1, esto crea un espacio vacío que da una señal para que la estación C trabaje en reponer los productos terminados. Una vez que el trabajador C ha repuesto los productos terminados en la estación 1, debe dejar de trabajar hasta que se vuelvan a llevar estos.

De igual forma la señal pull viaja al resto de estaciones cuando la estación consecutiva a éstas requiere piezas. Si no hay señal pull, no pueden procesar otra pieza. Además si existe un problema en una parte de la cadena de procesos, la línea entera se detiene, evitando así productos defectuosos.

En el sistema pull hay un esfuerzo continuo por balancear el trabajo entre estaciones adyacentes, eliminar tiempos de espera y reducir el inventario de productos en proceso [16].

Un ejemplo de esto en la construcción sería: En el Sistema Push, se arma todo el acero y se coloca toda la cimbra que se pueda. En el sistema Pull se le coloca cimbra sólo a los elementos que se van a colar, y se arma solo los elementos a los que se les va a colocar cimbra.

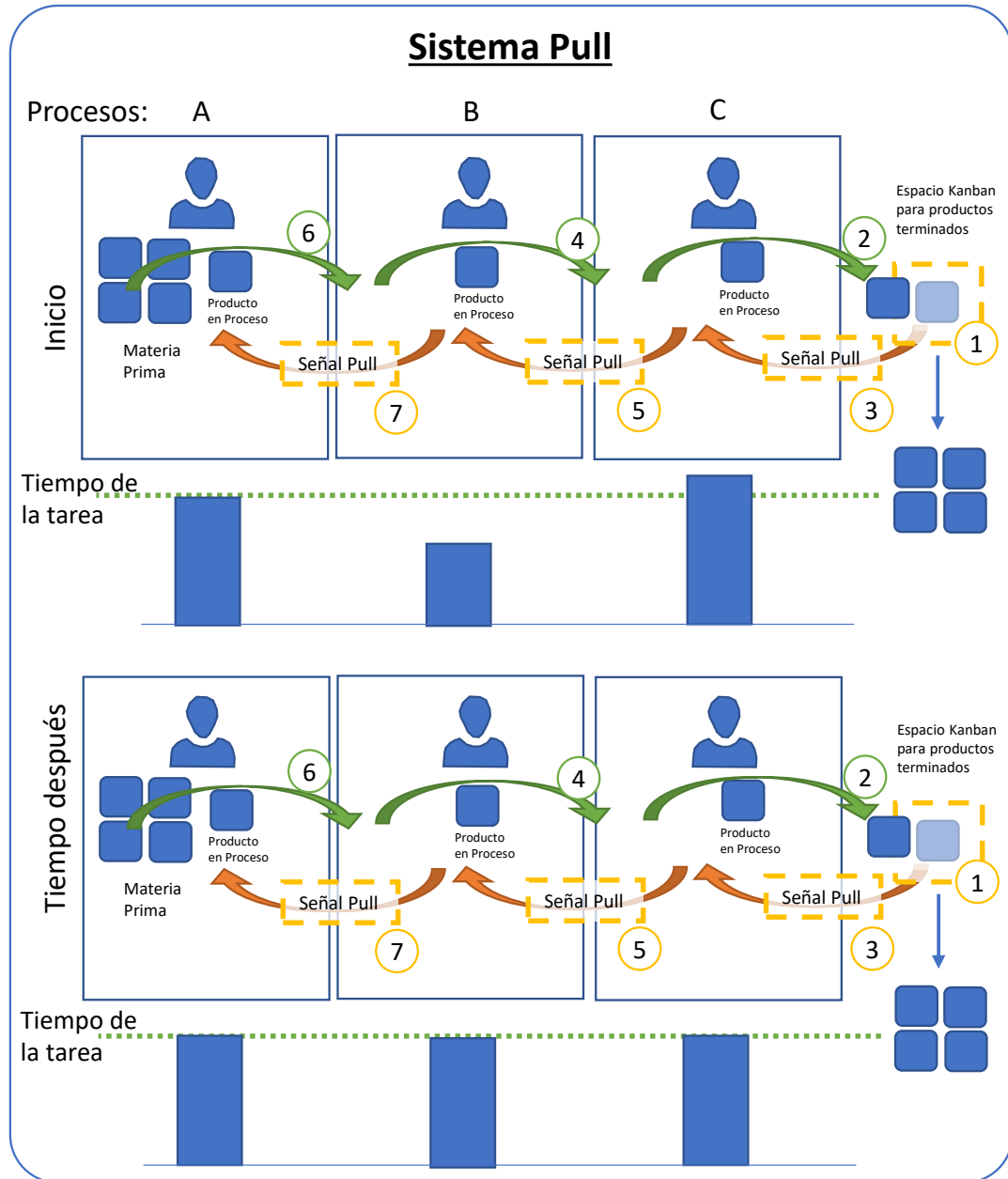


Figura 3.7: Sistema Pull. Fuente: Kaufman Global, 2017.

## 3.5. Lean Construction

En 1992 Lauri Koskela propuso la aplicación de los principios y herramientas lean a un proyecto de construcción, y en 1993 se creó el Grupo Internacional de Lean Construction (o construcción sin pérdidas).

El Lean Construction Institute (LCI) define el término Lean Construction como: “Un enfoque basado en la gestión de la producción para la entrega de un proyecto - una nueva manera de diseñar y construir edificios e infraestructuras. La gestión de la producción Lean ha provocado una revolución en el diseño, suministro y montaje del sector industrial. Aplicado a la gestión integral de proyectos, desde su diseño hasta su entrega, Lean cambia la forma en que se realiza el trabajo a través de todo el proceso de entrega. Lean Construction se extiende desde los objetivos de un sistema de producción ajustada - maximizar el valor y minimizar los desperdicios - hasta las técnicas específicas, y las aplica en un nuevo proceso de entrega y ejecución del proyecto. Como resultado:

- La edificación o infraestructura y su entrega son diseñados juntos para mostrar y apoyar mejor los propósitos de los clientes.
- El trabajo se estructura en todo el proceso para maximizar el valor y reducir los desperdicios a nivel de ejecución de los proyectos.
- Los esfuerzos para gestionar y mejorar el rendimiento están destinados a mejorar el rendimiento total del proyecto, ya que esto es más importante que la reducción de los costos o el aumento de la velocidad de ninguna actividad aislada.
- El Control se redefine como pasar de “monitorear los resultados” a “hacer que las cosas sucedan”. Los rendimientos de los sistemas de planificación y control se miden y se mejoran.
- La comunicación fiable del trabajo entre especialistas en diseño, suministro y montaje o ejecución asegura que se entregue valor al cliente y se reduzcan los desperdicios. Lean Construction es especialmente útil en proyectos complejos, inciertos y de alta velocidad. Se cuestiona la creencia de que siempre debe haber una relación entre el tiempo, el costo y la calidad (mayor calidad y mayor velocidad no tiene por qué implicar mayor costo).

La construcción se ha visto a menudo como una clase propia, diferente de la fabricación, y tradicionalmente se han rechazado muchas de las ideas del sector industrial o se han tardado en incorporar. Las barreras a las que se enfrenta la industria de la construcción para la implementación de Lean construction son:

- Falta de conocimiento del significado de Lean y sus beneficios.

- Falta de formación.
- Falta de compromiso por parte de propietarios y gerentes.
- Creencia de que Lean absorberá demasiado tiempo.
- Pobre comunicación y falta de colaboración entre promotores, constructores, clientes y consultores externos.
- Dificultad para alinear los intereses de las diferentes partes.
- Lean requiere de cambios de pensamiento y de comportamiento que no todos aceptan.
- Falta de compromiso de los miembros del equipo o rechazo a cambios de actitud.

Un informe sobre el estado de Lean en la Construcción en EE. UU. (2012) y otro informe más reciente de McGraw Hill Construction (2013) sobre la aplicación de Lean Construction en proyectos de edificación revelan que en aquellas empresas que ya han utilizado prácticas Lean entre el 70 % y el 85 % han alcanzado un nivel alto o medio sobre una amplia variedad de beneficios, entre los que se incluyen como resumen los indicados en la Tabla 3.1:

<b>Informe sobre el estado de Lean en la Construcción en EE.UU. (2012)</b>	<b>Informe de McGraw Hill Construction sobre la aplicación de Lean Construction (2013)</b>
Mejor cumplimiento del presupuesto	Mayor calidad en la construcción.
Menor número de cambio de órdenes y pedidos	Mayor satisfacción del cliente.
Rendimiento más alto de entregas a tiempo	Mayor productividad.
Menor número de accidentes	Mejora de la seguridad.
Menor número de demandas y reclamaciones	Reducción de plazos de entrega.
Mayor entrega de valor al cliente	Mayor beneficio y reducción de costos.
Mayor grado de colaboración	Mejor gestión del riesgo.

Tabla 3.1: Beneficios de Lean Construction.

Como podemos ver la implantación del sistema Lean proporciona numerosas mejoras y beneficios en un amplio número de aspectos de la empresa y es clave para su competitividad[23].

En el siguiente capítulo se analizará El Sistema Last Planner, que es la técnica más divulgada dentro de la filosofía de Lean Construction, cuya propuesta es modificar el proceso de programación y control de obra con el fin de crear un ambiente estable de trabajo, protegiendo a la producción de la incertidumbre y la variabilidad[26].



# 4

## Last Planner System

*“None of us is as smart as all of us.”*

– Ken Blanchard

### 4.1. Introducción

El sistema de Last Planner está basado en los principios de Lean Construction, su objetivo es incrementar la confiabilidad de la planeación, y por lo tanto, mejorar el desempeño. Esto lo hace tomando acciones en varios niveles del sistema de planeación.

El ciclo de Last Planner (Figura 4.1) comprende: el plan maestro, que contiene el proyecto completo; los planes por fases que surgen de la planeación colaborativa; el plan *lookahead* que incluye análisis de restricciones; y el plan de trabajo semanal con el indicador de porcentaje de plan completado (PPC).

La planificación inicial (también llamada *front end*) comienza con el plan maestro, el cual a su vez, inicia con la planeación estratégica, identificando los hitos más importantes e incorporando la metodología del Método del Camino Crítico para determinar la duración total del proyecto. Posteriormente, la planeación por fases genera un programa detallado que se va mejorando durante el proyecto, siendo éste una versión más detallada del plan maestro. Usando planificación colaborativa combinada con programación inversa <sup>1</sup>, los entregables y relaciones entre actividades son evaluadas resultando, algunas veces, en modificaciones.

La planeación final (también llamada de producción) comienza detallando las actividades de los programas por fase para llegar al plan *lookahead*, el cual consiste en

---

<sup>1</sup>La programación inversa consiste en planear partiendo de la última actividad hacia atrás, a través de la prueba pull: “¿Qué necesitamos tener hecho para poder realizar esta actividad?”

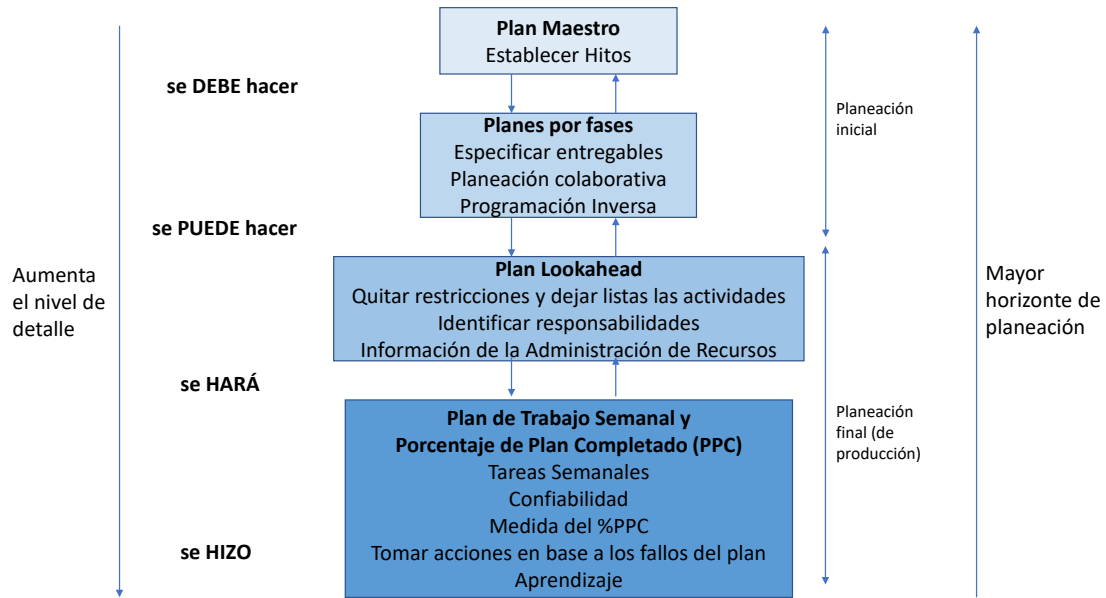


Figura 4.1: Ciclo de Last Planner. Fuente: Lean Construction Institute, 2007.

una lista de actividades que se necesitan realizar dentro de las siguientes 4 a 12 semanas. El plan es actualizado cada semana y con ello se estudian las restricciones que puedan afectar el flujo continuo de trabajo. La identificación de responsabilidades y el prepararse para iniciar las actividades es consecuencia del análisis de la información de la administración de recursos.

El plan de trabajo semanal es el más detallado de todo el sistema y es el que dirige la producción. En este nivel, la confiabilidad del plan se asegura al programar sólo aquellas actividades que cumplan con ciertas características para que su probabilidad de terminar en tiempo y forma sea mayor. Al final de cada semana se analiza la cantidad de trabajo realizado para medir la confiabilidad del sistema de planeación, además de analizar las razones de incumplimiento y aprender de éstas.

La Figura 4.2 muestra las diferentes actividades de planeación realizadas durante el ciclo Last Planner para establecer un flujo continuo y confiable de trabajo [17].

## 4.2. Programa Maestro

El Programa Maestro se hace durante la planeación inicial, y representa el proyecto a nivel de hitos dictados por las restricciones y objetivos del proyecto, especificando el tiempo de las varias fases del proyecto. Como se mencionó en el capítulo 2, estas restricciones están dadas por las condiciones de contratación y otras características externas del proyecto.

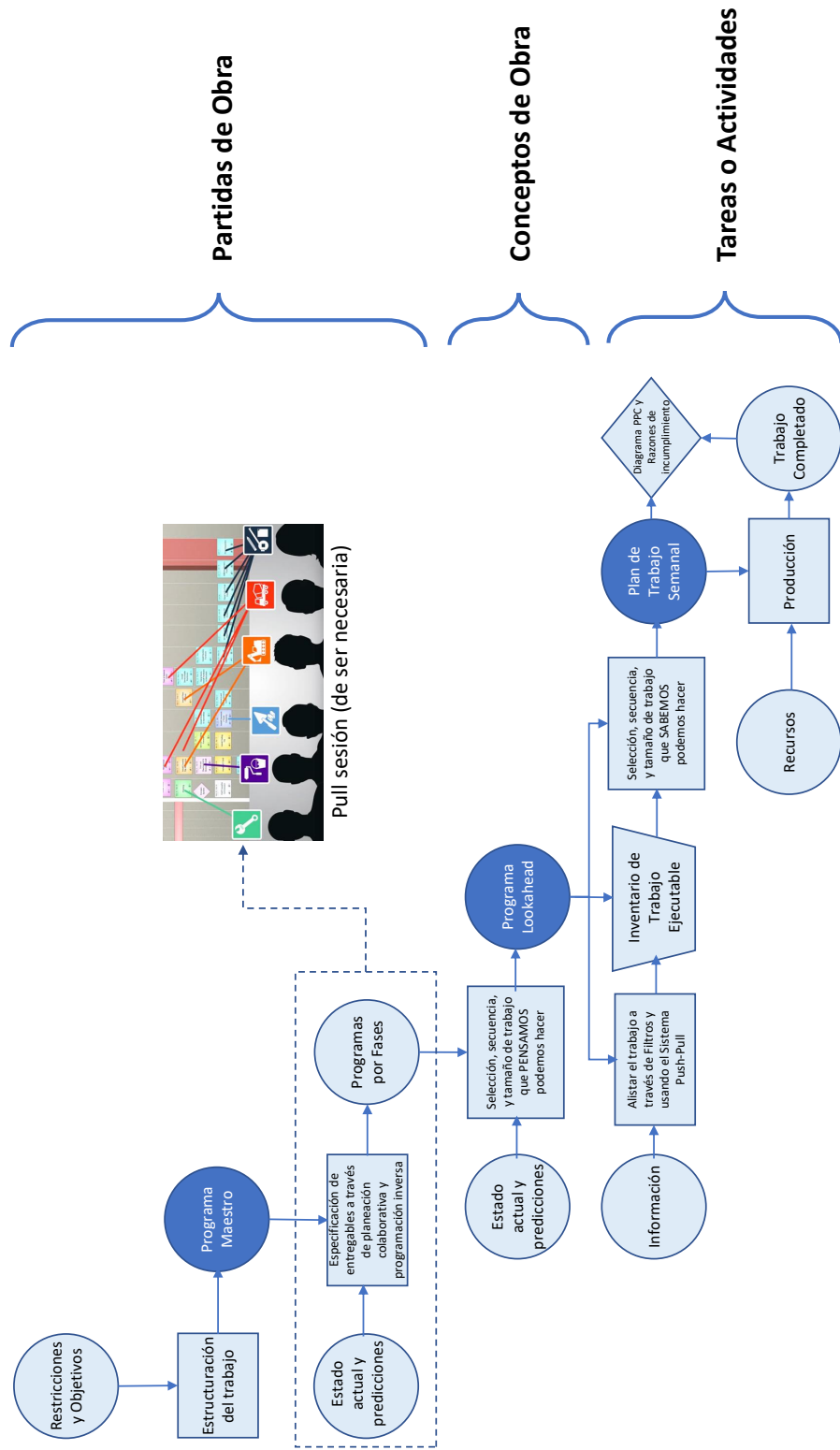


Figura 4.2: Actividades del Ciclo de Last Planner. Fuente: Lean Construction Institute, 2007.

Este programa descompone al proyecto por función, área o producto. Además, abarca la duración completa del proyecto y representa a las actividades a un nivel general con un horizonte de planeación muy amplio[17].

### 4.3. Método de Planeación por Fases o Pull Session

El propósito de este programa es la integración y coordinación de las diferentes áreas a través de sus especialistas. El nivel de detalle será tal que las distintas áreas indiquen el o los entregables que se tendrán al finalizar los trabajos por etapa, estos entregables se convertirán en las metas a alcanzar a través del control de la producción.

Para realizar esta planeación es conveniente seguir estos pasos:

1. Se examinan planos y especificaciones.
2. Se define el trabajo que se va a incluir en la fase.
3. Se determina la fecha de término para la fase, y alguno otros hitos.
4. Usando Programación Inversa se desarrolla la red de actividades de la fase. En la cual se determinan las duraciones y secuencia de las actividades, y la holgura de la fase.
5. Se determina el comienzo más temprano de la fase.
6. Se decide a qué actividades se va a asignar la holgura.
7. Se verifica que haya un concenso de todas las áreas sobre los hitos y la lógica del programa.
8. Si sobra algo de holgura, se decide si se atrasa el comienzo de la fase o si se adelanta su término[17].

Las figuras 4.3, 4.4, 4.5 y 4.6, muestran cómo se lleva a cabo la *Pull Session*

### 4.4. Revisión Plus/Delta

Es una retrospectiva simple y rápida, que sirve para mejorar juntas, sesiones de planeación, u otro tipo de actividades repetitivas. En ella se discute sobre cómo mejorar el desempeño de éstas actividades, y se espera que con el tiempo la práctica de este ejercicio hará que los participantes se acostumbren a hacer ajustes a su trabajo con el fin de añadir valor a su trabajo y eliminar desperdicios.

Usualmente para realizar una revisión Plus/Delta se sigue estos pasos:

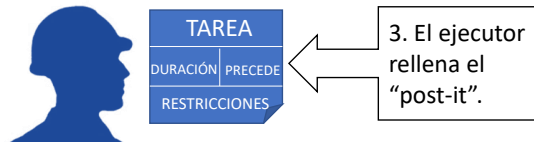
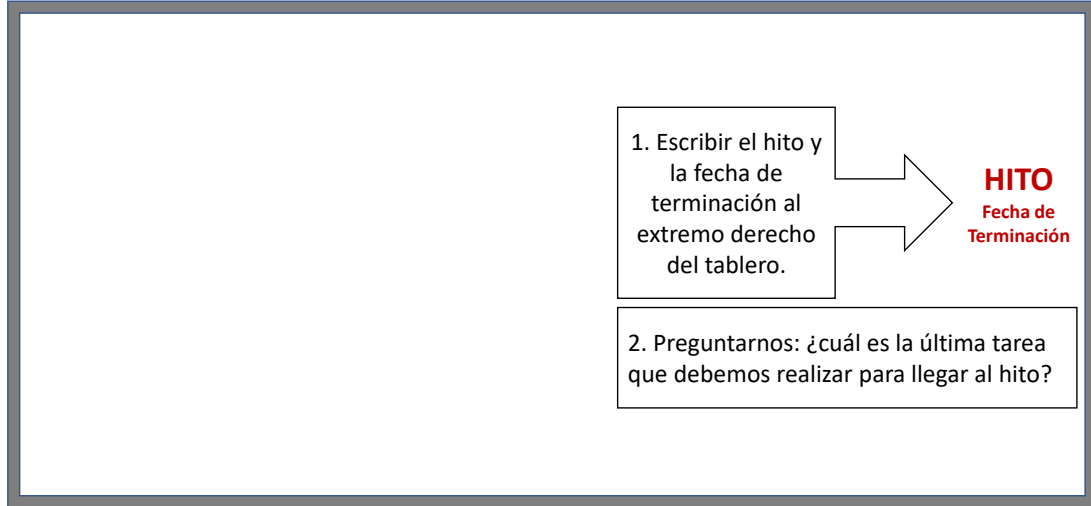


Figura 4.3: Pull Sesión, pasos 1-3. Fuente: Elaboración propia.

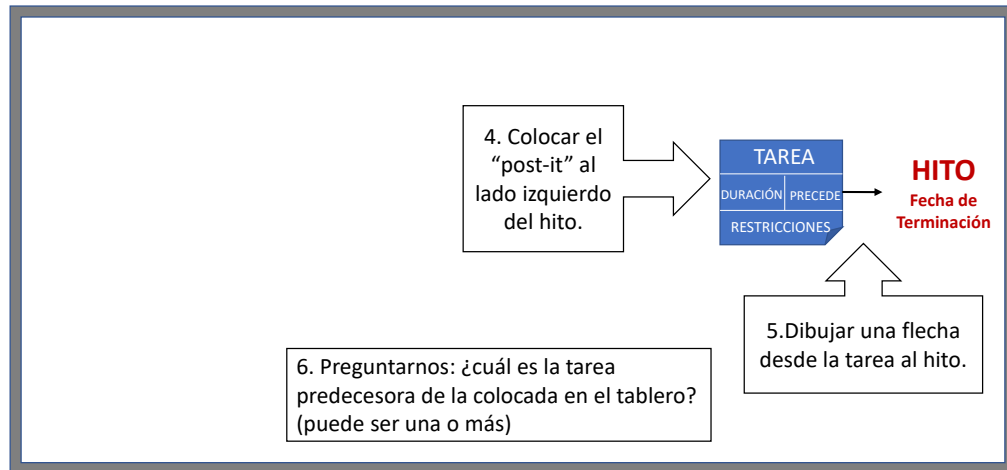


Figura 4.4: Pull Sesión, pasos 4-7. Fuente: Elaboración propia.

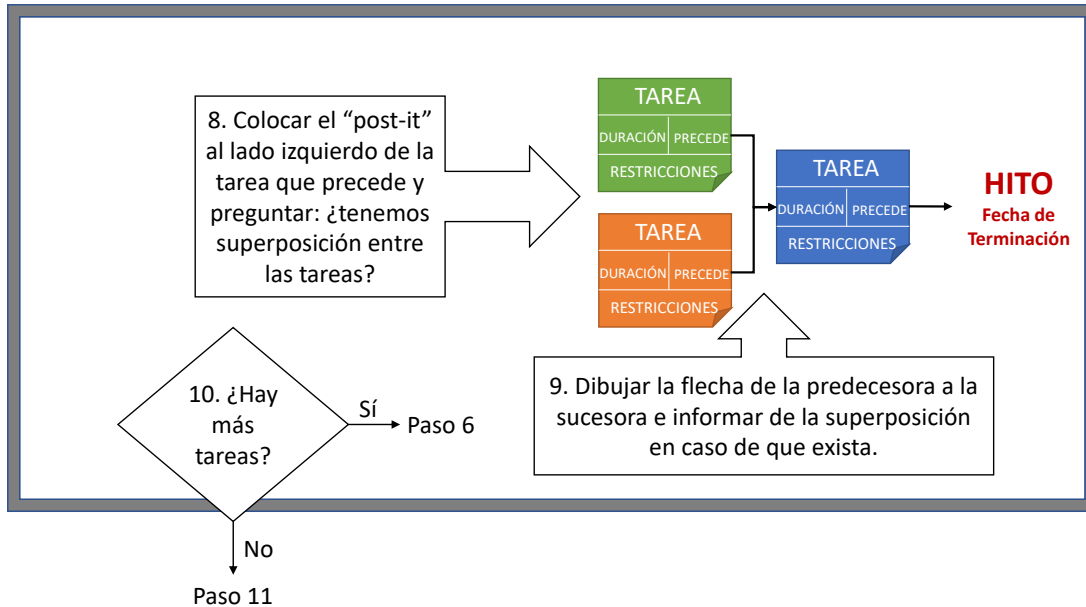


Figura 4.5: Pull Sesión, pasos 8-10. Fuente: Elaboración propia.

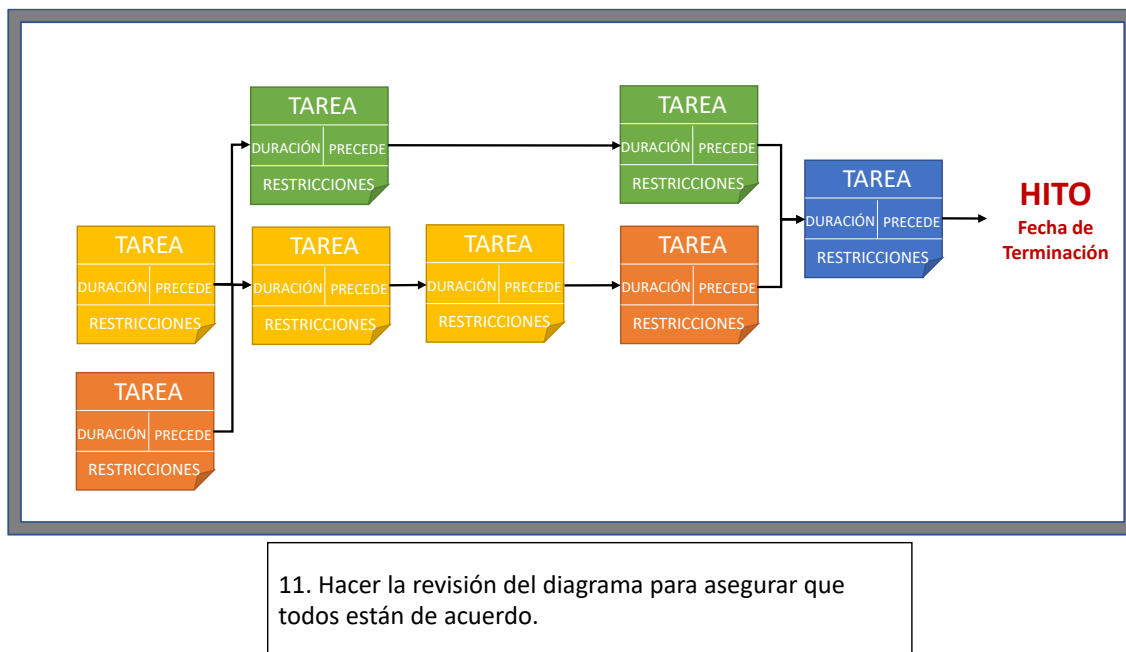


Figura 4.6: Pull Sesión, paso 11. Fuente: Elaboración propia.

<u>¿Cómo estuvo la reunión?</u>	
+	Δ
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El formato de discusión libre gustó.</li> <li>• Hubo buenas ideas.</li> <li>• La agenda de la reunión fue clara.</li> <li>• Se terminó a tiempo.</li> <li>• Quedaron claros los pasos a seguir.</li> <li>• Buen moderador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debió empezar a tiempo.</li> <li>• A veces divagamos.</li> <li>• Tenemos que tener los datos estudiados antes de cada reunión.</li> <li>• Hay que invitar al equipo de Marketing.</li> <li>• Hacer un poco más amena la reunión.</li> </ul>

Figura 4.7: Ejemplo de Lista Plus/Delta. Fuente: <http://companyculture.com/322-improve-your-meetings-the-plus-delta/>.

1. Se planean 10 minutos en la agenda de la reunión para la revisión Plus/Delta. El facilitador o moderador se debe de asegurar que este tiempo no se use para otro tema, ya que esta actividad no se debe apresurar ni completar sólo como una obligación.
2. Explicar en todas las revisiones qué es un Plus y qué es un Delta:
  - Plus: ¿Qué añadió valor y cómo se puede repetir?
  - Delta: ¿Qué se puede cambiar para añadir más valor?, ¿Cómo puede el equipo hacer mejor las cosas? Los asistentes deben de concentrarse en el proceso de cada reunión y no en las personas. El moderador debe estar preparado para enfatizar los objetivos de la reunión.
3. Se dibuja en un pizarrón una tabla como la de la Figura 4.7 donde haya dos columnas, una etiquetada como “Plus” o “+” y otra como “Delta” o “Δ”.
4. Preguntar a los asistentes por Pluses y Deltas. Al principio los asistentes a la reunión puede que tengan miedo de participar o que no quieran criticar la reunión, por lo que el moderador debe de fomentar la participación hasta que se vuelva una práctica común [18].

## 4.5. Planificación *Lookahead*

La planeación inicial produce el presupuesto y programa del proyecto. En la planeación *lookahead* se detallan y ajustan los presupuestos y programas, se toma en cuenta los recursos y por lo tanto se filtran aquellas actividades cuyos recursos no están disponibles. Es en esta planeación que se controla el flujo de trabajo del sistema de producción. La planeación comprometida implica que se hará un compromiso del trabajo que se realizará, después de evaluar que se DEBE hacer contra lo que se PUEDE hacer, basado en los recursos y prerrequisitos que se tienen.

Como se mencionó anteriormente, el Programa Maestro cubre todas las actividades del proyecto de principio a fin, mientras que los programas *lookahead* usualmente cubren entre 4 y 12 semanas (3 meses), esto debido a que la incertidumbre de qué sucederá en una fecha, aumenta, entre más lejana se encuentre, y por tanto no tiene sentido trabajarlo con mucho detalle. Tanto el Plan *lookahead* como el Plan de Trabajo Semanal detallan las actividades que se van a realizar, tomando en cuenta las circunstancias actuales. Por lo tanto cubren un menor lapso de tiempo dentro del futuro inmediato, pero tienen una mayor certeza de que el trabajo será ejecutable.

El lapso que cubre el programa *lookahead* depende de qué tan confiables son las predicciones de cuándo el trabajo estará libre de restricciones y listo para realizarse.

Una vez que una actividad entra al programa *lookahead* es responsabilidad del planeador que esté lista para realizarse en el día programado. Si el tiempo de entrega de alguno de los recursos de una actividad excede el lapso del programa *lookahead*, el planeador no puede estar seguro de que esa actividad estará lista para ejecutarse en la fecha programada, y por lo tanto la metodología de Last Planner NO admite que esta actividad esté dentro del programa *lookahead*.

Para agregar una actividad al programa *lookahead* se requiere:

1. **Desglozar:** Definir y detallar las actividades, sus entradas y salidas, a fin de que el planeador pueda determinar sus restricciones y asegurarse de que esté liberada cuando sea su fecha de inicio.
2. **Filtrar:** Dependiendo del estado de las restricciones de cada actividad éstas pueden ser adelantadas o retrazadas.
3. **Preparar:** Tomar las acciones necesarias para quitar restricciones de las actividades para que éstas estén listas para iniciar en su fecha programada[17].



PLANIFICACION INTERMEDIA																													
Fecha de Inicio Planificación Intermedia																													
Fecha de Término Planificación Intermedia																													
		Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha	Fecha
ACTIVIDADES	FECHA	Semana 3							Semana 4							Semana 5							Semana 6						
		L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D	L	M	Mi	J	V	S	D
Actividad A		x	x	x	x	x						x	x			x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	
Actividad B								x	x	x													x	x	x	x	x	x	
Actividad C					x	x		x	x	x	x	x																	
Actividad D		x	x	x	x										x	x	x	x				x	x	x	x	x	x		
Actividad E		x	x	x	x			x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
Actividad F															x	x	x	x				x	x	x	x	x	x		
Actividad G								x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
Actividad H					x	x									x	x	x	x				x	x	x	x	x	x		
Actividad I											x	x																	
...																													
...																													

Figura 4.8: Ejemplo de formato de Programa Lookahead. Fuente: Hernández, 2008.

## 4.6. Plan de Trabajo Semanal (Weekly Work Plan)

Es la planeación con el mayor grado de detalle, la unidad de producción (Ingeniero o Arquitecto en Campo) es quién realiza el último paso en el proceso de planeación, de ahí el nombre del último planificador. En este último paso se identifica el trabajo que se DEBE hacer, y el que se PUEDE hacer, y finalmente se comprometen al trabajo que se HARÁ[17].

El Plan de Trabajo semanal de la metodología Last Planner es un plan de compromisos. Al comprometerse sólo al trabajo que se puede hacer[17].

### 4.6.1. Criterio de Calidad

Para proteger la producción de la incertidumbre en el flujo de trabajo, las actividades deben cumplir con cinco criterios antes de pasar al Plan de Trabajo Semanal:

#### 1. Definición:

- ¿Están los trabajos lo suficientemente bien detallados?
- ¿Se puede coordinar el trabajo con otras disciplinas o áreas?
- ¿Es posible saber si al final de la semana se habrá completado la tarea?

#### 2. Formalidad:

- ¿Todos los trabajos son posibles de realizar?
- ¿Se entiende qué es lo que se requiere?
- ¿Se necesita ayuda de otra áreas?
- ¿Se tienen todos los materiales necesarios para realizar el trabajo?
- ¿Está completo el diseño?
- ¿Se han cumplido todos los requisitos?

#### 3. Secuencia:

- ¿Se han seleccionado de las tareas que se pueden realizar aquellas con mayor prioridad?
- ¿Al término de estos trabajos se liberará más trabajo para otras áreas?
- En caso de que los trabajos seleccionados no puedan realizarse, ¿hay otras tareas disponibles?

#### 4. Tamaño: ¿Están los trabajos asignados de acuerdo a la capacidad de cada individuo o grupo?

#### 5. Aprendizaje: Cuando los trabajos no se terminan en el tiempo previsto, ¿se identifican las causas[17]?

## 4.6.2. Análisis de Restricciones

Una restricción es cualquier cosa que impida la realización de una tarea o trabajo, tales como prerequisites, recursos ó autorizaciones. Por ejemplo, para los trabajos del área de diseño las restricciones pueden ser: información del área de estudios, autorizaciones o Vo. Bo. del área directiva, etc. Las restricciones variarán dependiendo del área que se esté coordinando. Las restricciones más comunes en la construcción son:

- Diseño.
- Materiales.
- Mano de Obra.
- Equipos y Herramientas.
- Prerrequisitos.
- Calidad[21].

El formato de análisis de restricciones (Figura 4.9) consiste en una tabla que en las filas enlista las posibles tareas y en las columnas las posibles restricciones. Este formato ayuda a identificar y a rastrear el estado de las restricciones en las tareas.

Para que una tarea esté lista para realizarse, o sin restricciones, se debe:

1. **Confirmar el tiempo de entrega:** Para liberar una restricción se comienza por investigar cuáles son los proveedores de las entradas de la tarea, y cuáles son sus tiempos de entrega. Es importante mantenerse en contacto con estos proveedores para confirmar que la entrega esté lista en tiempo.
2. ***Pulling*:** Este paso se refiere a solicitar a los proveedores que realicen las entregas conforme se vayan necesitando. Un ejemplo sería solicitar a un proveedor de materiales que realice una entrega antes, debido a que un prerequisite de esa tarea terminó antes.
3. **Expedir:** Si por alguna razón el tiempo de entrega es muy tardado, puede ser que necesite invertir más recursos para acortar este tiempo. Por ejemplo, si un subcontratista tiene maquinaria que le permite hacer el trabajo más rápido pero con un costo mayor; o por ejemplo se puede pagar extra por un envío más rápido de los materiales en lugar pagar horas extras con un envío normal, etc[17].

ANÁLISIS DE RESTRICCIONES												
<i>Nombre del Proyecto:</i>		<i>Inicio del intervalo de planeación:</i>										
<i>Área:</i>		<i>Fin del intervalo de planeación:</i>										
<i>Fecha de elaboración:</i>		<i>Elaborado por:</i>										
ID	DESCRIPCIÓN	RESTRICCIÓN						¿Actividad liberada?	RESPONSABLE	COMENTARIOS	FECHA COMPROMISO DE LIBERACIÓN	
		Diseño	Materiales	Mano de Obra	Equipo	Pre-requisito	Otros					
1	Actividad A	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	Miguel López			
2	Actividad B	✓	✓	✓	X	✓	✓	NO	Juan Pérez			
3	Actividad C	X	✓	✓	✓	✓	✓	NO	Arturo Sosa			
4	Actividad D	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	Miguel López			
5	Actividad E	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	Juan Pérez			
6	Actividad F	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	Arturo Sosa			
7	Actividad G	✓	X	✓	✓	X	✓	NO	Arturo Sosa			
8	Actividad H	✓	✓	✓	✓	✓	✓	SI	Juan Pérez			
9	Actividad I	✓	X	✓	✓	X	✓	NO	Miguel López			

Figura 4.9: Ejemplo de formato de Análisis de Restricciones. Fuente: Hernández, 2008.

### 4.6.3. Distribución de la carga de trabajo

A la cantidad de trabajo que se espera sea realizado por una unidad de producción (un grupo de personas o un individuo) en un tiempo dado se le llama **carga**. En el Plan de Trabajo Semanal, la carga es aquello que se espera sea realizado por el equipo de diseño, o por el ingeniero, o por la cuadrilla de topografía, etc. Una tarea bien asignada, o de calidad, reparte la carga a los recursos, de acuerdo a su capacidad. El término **capacidad** se refiere a la cantidad de trabajo que una unidad de producción, ya sea un individuo o un grupo, puede realizar en un tiempo dado. **Balancear** la carga de trabajo se refiere a igualar la carga con la capacidad de las unidades de producción.

Se balancea la carga de trabajo durante la planeación *lookahead* y después de nuevo durante el Plan de Trabajo Semanal. Idealmente la carga y la capacidad coinciden, para así mantener las unidades de producción trabajando continuamente. Sin embargo, en la práctica es más complicado por la variabilidad de las cargas y de las capacidades, dependiendo del tipo de trabajo y de las circunstancias de éste.

La confiabilidad del Plan de Trabajo Semanal se alcanza sub cargando las unidades de producción. Es decir se planean las tareas para que las unidades de producción estén a menos del 100% de su capacidad. Esto también ayuda a que los trabajadores tengan tiempo para estar en las capacitaciones o entrenamientos, a que se realicen pruebas, a que se implementen mejoras en los procedimientos, o a que se le dé mantenimiento a la maquinaria, etc.

Mientras que en la planeación *lookahead* el planeador debe adelantar o retrasar las actividades de acuerdo a como se necesite, para tener un Procedimiento de Flujo Continuo (o CFP por sus siglas en Inglés). Un CFP es un tipo de línea de producción en la que el trabajo avance de una unidad de producción a la siguiente basada en el concepto de primeras entradas, primeras salidas. La idea es que al balancear, todas las unidades de producción trabajen ininterrumpidamente y con poco Trabajo en Proceso (o WIP por sus siglas en inglés) entre las unidades de producción.

Es importante que las unidades de producción tengan Inventario de Trabajo ejecutable (Workable Backlog) en su Plan de Trabajo Semanal. Éste consiste de tareas no prioritarias pero que están listas para hacerse. El Inventario de Trabajo Ejecutable no se asigna a ninguna unidad de producción, pero está disponible en caso de que alguna de sus tareas asignadas no se pueda realizar o se termine antes de tiempo[17].

### Realizar pruebas

De 4 a 12 semanas antes del inicio de un nuevo método constructivo, se deben realizar pruebas lo más realistas posibles, con el fin de aprender cuál será la mejor forma de realizar el trabajo, identificando habilidades y herramientas disponibles y

necesarias. Con ello se puede acelerar la curva de aprendizaje del equipo, además de mejorar la calidad y seguridad del trabajo[17].

### Inventario de Trabajo Ejecutable

Es el trabajo que está listo para realizarse pero que no se puede asignar por cuestiones de capacidad de las unidades de trabajo. Si alguna unidad de trabajo termina pronto con sus tareas de la semana, o no puede comenzarlas por alguna contingencia, el Inventario de Trabajo Ejecutable les proveerá de trabajo para evitar tiempos muertos en su producción.

Cabe mencionar que las tareas en el Inventario de Trabajo Ejecutable deben de cumplir con las mismas características de: definición, formalidad y secuencia, antes mencionadas[17]. La figura 4.10 muestra un formato de ejemplo.

#### 4.6.4. Indicadores *Lookahead*

El Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) se refiere a el número de tareas completadas entre el número de tareas planeadas por completar, se puede hacer ya sea con predicciones de una semana o de dos. Y responde la pregunta de ¿Qué tan acertadas son las predicciones del flujo de trabajo?

$$\begin{aligned}
 PPC_1 &= \frac{\text{Tareas Cumplidas del Plan de la Semana 1}}{\text{Tareas del Plan de la Semana 1}} \\
 PPC_2 &= \frac{\text{Tareas Cumplidas del Plan de la Semana 1}}{\text{Tareas del Plan de la Semana 2}}
 \end{aligned}
 \tag{4.1}$$

También se usa como medida de desempeño al índice de Tareas Listas para Realizarse (o AMR por sus siglas en Inglés, *Assignments made ready*). En la cual se divide el número de tareas que aparecen en los planes de trabajo de las semanas uno y dos entre el número de tareas asignadas en el plan a dos semanas. Éste indicador responde a la pregunta ¿Qué porcentaje de las tareas se están preparando para que puedan ser incluidas en el Plan de Trabajo Semanal?

$$AMR = \frac{\text{Tareas en ambos Planes de las Semanas 1 y 2}}{\text{Tareas de la Semana 2}}
 \tag{4.2}$$

Otro indicador es el de Tareas Anticipadas (o AA por sus siglas en inglés, *assignments anticipated*), en el cual se divide el número de tareas que aparecen en los planes de trabajo de las semanas uno y dos entre el número de tareas planeadas en la semana uno. Esto con el fin de saber qué tan bien se está anticipando las tareas de la siguiente semana.

INVENTARIO DE TRABAJO EJECUTABLE													
<i>Elaborado por:</i>													
<i>Fecha de elaboración:</i>													
<i>Nombre del Proyecto:</i>													
<i>Área:</i>													
ID	DESCRIPCIÓN	FECHA		L	M	Mi	J	V	S	Entran en la semana	RESPONSABLE		
		INICIO	TERMINO										
1	Actividad A			x	x	x	x	x	x	SI	Miguel López		
4	Actividad D			x	x	x	x			SI	Miguel López		
5	Actividad E			x	x	x	x	x	x	SI	Juan Pérez		
6	Actividad F			x	x	x				SI	Arturo Sosa		
8	Actividad H						x	x	x	NO	Juan Pérez		

Figura 4.10: Ejemplo de formato de Inventario de Trabajo Ejecutable. Fuente: Hernández, 2008.

$$AA_2 = \frac{\text{Tareas en ambos Planes de las semanas 1 y 2}}{\text{Tareas de la Semana 1}} \quad (4.3)$$

En la figura 4.11 se muestra un Plan de Trabajo Semanal, calculando su PPC obtenemos:

$$\begin{aligned} PPC_1 &= \frac{\text{Tareas Cumplidas del Plan de la Semana 1}}{\text{Tareas del Plan de la Semana 1}} \\ &= \frac{1}{4} = 25\% \end{aligned} \quad (4.4)$$

Cabe aclarar que si bien en este caso la actividad E rebasó la carga planeada por 10 unidades, se contó como No Completada, debido a que el objetivo de Last Planner es la confiabilidad en la planeación, por lo que se requiere hacer justo el trabajo requerido.

#### 4.6.5. Razones de No Cumplimiento

Cuando una tarea no se cumple para el final del Plan de Trabajo Semanal, se deben documentar las razones de que no se haya cumplido. Estas razones se pueden clasificar en 4 categorías: directivas, prerrequisitos, recursos, procesos o salidas. Las razones de No cumplimiento pueden ser graficadas a fin de obtener cuáles son las fallas predominantes y en dónde se deben enfocar las mejoras.

Después de anotar las razones de No Cumplimiento, el último planificador debe investigar la causa de éstas. El objetivo no es culpar a alguien, sino ayudar al personal a entender qué cambiar en sus acciones para evitar futuras fallas en el plan[17].

#### Los 5 Porqués

Es una técnica de administración para la resolución de problemas que busca encontrar la causa original de un problema. Una vez que se presenta un problema, los trabajadores deben preguntarse “¿porqué?” al menos cinco veces seguidas hasta que identifiquen la verdadera causa del problema. La estrategia es eliminar la causa original del problema para evitar que éste se vuelva a presentar. A continuación se da un ejemplo de esto, dónde el problema ejemplificado es una pared de tablaroca que se perforó.

1. ¿Por qué se perforó la pared de tablaroca?
  - El electricista debía pasar el cableado del interfón.



PLANIFICACION DE TRABAJO SEMANAL (Medición PAC)							
<i>Nombre del Proyecto:</i>				<i>Semana :</i>			
<i>Elaborado por:</i>							
<i>Fecha de elaboración:</i>							
ID	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE	PORCENTAJE		ACTIVIDAD COMPLETADA	RAZÓN DE FALLA	
			PLANEADO	REALIZADO			
1	Actividad A	Miguel López	100	70	NO		
4	Actividad D	Miguel López	80	80	SI		
5	Actividad E	Juan Pérez	60	70	NO		
6	Actividad F	Arturo Sosa	70	65	NO		
<b>% de Actividades Completadas = 25 %</b>							

Figura 4.11: Ejemplo de formato de Plan de Trabajo Semanal. Fuente: Hernández, 2008.

2. ¿Por qué está pasando el electricista cableado después de haberse colocado la tablaroca?
  - El electricista está cambiando el cableado de acuerdo a las nuevas modificaciones.
3. ¿Por qué el electricista no siguió las nuevas modificaciones desde un comienzo?
  - El cabo no le avisó que esta área no debía hacerse hasta que se recibiera el dibujo modificado
4. ¿Por qué el cabo no sabía de las nuevas modificaciones?
  - El área estaba agendada en el Plan de Trabajo Semanal.
5. ¿Por qué estaba agendada en el Plan de Trabajo Semanal?
  - No se realizó el análisis de restricciones en la planeación semanal.

Preguntar cinco veces "¿Por qué...?" ayudó a identificar la raíz del problema. La solución en este caso sería realizar sesiones de planeación semanal para quitar restricciones de las actividades y dejarlas listas para realizarse[17].

## **Análisis de las Razones**

El análisis jerárquico de razones también puede ayudar a determinar la causa de un problema. La figura 4.12 se puede usar como herramienta para rastrear los errores en la planeación y evitarlos en un futuro; por ejemplo:

I “No hice una promesa factible porque...”

- “Sentí que no tenía otra opción mas que decir que sí.”
- “No se me preguntó.”

II “Alguien rompió su promesa conmigo porque...”

- “Las prioridades cambiaron.”
- “No se suministró el material a tiempo.”
- “Se descompuso la maquinaria.”

III “Traté de hacer una promesa factible pero...”

- “No ordené el material a tiempo.”
- “Sobreestimé la cantidad de trabajo que realmente podía completar.”

Las figuras 4.13 y 4.14 muestran guías para rastrear errores por cambios en las características, en los prerrequisitos, y en los recursos de los trabajos[17].

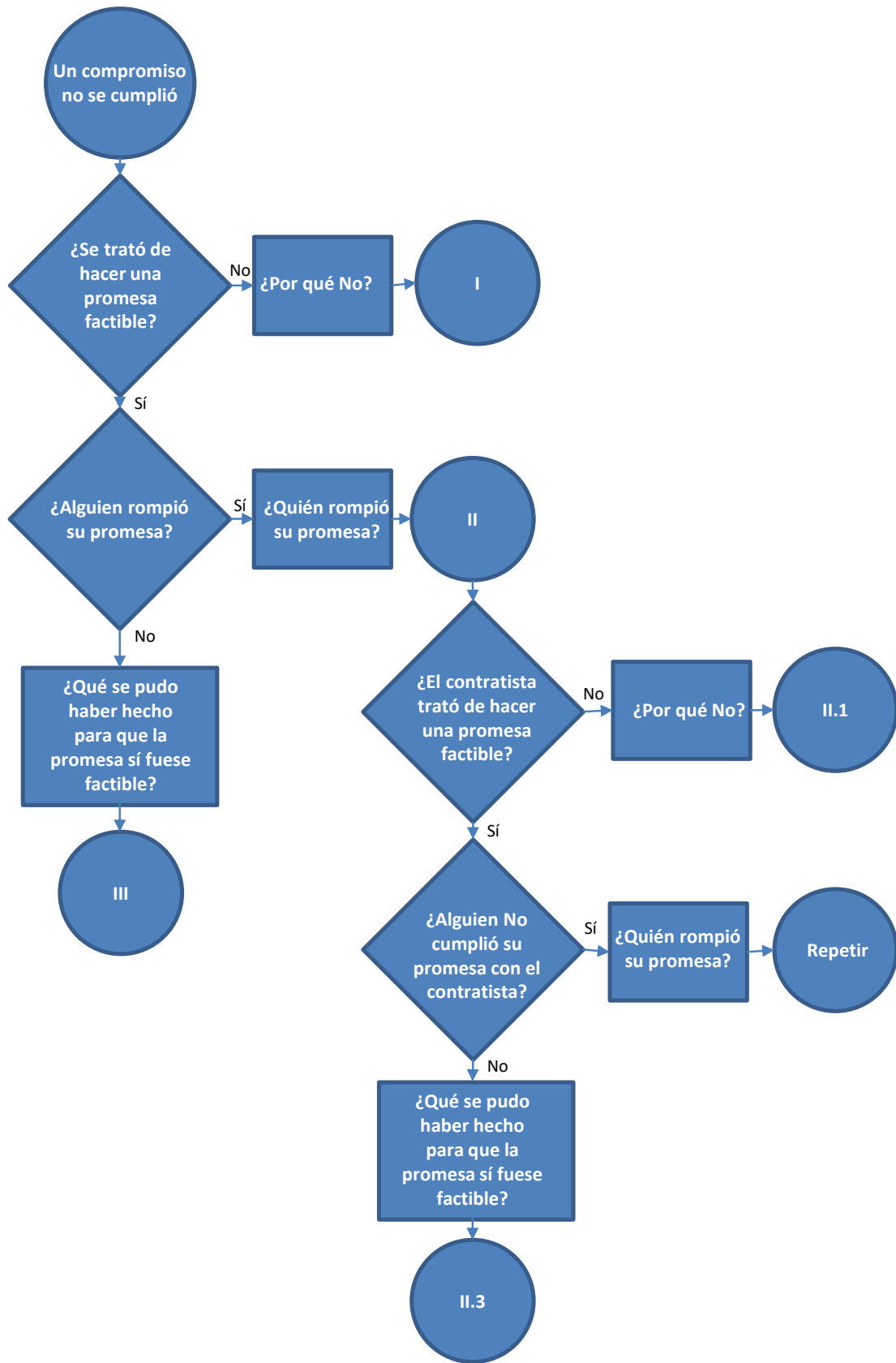


Figura 4.12: Análisis de las razones por las que el plan falló. Fuente: Lean Construction Institute, 2007.

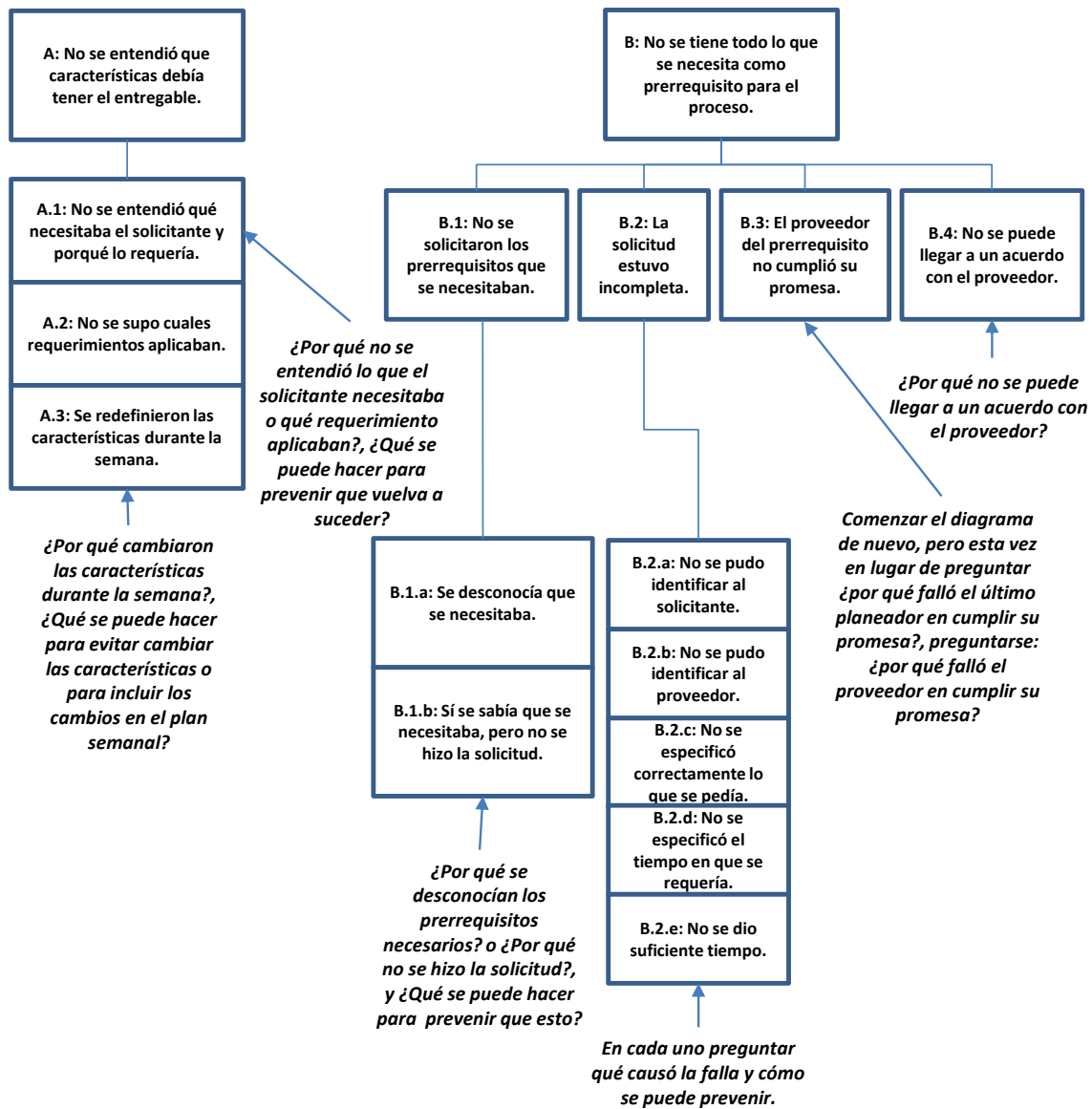


Figura 4.13: Jerarquía de Análisis de Razones: Características y Prerrequisitos. Fuente: Lean Construction Institute, 2007. 70

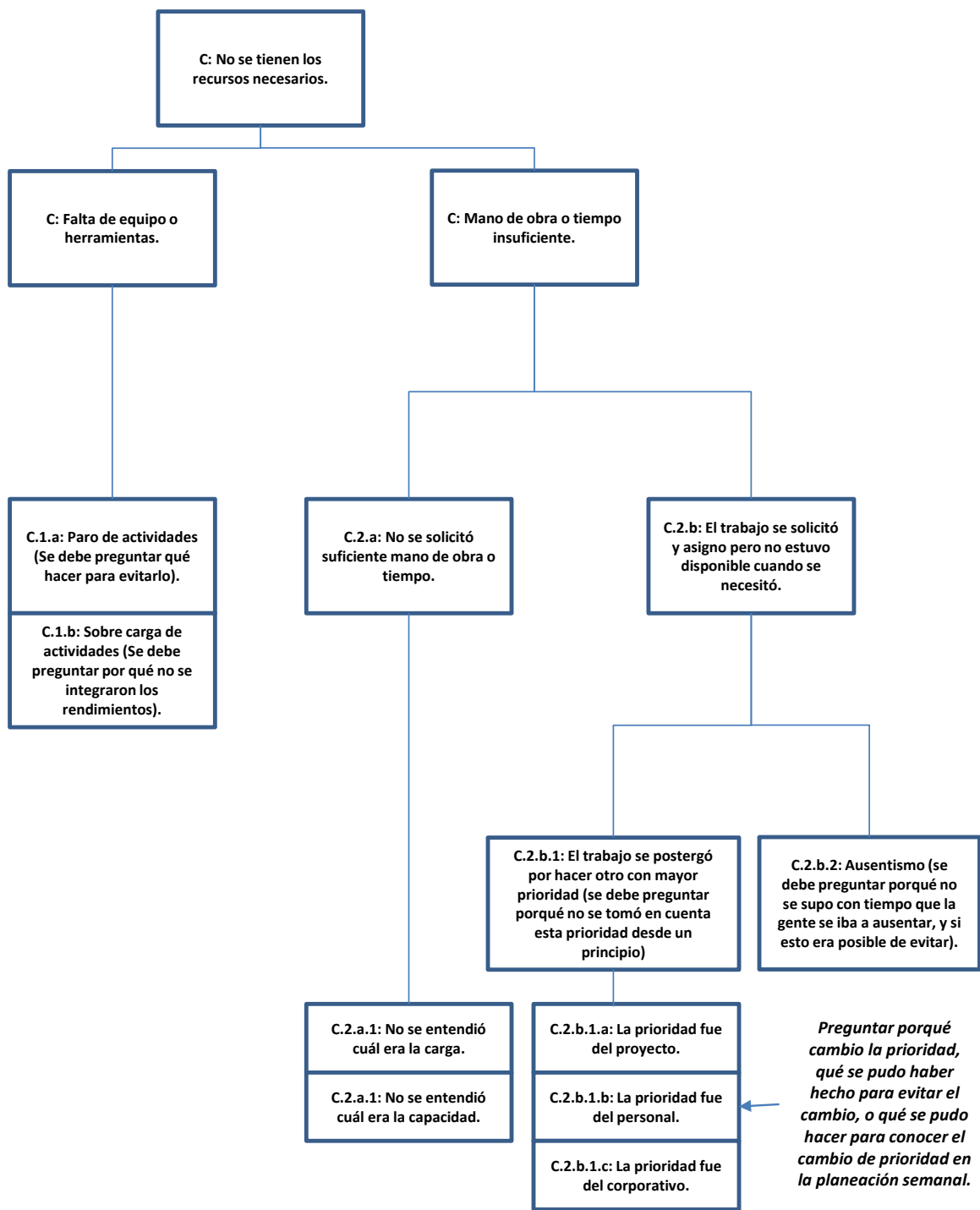


Figura 4.14: Jerarquía de Análisis de Razones: Recursos. Fuente: Lean Construction Institute, 2007.



# 5

## Análisis Estructurado (SADT)

*“divide et impera”*

– Julio César

### 5.1. Antecedentes históricos

El Análisis Estructurado y Técnica de Diseño, o SADT por sus siglas en inglés (Structured Analysis and Design Technique), es un lenguaje gráfico que se usa sobre todo para describir los sistemas que usan una metodología para producir diseños comprensibles de estos sistemas. Fue desarrollado por Douglas T. Ross (Figura 5.1) en 1977 como resultado de varios años de trabajo en la solución de problemas en la empresa Softech [10]. Esta técnica se usa como primer acercamiento a un problema para decidir qué enfoque tomar, por lo que se debe asegurar que cualquiera de los involucrados pueda entender los diagramas, para ello los diagramas pasan por varios revisores hasta que sean lo suficientemente detallados y claros [19].

En los años 80's la Fuerza Aérea de Estados Unidos se basó en el SADT para crear el IDEF0 (Icam DEFinition for Functioning Modeling), como parte del programa de ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) que tenía por objetivo satisfacer la necesidad de métodos de modelado para sistemas de análisis y diseño [10]. En este trabajo nos referiremos al IDEF0 y al SADT como Analisis Estructurado (SA) indistintamente.



Figura 5.1: Douglas Taylor Ross (21 de diciembre de 1929 - 31 de enero de 2007) fue un científico estadounidense pionero en la informática y presidente de Softech, Inc. Es famoso por originar el término CAD para el diseño asistido por computadora, y es considerado el padre de Automatically Programmed Tools (APT), un lenguaje para controlar la fabricación controlada numéricamente. Fuente: <https://www.ithistory.org/honor-roll/mr-douglas-doug-taylor-ross>

## 5.2. Alcance de la Metodología

Un proyecto siempre inicia por una idea, sin embargo la idea sola no es suficiente, se requiere de un lenguaje para poder ser comunicada. En el caso de los proyectos de construcción este medio de comunicación son los planos y especificaciones. A medida que los proyectos crecen en complejidad, la comunicación del proyecto se dificulta. La metodología de análisis estructurado busca ser el siguiente escalón en la forma en que se comunica la información en un proyecto.

De acuerdo con Douglas Ross, el Análisis Estructurado:

1. Incorpora cualquier otro lenguaje; por lo que su enfoque es universal y sin restricciones.
2. Sólo le interesa la descomposición ordenada y bien estructurada del tema.
3. El tamaño de las unidades en las que se descompone están diseñadas para el pensamiento y entendimiento de la audiencia a la que está dirigida.
4. Tales unidades de comprensión son expresadas para que sus interrelaciones sean representadas de forma rigurosa y precisa.
5. Esta estructura de descomposición se puede hacer hasta el grado de detalle y alcance que se necesite, sin perder las propiedades ya mencionadas.



6. Por tanto, el análisis estructurado incrementa tanto la cantidad como la calidad de entendimiento que se puede comunicar de manera efectiva y precisa, más allá de las limitaciones intrínsecas del tema o del lenguaje formal usado para abordarlo.

Debido a esta universalidad, el método ha sido aplicado a una amplia gama de problemas de planeación, de análisis y de diseño; que involucran personas, máquinas, software, hardware, bases de datos, procedimientos de comunicación, finanzas, etc. Se puede utilizar para modelar problemas del medio, de los requisitos, de las soluciones propuestas, así como para la organización del proyecto, operación, presupuesto, programa y plan de acción.

El producto final del método es un modelo funcional de un dominio bien estructurado del tema (el cual puede ser de tipo social, artístico, científico, legal, político, filosófico, etc.), y que comunica las ideas a otros de manera efectiva.

Esta metodología usa el refrán de “divide y vencerás” para lograr comunicar ideas de forma efectiva. La mente humana puede alojar cualquier cantidad de complejidad siempre y cuando se le presente en pequeños pedazos fáciles de asimilar y estructurados para formar el todo.

### 5.3. Metodología

Antes que nada, se debe de tener un tema y un aspecto de este tema en el que se esté interesado. A esto se le llama establecer el **punto de vista** para el modelo. Después, debemos tener en mente a la audiencia a la cual se le quiere comunicar, esta audiencia determinará qué vale la pena mencionar y qué no sobre el tema, desde su punto de vista. A esto se le llama establecer el **propósito** para el modelo. Como sabemos, un tema puede tener muchos aspectos interesantes y muchas audiencias, por lo que puede haber muchos puntos de vista y propósitos. Pero, cada modelo de análisis estructurado debe tener solamente uno de cada uno, para restringir y estructurar el tema.

Para comenzar a descomponer el tema se debe tener en cuenta la siguiente regla de comunicación:

*Todo lo que vale la pena decir,  
sobre cualquier cosa que valga la pena decir algo,  
debe expresarse en seis piezas o menos.*

De aquí se tiene que, todo lo que valga la pena mencionar sobre el tema elegido debe ser incluido. La primer palabra de esta regla es “Todo”, y significa que todo lo

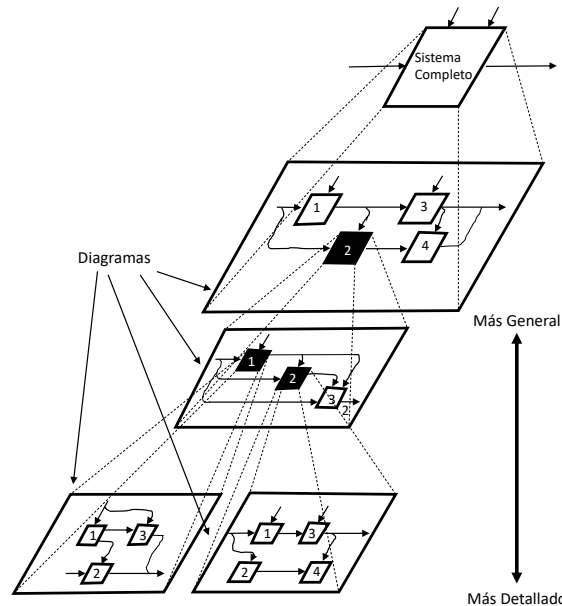


Figura 5.2: Descomposición Estructurada. Fuente: Ross, 1977.

que cumpla con el propósito y el punto de vista debe de estar. La razón para esto es simple, por definición el todo es el tema, de otra forma no sería el tema sino otro tema que contenga menos información que el tema. Posteriormente, se divide el tema en seis o menos piezas que no se traslapen, cada cosa del todo debe estar contenida en una de estas piezas. De esta forma nos aseguramos que el tema se mantenga igual, y que no degenera en un tema menos amplio mientras se descompone. Además, al no permitir traslapos se evita crear conflictos o confusiones.

Una pieza puede ser cualquier cosa que se elija, por ejemplo, en el primer diagrama la pieza es el tema (con su punto de vista y propósito). Al ser el tema un “algo de valor”, muy probablemente después de la primera división en seis o menos piezas no se habrá agotado, y cada una de estas piezas tendrá que descomponerse a su vez en otras seis o menos piezas. Y estas descomposiciones continuarán hasta que el detalle sea tal, que se pueda entender claramente el tema y, por lo tanto, ya no valga la pena descomponerlo más. Por lo que se puede entender al análisis estructural como un proceso recursivo de descomposición jerárquica de arriba a abajo (Figura 5.2).

En la mayoría de los casos, la práctica consciente del Análisis Estructurado y su disciplina de pensamiento mejora la habilidad de las personas para pensar claramente y encontrar soluciones. Aún en los casos en los que esto no sucede, ayuda a que las partes problemáticas resalten y sea más fácil identificarlas y trabajarlas.

Cada uno de los lenguajes, ya sea natural o artificial, formal o informal, tiene dos aspectos complementarios: sustantivos y verbos, operadores y operandos, etc., que permiten la expresión de pensamientos sobre el tema. De esta forma es como se provee del medio para incorporar cualquier otro lenguaje al análisis estructurado. Por lo tanto la incorporación no es forzada ni difícil.

El análisis estructurado provee de la misma notación gráfica tanto para los objetos, como para los eventos de cualquier tema. Todo modelo del análisis estructurado tiene un aspecto de objeto, llamado descomposición de datos, y un aspecto de evento, llamado descomposición de actividades. El modelo está incompleto sin ambas descomposiciones.

Ahora que se han establecido las premisas de la metodología, se va a abordar el lenguaje del análisis estructurado, que en su mayoría es gráfico (usando cajas y flechas) y que permite expresar pensamientos bien organizados. Para ello, primero se introducirán 40 tipos de notación y convenciones en las figuras 5.3 y 5.4). Para describir esta notación se usará un ejemplo desarrollado por Douglas Ross, en el cual se usa la metodología de análisis estructurado para desarrollar el tema: "Racionalización de las características del Análisis Estructurado". De esta forma, además de dar un ejemplo del uso de esta metodología, también hacemos uso de ella para comunicar la idea de racionalizar sus características, algo así como explicar qué es un cuadro sinóptico con un cuadro sinóptico.

En el nodo A0 (Figura 5.5), vemos que para utilizar esta metodología, requerimos de 5 pasos o partes:

1. Dado que se busca tener un simil a los planos de un proyecto de construcción, primero se debe definir el lenguaje gráfico que se utilizará para comunicar el tema.
2. Una vez definido el lenguaje gráfico, éste se utilizará para construir los diagramas del tema.
3. Estos diagramas deberán contener notación especial que mejore la claridad con la que se expone el tema.
4. y 5. Finalmente, para que la información pueda ser procesada, se necesita referenciar todos los pedazos de información y organizar el material como un todo.

Si ahora observamos al nodo A0 desde la perspectiva de sus Entradas, Salidas, Controles y Mecanismos (ICOM, por sus siglas en inglés), podemos observar que:

A01 Definir gráficas:

- I Este paso no requiere de entradas.
- C El control es toda la información disponible del tema (Tema General), ésta definirá qué características de la metodología nos serán útiles y cuales no.
- O Su salida o resultado son las cajas y flechas básicas.
- M Se hace por medio de las características básicas mencionadas en las figuras 5.3 y 5.4 (cajas, flechas, interfases y soportes).

#### A02 Construir Diagramas:

- I Para construir el diagrama se necesita la jerga o vocabulario propio del tema (Nombres/Palabras).
- C La construcción del diagrama será controlada por: las cajas y flechas, definidas en el paso anterior; el tema específico; el propósito del diagrama y punto de vista que se le quiera dar.
- O Como salida obtenemos el diagrama completo pero muy detallado.
- M Este paso no requiere mecanismos o medios para realizarse.

#### A03 Uso de notación especial:

- I Para seleccionar la notación, se requiere conocer el vocabulario o jerga del tema y tener el Diagrama ya completo.
- C Se debe de tomar en cuenta el tema elegido, su proposito y punto de vista.
- O El resultado de este paso será un diagrama completo y bien detallado sin ser abrumador para la audiencia, para ello contendrá notas aclaratorias (Texto y elementos únicamente como muestra ó FEO por sus siglas en ingles, *For Exposition Only*).
- M Este paso no requiere mecanismos o medios para realizarse.

#### A04 Añadir referencias:

- I Este paso no requiere de entradas.
- C Las referencias se deben de hacer tomando en cuenta el tema en general y el diagrama completo.
- O Aquí como producto final se obtendrá el diagrama referenciado.
- M Este paso no requiere mecanismos o medios para realizarse.

#### A05 Organizar Material:

- I Para ordenar el material se requiere tener el material completo, es decir, el modelo completo.
- C La ordenación se realizará de acuerdo a las referencias, el tema, propósito, punto de vista, y principios de comunicación.
- O Finalmente el producto de este último paso será el Diagrama SA, con sus notas, glosario, etc.
- M Este paso no requiere mecanismos o medios para realizarse.

Para el Nodo A1, figura 5.6, llamado "Definición de Gráficas". Al leer el diagrama tenemos que:

Para Definir las gráficas se debe:

No.	PROPÓSITO	CONCEPTO		MECANISMO	NOTACIÓN	NODO
1	LIMITAR EL CONTEXTO	ADENTRO / AFUERA		CAJA DE SA		A11
2	RELACIONAR / CONECTAR	DESDE / HASTA		FLECHA DE SA		A12
3	MOSTRAR TRANSFORMACIÓN	ENTRADA - SALIDA (I - O)		INTERFASE DE SA		A13
4	MOSTRAR CIRCUNSTANCIAS	CONTROL (C)		INTERFASE DE SA		A14
5	MOSTRAR MEDIOS	SOPORTE		MECANISMO DE SA		A15
6	NOMBRAR	ACTIVIDAD	DATOS	NOMBRES DE SA	ACTIVIDAD	A211
		EVENTOS	OBJETOS		VERBO	
7	ETIQUETAR	OBJETOS	EVENTOS	ETIQUETAS DE SA		A212
8	MOSTRAR NECESIDAD	I-O	C-O	CAMINO		A213
9	MOSTRAR DOMINIO	C	I	RESTRICCIÓN		A214
10	MOSTRAR RELEVANCIA	ICO	ICO	TODAS LAS INTERFASES		A215
11	OMITIR LO OBVIO	C-O	I-O	FLECHA OMITIDA		A216
12	SER EXPLÍCITO SIN DESORDEN	TUBERÍAS, CONDUCTOS, CABLES		RAMA		A221
13				UNIÓN		A221
14	SER CONCISO Y CLARO	CABLES, MULTI-CABLES		JUNTAR		A222
15				SEPARAR		A222
16	MOSTRAR OPERACIONES EXCLUSIVAS	ALTERNATIVAS EXPLÍCITAS		RAMA OR		A223
17				UNIÓN OR		A223
18	MOSTRAR INTERFASES AL DIAGRAMA PADRE			FLECHAS DE SA EN LOS LÍMITES (DEL HIJO)		A231
19	MOSTRAR CONEXIÓN EXPLÍCITA AL DIAGRAMA PADRE	NÚMERO DE ACUERDO A LA CONVENCIÓN PARA EL DIAGRAMA PADRE, EN EL DIAGRAMA HIJO SE ESCRIBE EL CÓDIGO ICOM EN LAS FLECHAS DE LOS				A232
20	MOSTRAR DESCOMPOSICIÓN ÚNICA	EXPRESIÓN DETALLADA DE LA REFERENCIA (EDR)		NÚMERO C O NÚMERO DE PÁGINA DEL DETALLE DEL DIAGRAMA		A233

Figura 5.3: Características del Lenguaje del Análisis Estructurado (1 a 20). Fuente: Elaboración propia.

No.	PROPÓSITO	CONCEPTO	MECANISMO	NOTACIÓN	NODO
21	MOSTRAR UNA DESCOMPOSICIÓN COMPARTIDA O VARIABLE	DRE CON (NOMBRE DEL MODELO)	LLAMADA DE SA AL MECANISMO		A234
22	MOSTRAR COOPERACIÓN	INTERCAMBIO DE RESPONSABILIDAD COMPARTIDA	FLECHAS DE SA DE DOS VÍAS		A311
23	SUPRIMIR DETALLES DE INTERCAMBIO	PERMITIR DOS SENTIDOS EN EL INTERCAMBIO	FLECHAS ENCONTRADAS		A312
24	SUPRIMIR DESORDEN DEL "PASO A TRAVÉS"	PERMITIR A LAS FLECHAS IR AFUERA DEL DIAGRAMA	"TUNELAMIENTO" DE SA (CON REFERENCIAS)		A313
25	SUPRIMIR EL DESORDEN DE FLECHAS-NECESARIAS	PERMITIR BRINCOS ETIQUETADOS DENTRO DEL DIAGRAMA	PARA TODOS O DE TODOS		A314
26	MOSTRAR NOTACIÓN NECESARIA	PERMITIR PALABRAS EN EL DIAGRAMA	NOTA DE SA	NOTA:	A32
27	EVITAR DESORDEN POR FALTA DE ESPACIO	PERMITIR UBICACIONES REMOTAS DE PALABRAS DENTRO DEL DIAGRAMA	PIÉ DE PÁGINA DE SA		A32
28	MOSTRAR COMENTARIOS SOBRE EL DIAGRAMA	PERMITIR PALABRAS FUERA DEL DIAGRAMA	META-NOTA DE SA		A32
29	ASEGURAR LA ADECUADA ASOCIACIÓN DE PALABRAS	VINCULAR PALABRAS AL TEMA DESEADO	"GARABATO" DE SA		A32
30	HOJA ÚNICA DE REFERENCIA	CREACIÓN CRONOLÓGICA	NÚMERO-C DE SA	INICIALES DEL AUTOR + ENTERO	A41
31	CAJA ÚNICA DE REFERENCIA	CAMNO HACIA ABAJO A PARTIR DE LOS NÚMEROS DE LAS CAJAS	NÚMERO DE NODO DE SA (NÚMEROS DE LA CAJA)	A, D, ó M + NÚM DE PADRE + NÚM DE CAJA	A42
32	MISMO PARA MULTIMODELOS	PRECEDIDO POR EL NOMBRE DEL MODELO	NOMBRE DEL MODELO DE SA	NOMBRE DEL MODELO / NÚM DE NODO	A42
33	REFERENCIA DE INTERFASE ÚNICA	ICOM CON EL NÚMERO DE CAJA	CAJA ICOM DE SA	NÚM DE CAJA + CÓDIGO ICOM	A43
34	REFERENCIA DE FLECHA ÚNICA	DESDE - HASTA	PAR DE CAJAS ICOM	BOX ICOM <sub>1</sub> BOX ICOM <sub>2</sub>	A44
35	MOSTRAR CONTEXTO DE LA REFERENCIA	ESPECIFICAR UN PUNTO DE REFERENCIA	REF.EXP. DE SA "PUNTO"	A122.411 "QUÉ VE"	A45
36	ASISTIR EN LA CORRECTA INTERPRETACIÓN	MOSTRAR DOMINIO GEOMÉTRICAMENTE (ASISTIR A LA GRAMÁTICA)	LAYOUT DE ESCALERA		A5
37	ASISTIR EN LA COMPRESIÓN	PROSA RESUMEN DEL MENSAJE	TEXTO DE SA	NÚM DE NODO + T + ENTERO	A5
38	RESALTAR CARACTERÍSTICAS	ELEMENTOS ÚNICAMENTE COMO MUESTRA Ó FEO (FOR EXPOSITION ONLY)	FEO DE SA	NÚM DE NODO + F + ENTERO	A5
39	DEFINIR TÉRMINOS	GLOSARIO CON PALABRAS E IMÁGENES	GLOSARIO DE SA	NOMBRE DEL MODELO + G + ENTERO	A5
40	ORGANIZAR PÁGINAS	PROVEER DE UNA TABLA DE CONTENIDO	IÍNDICE DE NODOS DE SA	NÚMEROS DE NODO EN ORDEN	A5

Figura 5.4: Características del Lenguaje del Análisis Estructurado (21 a 40). Fuente: Elaboración propia.

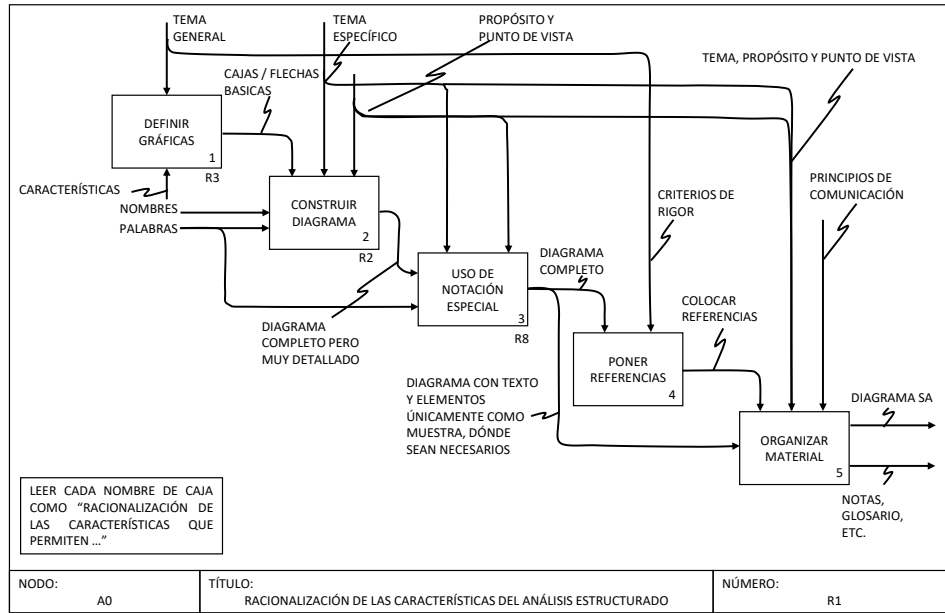


Figura 5.5: A0: Racionalización de las características del Análisis Estructurado. Fuente: <http://ieeexplore.ieee.org/document/1702399/?reload=true>

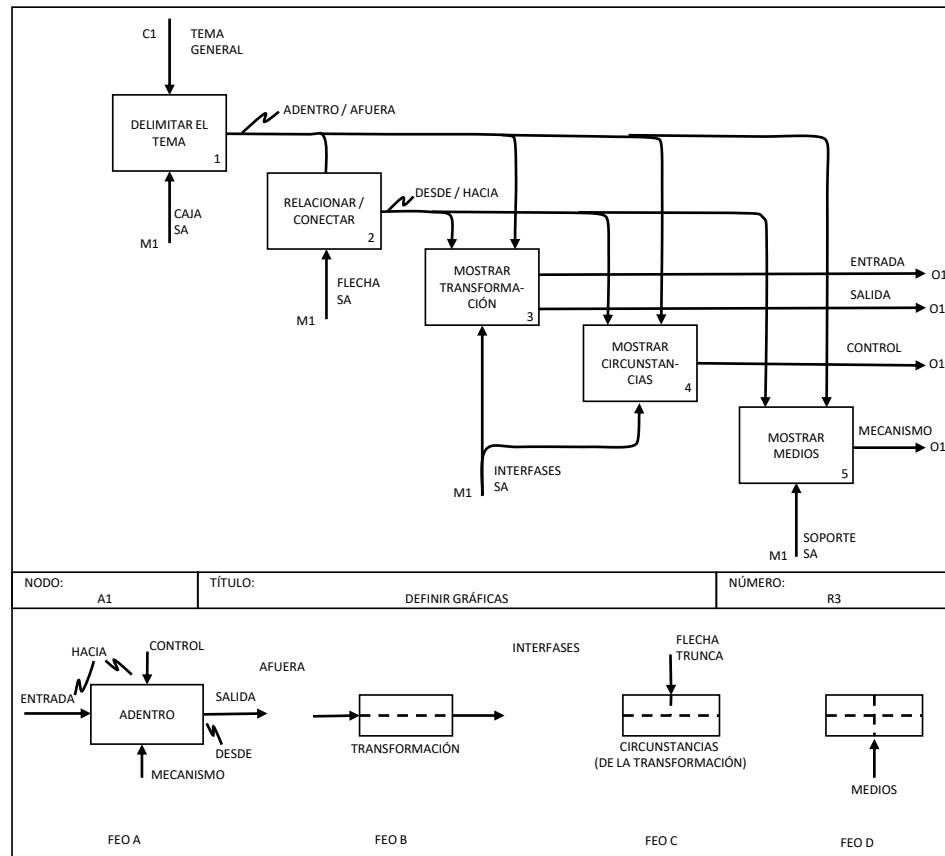


Figura 5.6: A1: Definición de Gráficas. Fuente: Ross, 1977.

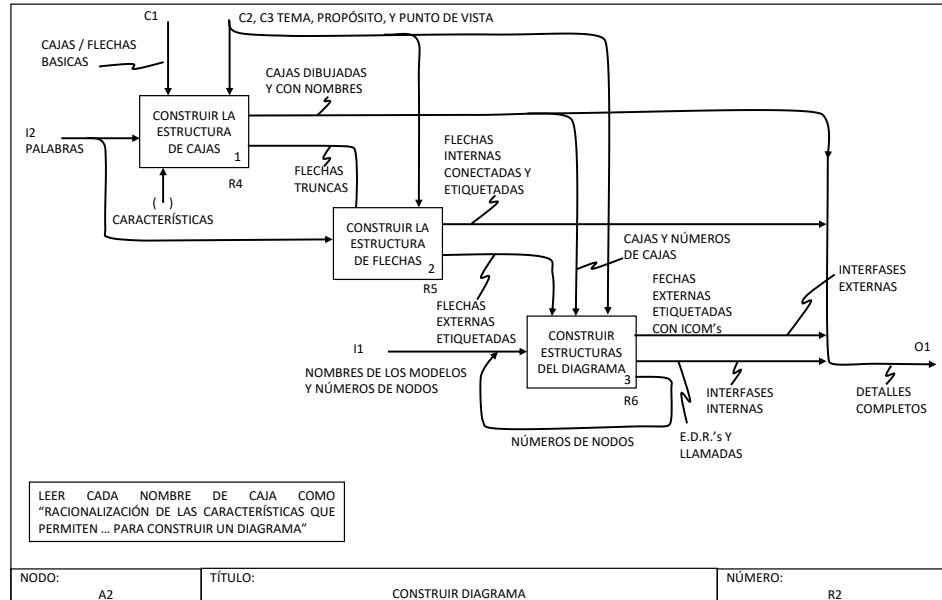


Figura 5.7: A2: Construcción de un diagrama. Fuente: Ross, 1977.

1. Delimitar el tema, y con esto obtener qué está dentro de éste y que no forma parte de éste (Adentro/Afuera), esto se hace a través de dividirlo en seis o menos cajas (Caja SA) que abarque al tema general completo.
2. Después se tiene que relacionar y conectar la información usando flechas, y como resultado de esto obtendremos de dónde a dónde viaja la información (Desde/Hacia).
3. Posteriormente se mostrarán las transformaciones de las Entradas en Salidas por medio de flechas a la derecha e izquierda de las cajas.
4. y 5. Finalmente se muestran circunstancias o controles y medios o mecanismos por medio de flechas arriba y abajo de las cajas respectivamente.

Este diagrama además muestra el uso de notas aclaratorias de lo que se está hablando en la parte inferior. Y vale la pena notar que su número de referencia es R3, con el cual aparece citado en el nodo A0 en la primer caja. Estas referencias que usan la inicial del autor (en este caso la "R" de Ross), al término de los diagramas podrán ser cambiadas por la expresión detallada de la referencia (o DRE por sus siglas en inglés).

El diagrama del nodo A2, "Construcción de un diagrama", tiene tres partes: construir la estructura de las cajas, construir la estructura de las flechas, y construir estructuras del diagrama. Al observar el diagrama se puede decir que incluye todo lo que se requiere para concluir un diagrama, pero se necesita de más información para comprender las etiquetas de todas sus flechas. Por lo que de éste se desprenden los diagramas A21, A22 y A23 (Figuras 5.8, 5.9 y 5.10, respectivamente).



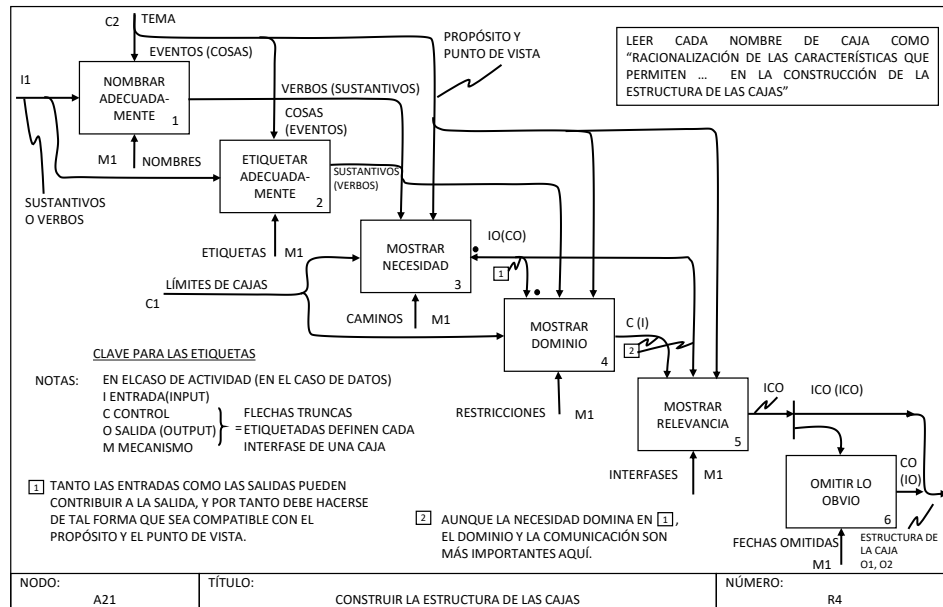


Figura 5.8: A21: Construcción de la estructura de cajas. Fuente: Ross, 1977.

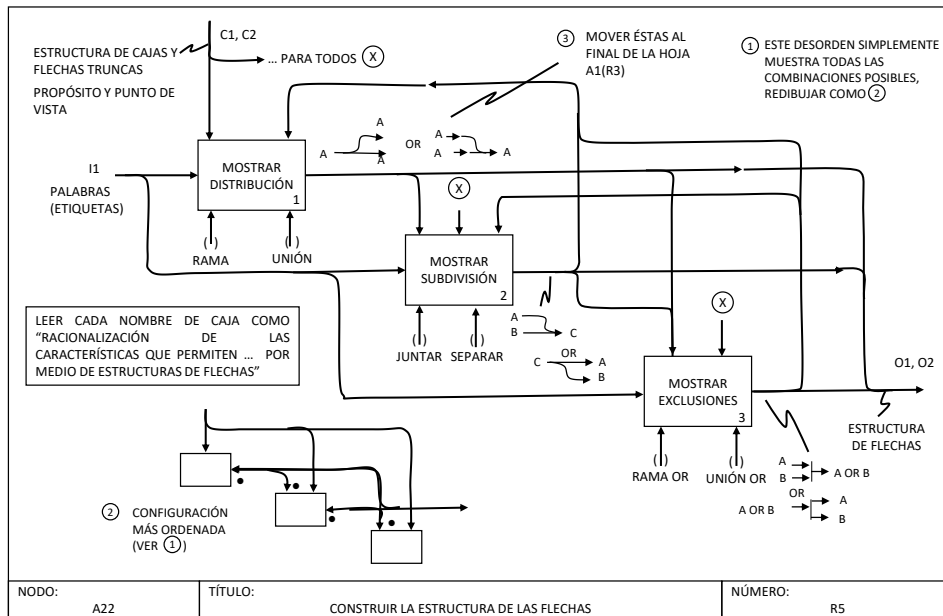


Figura 5.9: A22: Construcción de la Estructura de Flechas. Fuente: Ross, 1977.

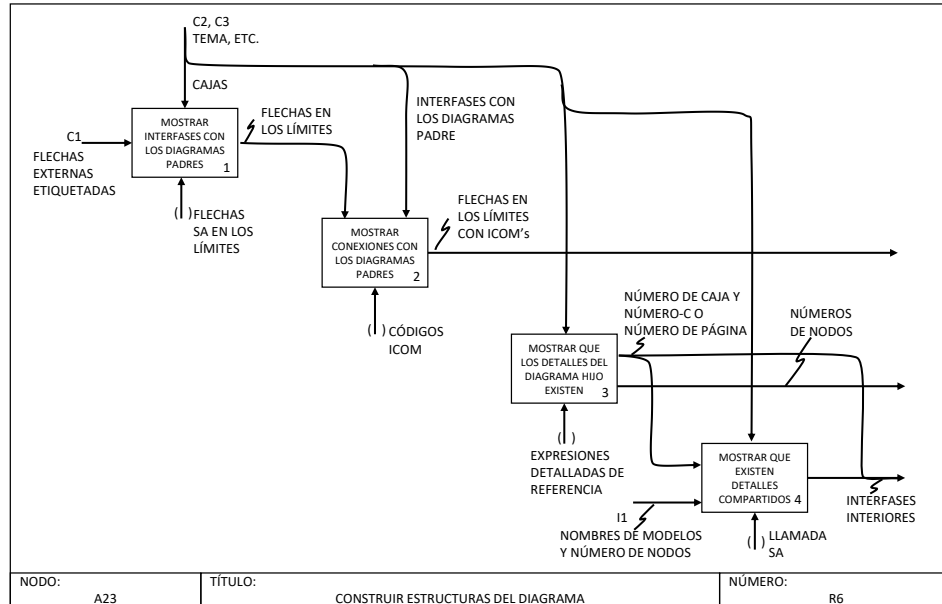


Figura 5.10: A23: Construcción de la Estructura del Diagrama. Fuente: Ross, 1977.

Las primeras dos cajas del diagrama A21, nos indican que las cajas y flechas se deben de nombrar y etiquetar adecuadamente. Como se mencionó anteriormente, en el análisis estructurado se toman en consideración tanto los objetos como los eventos del tema modelado. Los eventos son representados por diagramas de actividades (verbos), y los objetos son representados por diagramas de datos (sustantivos). La ventaja del lenguaje del análisis estructurado es que, como se observa en la figura 5.11, se puede representar la misma actividad de dos formas muy distintas debido a que, el dominio de los eventos o actividades y el de los objetos ó datos, son duales.

Para aclarar las siguientes dos cajas del diagrama A21 se hará usando la explicación de Douglas Ross mostrada en la Figura 5.12. Supóngase una actividad cualquiera que hace una transformación de Salidas en Productos, que se quiere dividir en dos partes, sin embargo, se puede dividir naturalmente en tres partes: A, B y C. Por lo que para dividirla en dos partes se puede hacer de dos formas: en A' y B', con  $A' = A + B$  y  $B' = C$ ; ó en A'' y B'', con  $A'' = A$  y  $B'' = B + C$ . Entonces de aquí se puede decir que cualquiera de las dos formas de dividir es válida, y sólo se requiere que las cajas A, B, y C, estén unidas por flechas en ese orden, por lo que ambas opciones satisfacen la **necesidad**. Para tomar una decisión, se debe añadir controles a las dos opciones, la primera opción de cajas A' y B' tendrá los controles  $C_{A'}$  y  $C_{B'}$ ; la segunda opción de cajas A'' y B'' tendrá los controles  $C_{A''}$  y  $C_{B''}$ . Al elegir uno de estos dos pares de controles, se está eligiendo restricciones **dominantes** y con ello se está forzando a la audiencia a ver la descomposición desde un punto de vista, por lo que no permiten malas interpretaciones.

Las últimas dos cajas de este diagrama: "Mostrar relevancia" y "Omitir lo obvio", se pueden resumir con la siguiente regla: Los controles no se omiten nunca de los

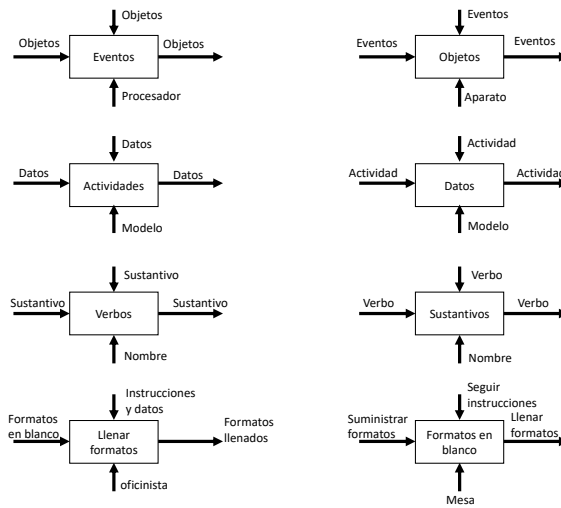


Figura 5.11: Dualidad de Actividades y datos. Fuente: Ross, 1977.

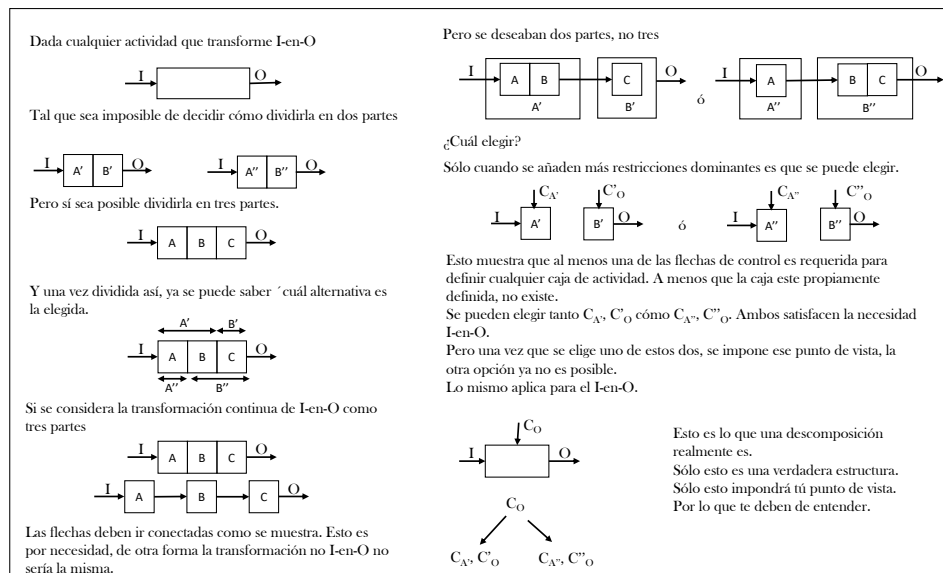


Figura 5.12: Necesidad y dominio. Fuente: Ross, 1977.

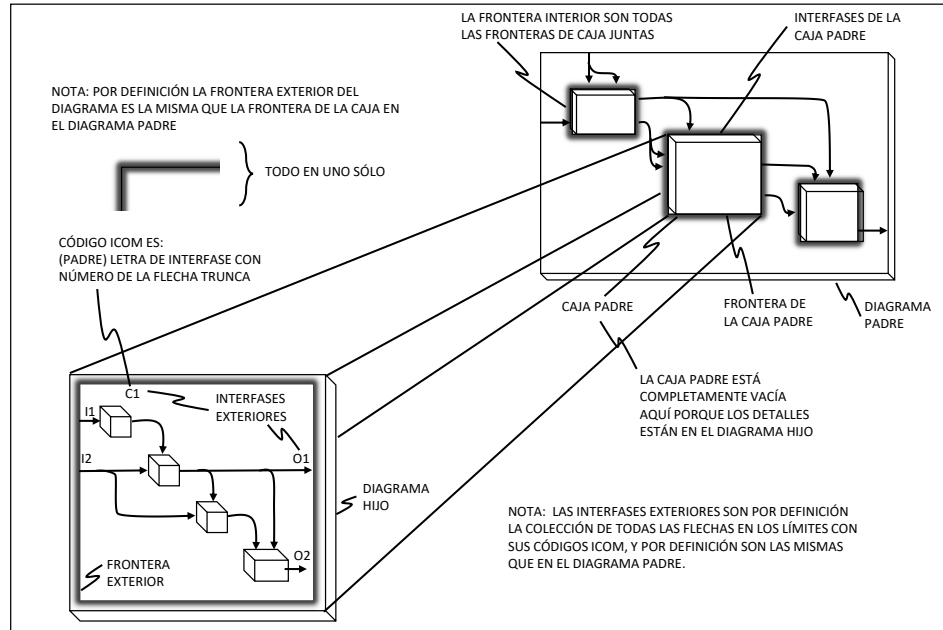


Figura 5.13: Fronteras e Interfases. Fuente: Ross, 1977.

diagramas de actividades, y las entradas no se omiten nunca de los diagramas de datos.

No se discutirá en este trabajo el diagrama A22 (Figura 5.9) dado que las tres operaciones que se mencionan en él son básicas. Cabe mencionar que la tercer caja, que se refiere al operador lógico OR, rara vez es usada en los diagramas de análisis estructurado, sólo en aquellas ocasiones en las que ayuda a la claridad del tema.

El diagrama A23 (Figura 5.10) muestra cómo se deben de vincular entre sí los diagramas como un todo, para que sea comprensible el modelo. Existen dos tipos de interfase de acuerdo a su relación con la frontera del diagrama: aquellas que provienen o se dirigen hacia afuera del diagrama, se le llaman externas, y aquellas que sólo interactúan con cajas dentro del diagrama, se les llama internas; las interfases externas de un diagrama pueden ser las internas de su diagrama padre (Figura 5.13).

El lenguaje de análisis estructurado también tiene simplificaciones a las notaciones gráficas, y formas de incluir texto e imágenes dentro del diagrama, esto con el fin de simplificar la presentación de la información y evitar el amontonamiento del gráfico (Diagrama A3, Figura 5.14).

El texto puede ser añadido a los diagramas de tres formas: con notas, con pies de página y con metanotas. Las primeras dos sí forman parte del digrama, y la tercera no es una parte del diagrama, sino que es una nota sobre el diagrama, es decir son sólo observaciones o referencias a la información contenida en el diagrama.

El último diagrama que se expondrá será el del nodo A31, el cual habla de la notación especial en flechas, aunque las relaciones entre cajas tienden a ser en un

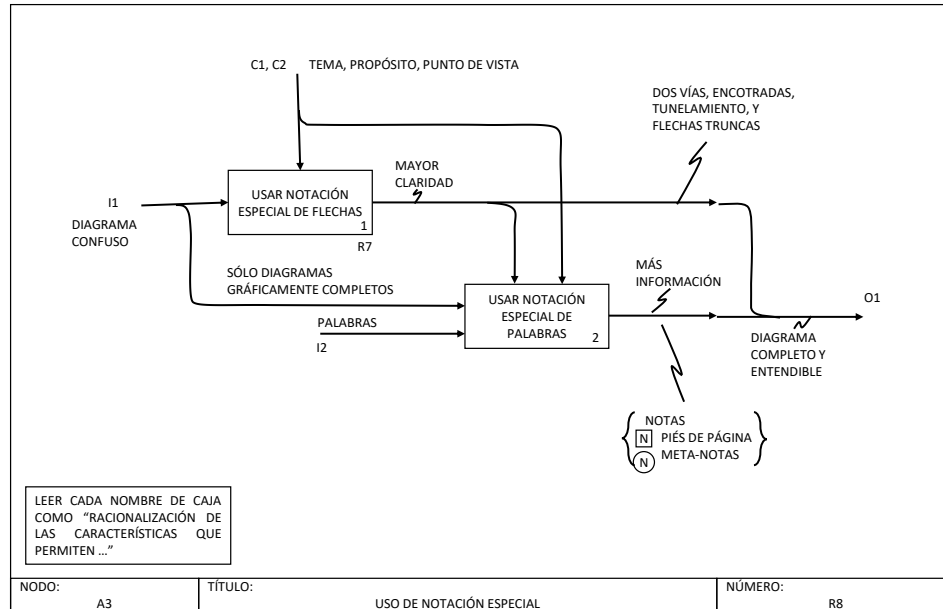


Figura 5.14: A3: Uso de Notación Especial. Fuente: Ross, 1977.

sólo sentido, si es un proceso donde haya cooperación, ésta se denotará como flechas que van en ambos sentidos. Un ejemplo de esto podría ser la relación jefe-empleado; en un diagrama padre de un proceso el jefe da una orden a un empleado (de jefe a empleado), y en el detalle de esa orden o diagrama hijo, debe haber un intercambio de información en ambos sentidos (de jefe a empleado y de empleado a jefe), para que la tarea pueda ser realizada. La notación de tunelamiento sirve para omitir esa flecha en los diagramas hijos hasta un nivel más profundo en el que la información sea relevante y se requiera. La última notación descrita en este diagrama permite romper las flechas y sustituirlas por un etiquetamiento, esto con el fin de evitar el desorden, sin embargo, no se recomienda su uso, pues el diagrama puede contener tanta información que deje de ser asimilable para la audiencia.

Si bien no se muestran en este trabajo todos los diagramas mencionados en la tabla de contenido de la figura 5.16, en la presente sección sólo se pretende llegar a un buen entendimiento de cómo utilizar el análisis estructurado, y en la siguiente sección se espera aclarar las dudas que pudieran existir sobre cómo aplicarlo a los procesos constructivos.

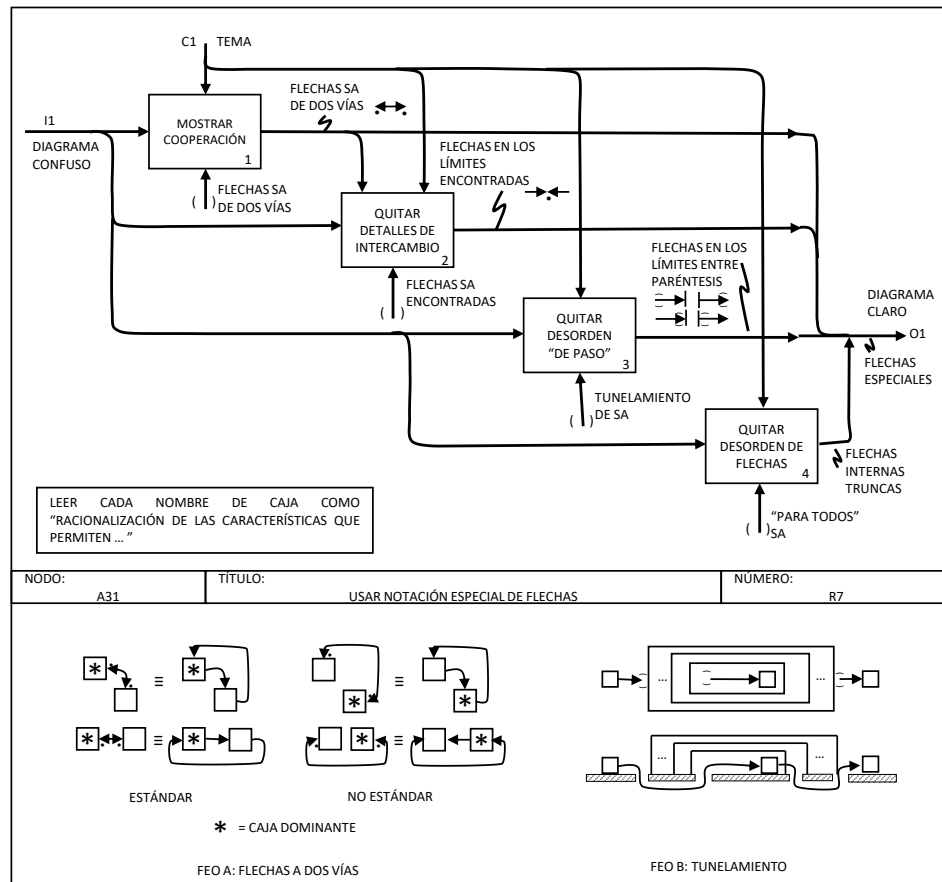


Figura 5.15: A31: Uso de notación especial con flechas. Fuente: Ross, 1977.

A0	RACIONALIZACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS ESTRUCTURADO
A1	DEFINIR GRÁFICAS
A11	DELIMITAR EL TEMA
A12	RELACIONAR / CONECTAR
A13	MOSTRAR TRANSFORMACIÓN
A14	MOSTRAR CIRCUNSTANCIAS
A15	MOSTRAR MEDIOS
A2	CONSTRUIR DIAGRAMA
A21	CONSTRUIR LA ESTRUCTURA DE CAJAS
A211	NOMBRAR ADECUADAMENTE
A212	ETIQUETAR ADECUADAMENTE
A213	MOSTRAR NECESIDAD
A214	MOSTRAR DOMINIO
A215	MOSTRAR RELEVANCIA
A216	OMITIR LO OBVIO
A22	CONSTRUIR LA ESTRUCTURA DE FLECHAS
A221	MOSTRAR DISTRIBUCIÓN
A222	MOSTRAR SUBDIVISIÓN
A223	MOSTRAR EXCLUSIONES
A23	CONSTRUIR ESTRUCTURAS DEL DIAGRAMA
A231	MOSTRAR INTERFASES CON LOS DIAGRAMAS PADRES
A232	MOSTRAR CONEXIONES CON LOS DIAGRAMAS PADRES
A233	MOSTRAR QUE LOS DETALLES DEL DIAGRAMA HIJO EXISTEN
A234	MOSTRAR QUE EXISTEN DETALLES COMPARTIDOS
A3	USO DE NOTACIÓN ESPECIAL
A31	USAR NOTACIÓN ESPECIAL DE FLECHAS
A311	MOSTRAR COOPERACIÓN
A312	QUITAR DETALLES DE INTERCAMBIO
A313	QUITAR DESORDEN "DE PASO"
A314	QUITAR DESORDEN DE FLECHAS
A32	USAR NOTACIÓN ESPECIAL DE PALABRAS
A4	PONER REFERENCIAS
(A41)	REFERENCIAS DE HOJAS)
(A42)	REFERENCIAS DE CAJAS)
(A43)	REFERENCIAS DE INTERFASES)
(A44)	REFERENCIAS DE FLECHAS)
(A45)	REFERENCIAS DEL CONTEXTO)
A5	ORGANIZAR MATERIAL

Figura 5.16: Índice. Fuente: Ross, 1977.

## 5.4. Ejemplo de Aplicación a la Construcción

En esta sección se realizará un ejemplo del uso de la metodología de Análisis Estructurado aplicado a la construcción, se construirá un modelo de: "El procedimiento constructivo de Freyssinet del Reforzamiento Exterior de la tubería de concreto presforzado del Sistema Cutzamala", se hará con el propósito de garantizar recursos a tiempo, desde el punto de vista del contratista.

- PASO 1. Se realiza el Diagrama A-0 (Figura 5.17), que es el diagrama de mayor jerarquía y representa de la manera más abstracta o general aquello que deseamos analizar, que en este caso se trata de la partida de obra ya mencionada.
- PASO 2. Se realiza la primera descomposición del tema, en este caso los conceptos de la obra (Figura 5.18).
- PASO 3. Continuamos con la descomposición de los diagramas hijos hasta llegar al nivel de tareas o actividades (Figuras 5.19, 5.22, 5.23 y 5.26).
- PASO 4. Finalmente los diagrama 5.20, 5.24, y 5.27; contienen el detalle de los controles (o información necesaria para la realización correcta de las tareas) y mecanismos (recursos necesarios). Y los diagramas 5.21, 5.25 y 5.28 contienen los FEO, que en este caso son fotografías del procedimiento constructivo.



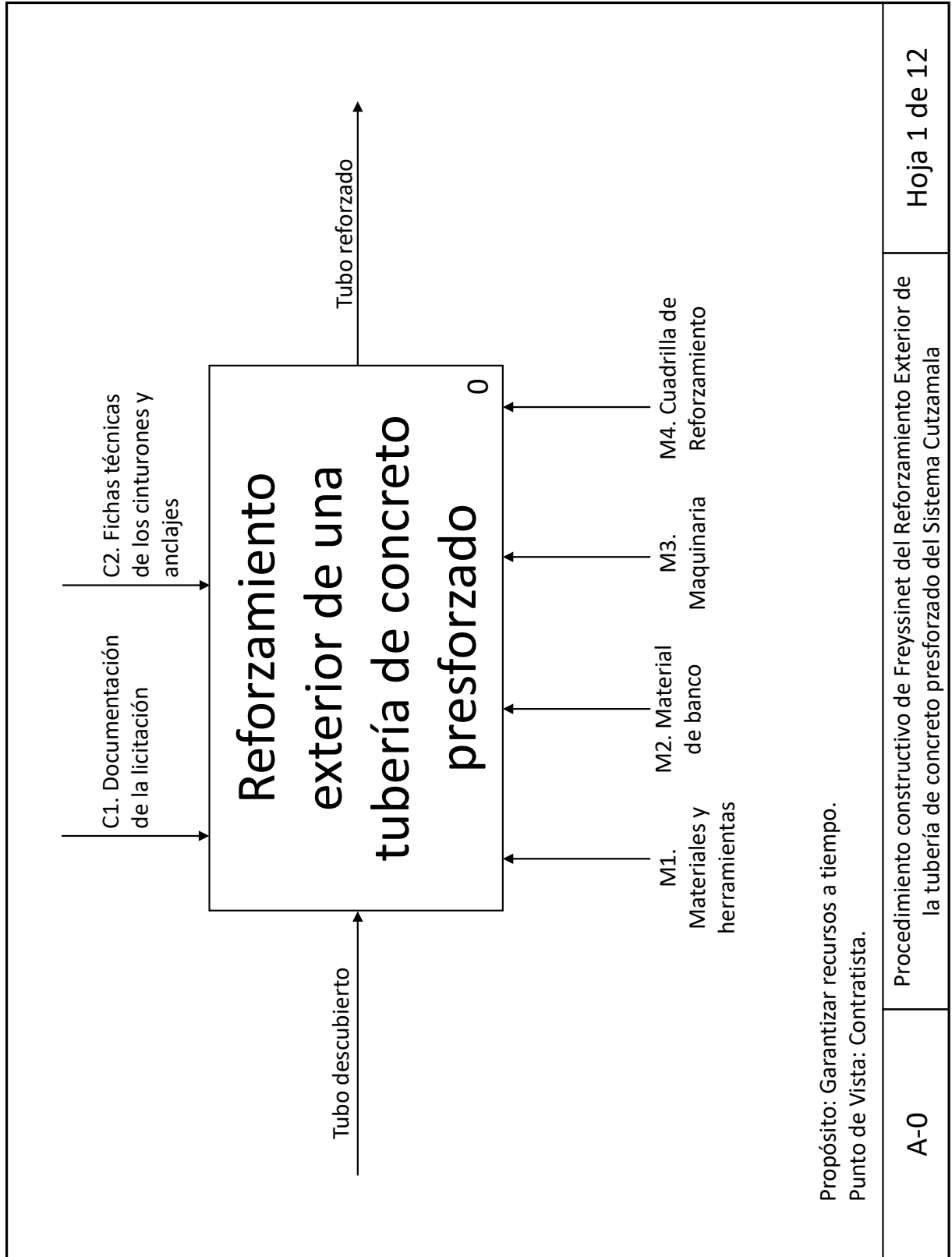


Figura 5.17: Diagrama A-0 de la partida de obra: Reforzamiento exterior de una tubería de concreto presforzado. Fuente: Elaboración propia.

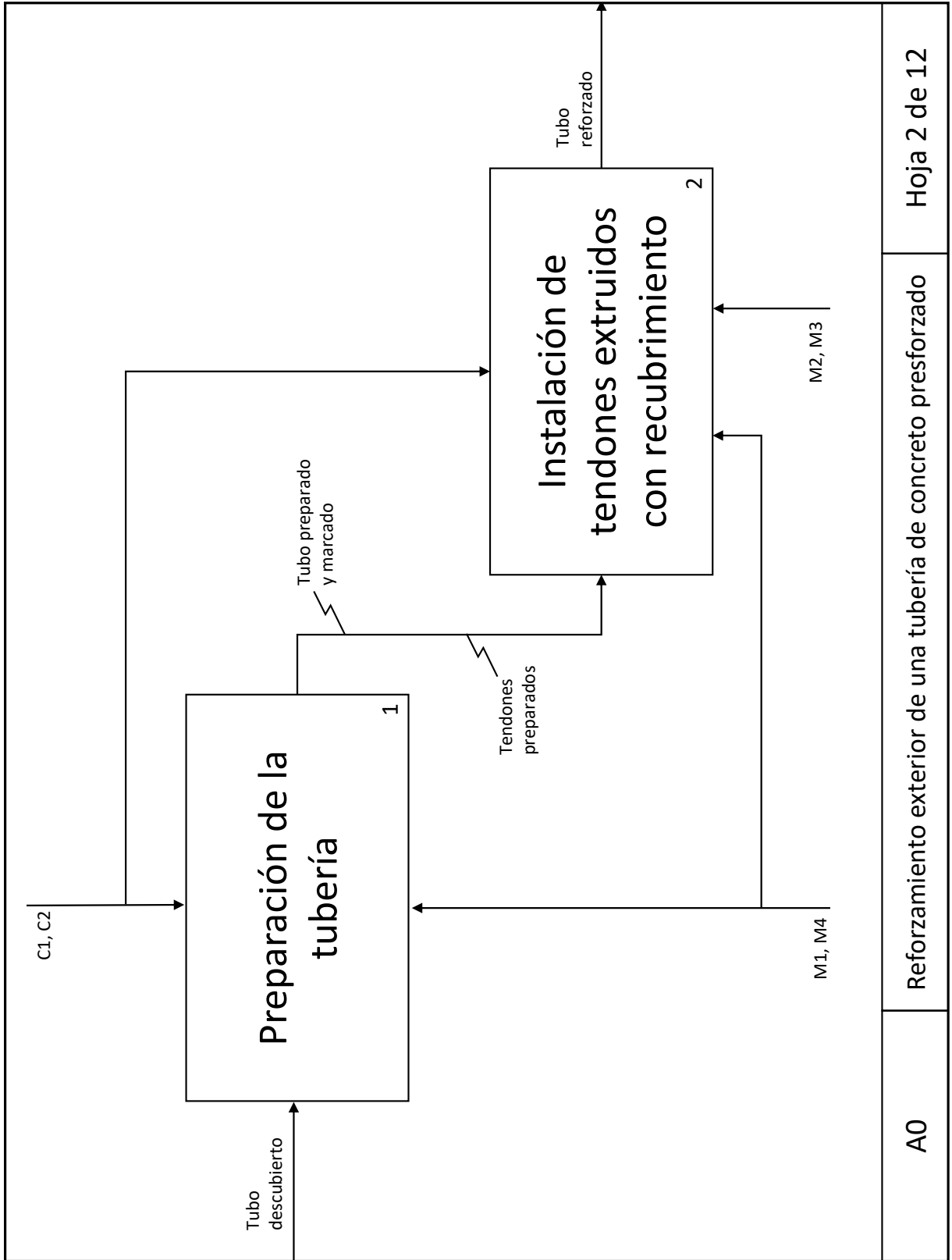


Figura 5.18: Primera descomposición del diagrama A0. Fuente: Elaboración propia.

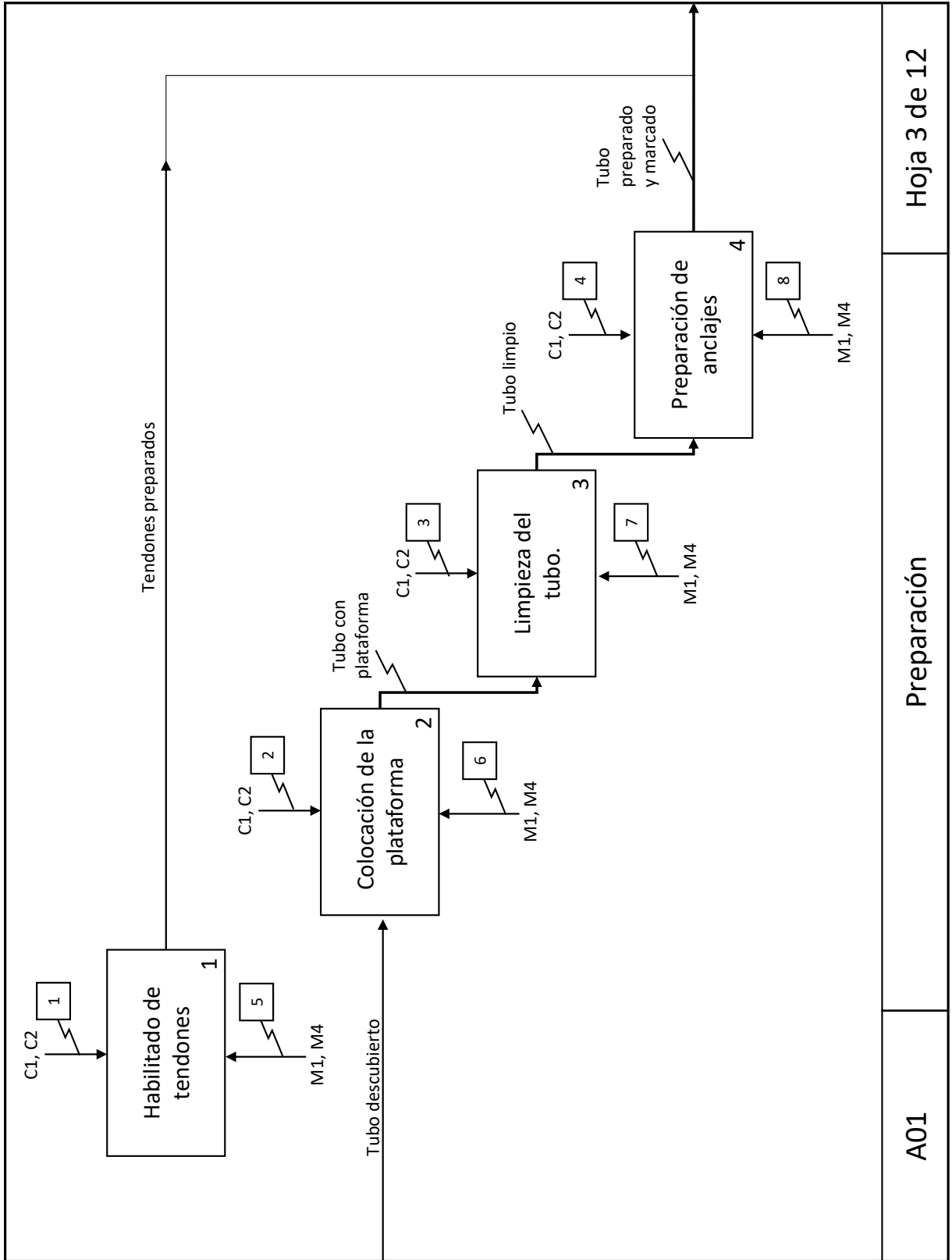


Figura 5.19: A01 Preparación. Fuente: Elaboración propia.

<b>CONTROLES</b>	C1. Documentación de la licitación	<p>1 Está actividad se realiza un día antes.</p> <p>2 La plataforma se diseña a medida del tubo.</p>	
	C2. Fichas técnicas de los cinturones y anclajes	<p>3 Se hace para evitar dañar anclajes y vainas.</p> <p>4 Se marcan las posiciones de los anclajes de acuerdo al diseño estructural.</p>	
<b>MECANISMOS</b>	M1. Materiales y herramientas	<p>5 Torones y vainas.</p> <p>6 Plataforma a la medida del tubo y escalera de aluminio.</p> <p>7 Escoba.</p> <p>8 Flexómetro y marcador.</p>	
	M4. Cuadrilla de Reforzamiento	6 ayudantes, 4 oficiales y 1/10 de cabo	
<b>A01-1</b>	<b>Preparación</b>		<b>Hoja 4 de 12</b>

Figura 5.20: A01-1 Controles y Mecanismos del Diagrama de Preparación. Fuente: Elaboración propia.





 <p>FEO A01b Foto de la limpieza de tubo</p>	 <p>FEO A01c Fotos del marcado de tubo</p>	<p>Preparación</p>	<p>Hoja 5 de 12</p>
 <p>FEO A01a Fotos de la colocación de andamio</p>	 <p>FEO A01a Fotos de la colocación de andamio</p>	<p>A01-2</p>	<p>Hoja 5 de 12</p>

Figura 5.21: A01-2 FEO's del Diagrama de Preparación. Fuente: Elaboración propia.

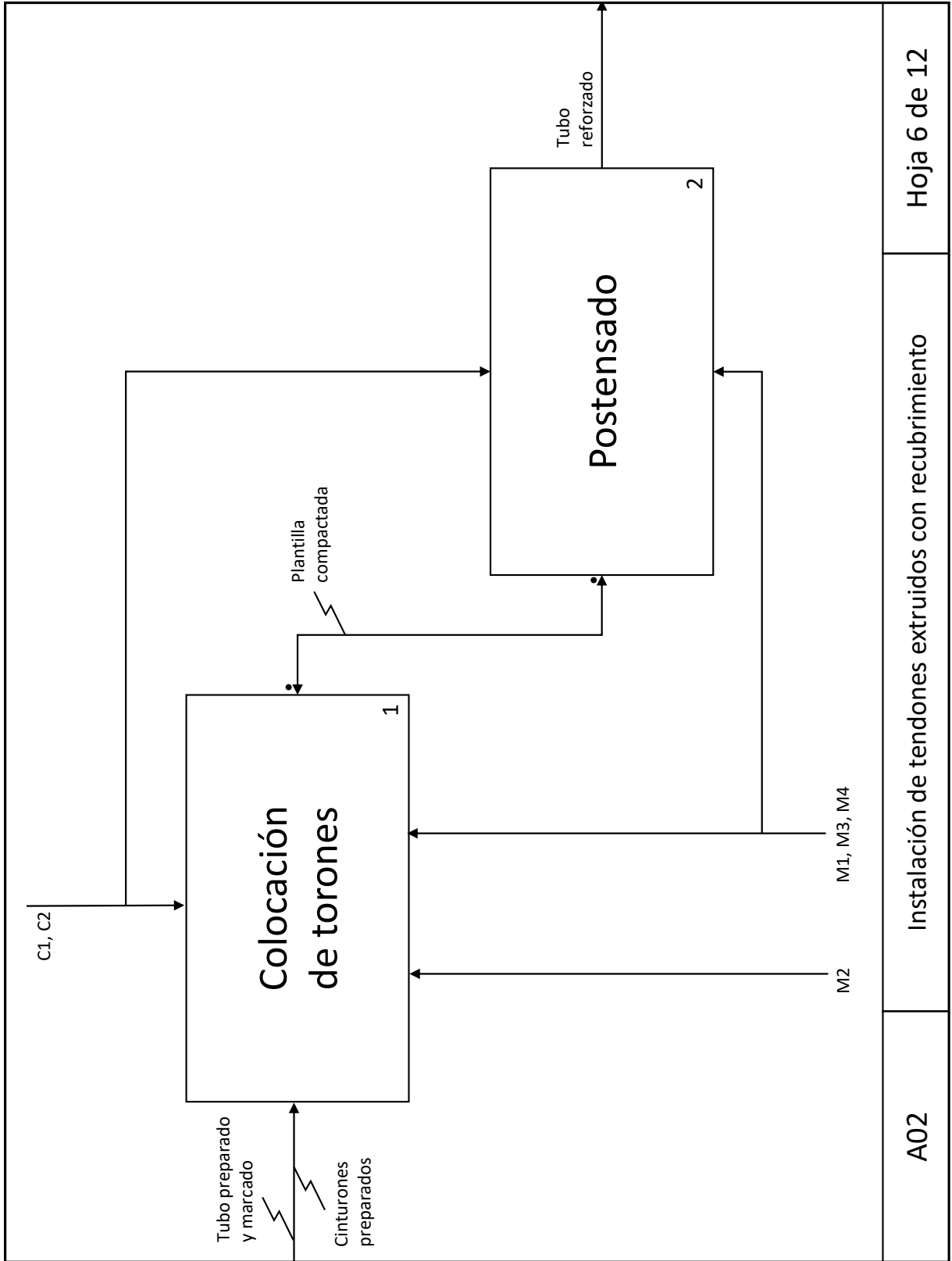


Figura 5.22: A02 Instalación de tendones extruidos con recubrimiento. Fuente: Elaboración propia.

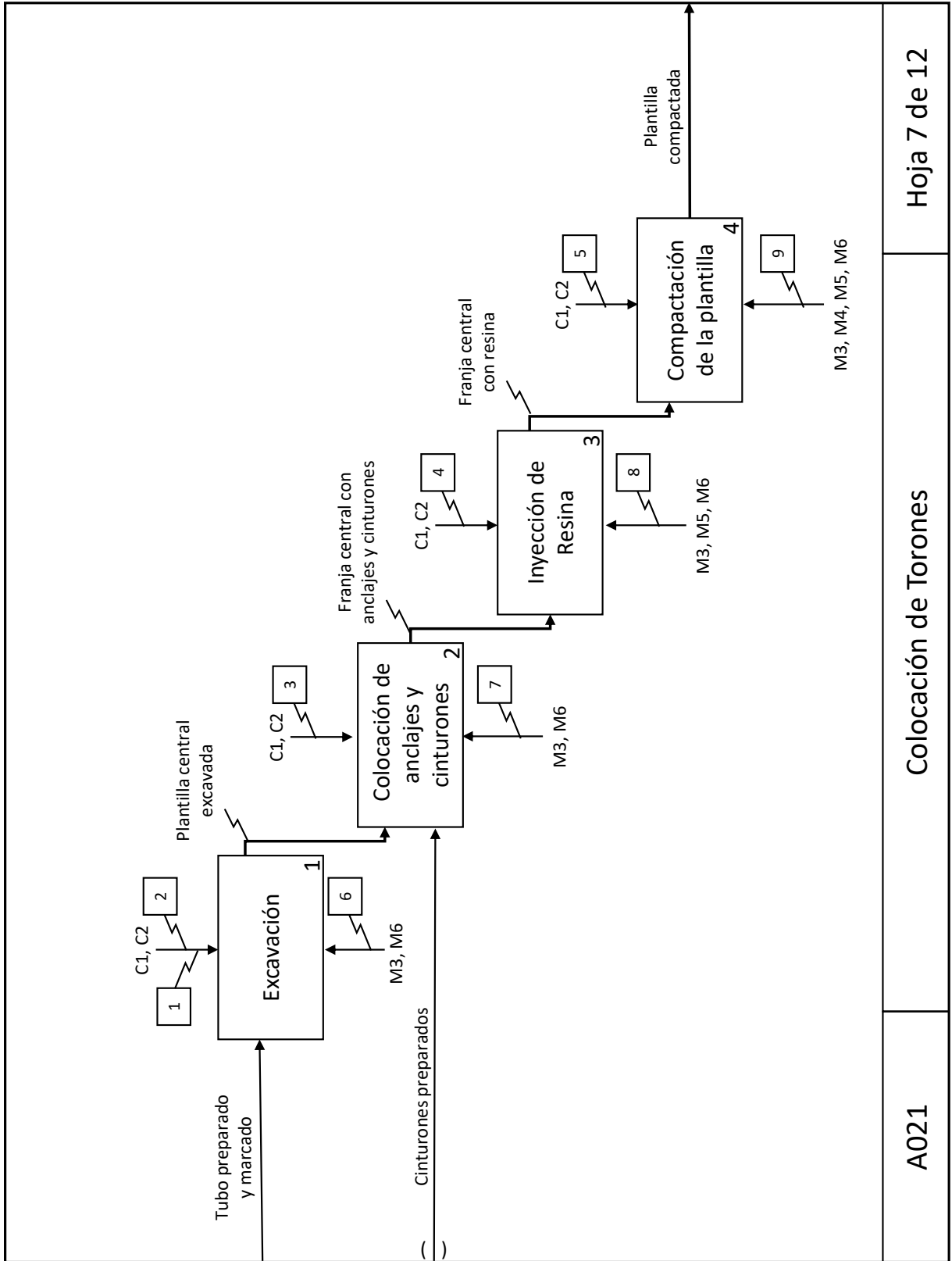


Figura 5.23: A021 Colocación de torones. Fuente: Elaboración propia.

<b>MECANISMOS</b>	<b>C1. Documentación de la licitación</b>	1	Se excavan 1/3 de la longitud del tubo con una altura de 20 cm por debajo del tubo para el paso de los cinturones.
		2	El tubo siempre debe estar apoyado en 2/3 de su longitud.
		3	Se colocan dos cinturones dobles por anclaje y se aplica una precarga de 1 ton para ajustar los cinturones al tubo.
		4	Se rellenan los cinturones con una resina epóxica y se toma una muestra para el laboratorio.
		5	Se vibrocompacta por medio de gatos hidráulicos, utilizando una técnica patentada por Freyssinet.
	<b>M1. Materiales y herramientas</b>	6	Palas y picos.
		7	Anclaje 2MX15 y Cinturones Duraloop.
		8	Resina epóxica.
		9	Tepetate
	<b>M2. Material de banco</b>	8	Bomba para la resina.
9		Gatos hidráulicos	
<b>M3. Maquinaria</b>	6 ayudantes, 4 oficiales y 1/10 de cabo		
	<b>M4. Cuadrilla de Reforzamiento</b>		
<b>A021-1</b>	<b>Colocación de Torones</b>		
			<b>Hoja 8 de 12</b>

Figura 5.24: A021-1 Controles y Mecanismos del Diagrama de Colocación de Torones.  
Fuente: Elaboración propia.



 <p>FEO A021a Fotos de la excavación</p>	 <p>FEO A021b Fotos de la colocación de anclajes y cinturones</p>	 <p>FEO A021c Fotos de la inyección de resina</p>  <p>FEO A021d Fotos de la compactación</p>	<p>A021-2</p> <p>Colocación de Torones</p> <p>Hoja 9 de 12</p>
---	--	--	--

Figura 5.25: FEO's del Diagrama de Colocación de Torones. Fuente: Elaboración propia.

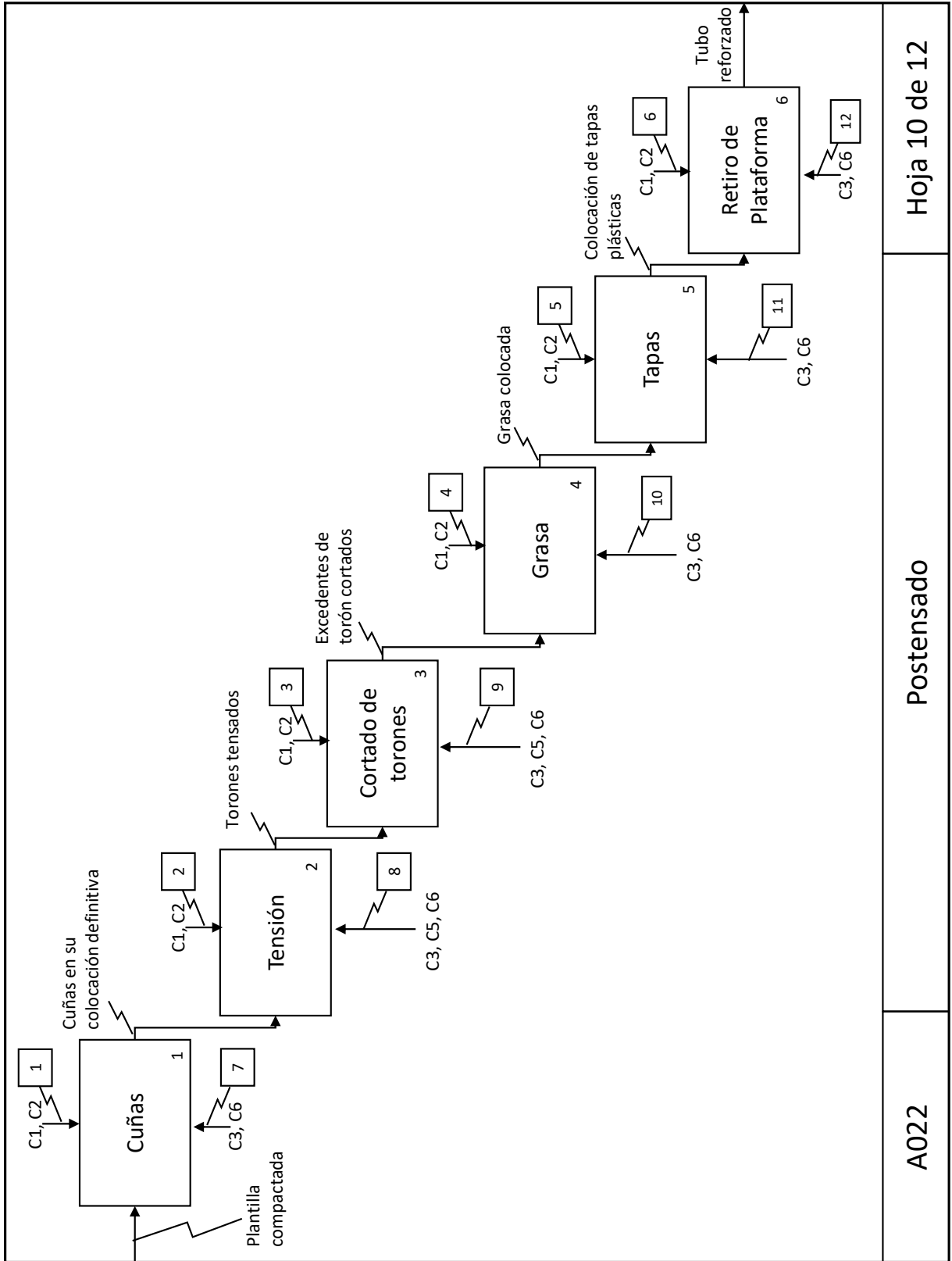


Figura 5.26: A022 Postensado. Fuente: Elaboración propia.

<b>CONTROLES</b>	C1. Documentación de la licitación	<p>6 Después de retirarse se puede comenzar a rellenar para cubrir el tubo.</p>
	C2. Fichas técnicas de los cinturones y anclajes	<p>1 Para asegurar la posición del refuerzo</p> <p>2 Se tensan a la carga final.</p> <p>3 Para evitar que haya metal expuesto.</p> <p>4 Zonas de metal expuestas se impregnan con grasa.</p> <p>5 Protección contra humedad.</p>
<b>MECANISMOS</b>	M1. Materiales y herramientas	<p>7 Cuñas.</p> <p>10 Grasa.</p> <p>11 Tapas del anclaje.</p> <p>12 Escalera de aluminio.</p>
	M3. Maquinaria	<p>8 Gatos hidráulicos.</p> <p>9 Cortadora de varilla.</p>
	M4. Cuadrilla de Reforzamiento	<p>6 ayudantes, 4 oficiales y 1/10 de cabo</p>
A022-1	Postensado	Hoja 11 de 12

Figura 5.27: A022-1 Controles y Mecanismos del Diagrama de Postensado. Fuente: Elaboración propia.





 <p>FEO A022a Foto del tensado de torones</p>	 <p>FEO A022c Foto de los torones con grasa y tapas</p>	 <p>FEO A022d Foto del retiro de la plataforma</p>
 <p>FEO A022b Foto del corte de torones</p>	<p style="text-align: center;">Postensado</p>	<p style="text-align: center;">Hoja 12 de 12</p>
<p>A022-2</p>		

Figura 5.28: A022-2 FEO's del Diagrama de Postensado. Fuente: Elaboración propia.

# 6

## Conclusiones

*“Omni fine initium novum.”*

– Seneca

- Ni la metodología de Análisis Estructurado, ni la de Last Planner sustituyen a las ya utilizadas en obra (diagrama de Gantt, Ruta Crítica, etc.), mas bien las complementan y enriquecen a fin de mejorar la calidad y tiempos de entrega en los trabajos de obra.
- La metodología Last Planner permite aumentar la confiabilidad en las fechas de entrega de los trabajos, a través de una programación en cascada, y controles tales como: el Análisis de restricciones, el Plan de Trabajo Semanal, y el análisis de las razones de incumplimiento.
- El Análisis estructurado es un lenguaje gráfico que permite la comunicación y análisis de temas. En el caso de la construcción, permite detallar procesos constructivos y comunicarlos desde el punto de vista de un experto en campo, permitiendo así la transmisión de conocimiento que de otra forma puede tardar años en adquirir un residente novato.

Además, esta herramienta de comunicación, permite que otras áreas de gabinete se empapen del procedimiento constructivo, mejorando así sus aproximaciones de presupuesto y programa.

Y, al igual que otras metodologías utilizadas para describir procedimientos constructivos, el modelo de análisis estructurado podrá ser mejorado y ampliado por los residentes en cada obra que sea utilizado.

- El uso y difusión de este tipo de metodologías ayudará a mejorar la cultura laboral de las empresas de construcción, sus tiempos y costos de obra. Con lo que se mejora su productividad y se mitigan los efectos negativos que la situación política y económica del país han tenido sobre la industria de la construcción.



# Bibliografía

- [1] Aguilar, Ernesto. TESIS: *Utilización del Método CPM y la técnica PERT en la Administración de Proyectos*. Universidad Nacional Autónoma de México, Enero 2001.
- [2] All About Lean. "The (True) Difference Between Push and Pull" *All About Lean: Organiza your Industry*, 2 Junio 2015. <https://www.allaboutlean.com/push-pull/>
- [3] Anisul Hoque Ansari. "A brief History of Lean Manufacturing". *MK Fashions Ltd.*, 2013. <http://memberfiles.freewebs.com/82/66/45306682/documents/A%20Short%20Book%20on%20LEAN%20UNDERSTANDING-Ansari.pdf>
- [4] Arquinetpolis. "¿Cómo calcular el rendimiento de la Mano de Obra para un presupuesto?". *Arquitectura, urbanismo y mas...*, 20 Mayo 2018. <http://arquinetpolis.com/rendimiento-mano-de-obra-presupuesto/>
- [5] Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción. "Plan de Manejo de Residuos de la Construcción y la Demolición." *CMIC*, 2013, <http://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM%20RCD%20Completo.pdf>
- [6] Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción. "Reporte de la Actividad Económica de la Industria de la Construcción." *CEESCO*, Diciembre 2017, [http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2017/Reporte%20CEESCO%20de%201a%20Industria%20de%201a%20Construcci%C3%B3n%2019\\_12\\_17.pdf](http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2017/Reporte%20CEESCO%20de%201a%20Industria%20de%201a%20Construcci%C3%B3n%2019_12_17.pdf)
- [7] Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción. "Análisis sobre el impacto del precio de la Gasolina y el Diesel en la Industria de la Construcción." *CEESCO*, Enero 2017, <http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2017/IMPACTO%20DEL%20PRECIO%20DE%20LA%20GASOLINA%20EN%20LA%20CONSTRUCCI%C3%93N.pdf>
- [8] Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción. "Situación Actual de la Industria de la Construcción y sus Perspectivas: Las tendencias regionales del mercado de la construcción y futuros planes de desarrollo." *CEESCO*, Abril 2017, <http://www.cmic.org.mx/cmic/ceesco/2017/Las%20Tendencias%20de%20la%20Industria%20de%20la%20Construcci%C3%B3n.pdf>

20Regionales%20del%20Mercado%20de%20la%20Construcci%C3%B3n%20y%  
20Futuros%20Planes%20de%20Desarrollo\_25\_04\_2017.pdf

- [9] Computer Systems Laboratory of the National Institute of Standards and Technology (NIST). "Integration Definition for Function Modeling (IDEF0)" *Integrated DEFinition Methods*, Diciembre, 1993.
- [10] Fahim Ahmed et. al. "Using the Structures Analysis and Design Technique (SADT) in Simulation Conceptual Modeling". *Loughborough University, School of Business and Economics*, 2014. <https://informs-sim.org/wsc14papers/includes/files/093.pdf>
- [11] Halpin, Daniel y Bolivar Senior. *Construction Management*. John Wiley Sons, Inc. Estados Unidos, 2011.
- [12] Hernández Cruz, Ayuxi Nadcheli. TESIS: *Simulación y Adaptación de Last Planner System como un Sistema de Planificación y Control*. Tecnológico de Monterrey, Diciembre 2008.
- [13] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Indicadores de Confianza Empresarial, cifras durante Diciembre de 2017." *INEGI*, Diciembre 2017, [http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/ice/ice2018\\_01.pdf](http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/ice/ice2018_01.pdf)
- [14] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Indicador Mensual de la Inversión Fija Bruta en México durante Octubre de 2017." *INEGI*, Octubre 2017, [http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/invfibu/invfibu2018\\_01.pdf](http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2018/invfibu/invfibu2018_01.pdf)
- [15] Instituto Nacional de Estadística y Geografía. "Indicadores de Productividad Laboral y del Costo Unitario de la Mano de Obra, cifras durante el tercer trimestre de 2017." *INEGI*, Diciembre 2017, [http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/ipl/ipl2017\\_12.pdf](http://www.beta.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2017/ipl/ipl2017_12.pdf)
- [16] Kaufman Global. "Lean Manufacturing White Paper: Part 1 of 3" *Kaufman Global: Accelerating Performance*, 23 Julio 2017. <https://www.kaufmanglobal.com/tag/pull-system/>
- [17] Lean Construction Institute. "The Last Planner Production System Workbook: Improving Reliability in Planning and Work Flow" *University of California, Berkeley*, Marzo, 2007. <https://www.leanconstruction.org/wp-content/uploads/2016/06/Last-Planner-Workbook-rev5.pdf>
- [18] Lean Construction Institute. "Plus/Delta". LCI, 2015. [https://leanconstruction.org/media/learning\\_laboratory/Plus\\_Delta/Plus-Delta.pdf](https://leanconstruction.org/media/learning_laboratory/Plus_Delta/Plus-Delta.pdf)
- [19] Leavitt, Don. "'SADT' Imposes Methodology on Problem Definitions." *Computer World: Software and Services*, page 19, Estados Unidos, 11 de Octubre de 1976.



- [20] Liker, Jeffrey K. *The Toyota way : 14 management principles from the worlds greatest manufacturer*. McGraw-Hill, 2003.
- [21] Munguía, Rómulo. "Administración de Obra"(clase). *Universidad Iberoamericana*, 2017.
- [22] Pomares, Juan. *Planificación Gráfica de Obras: Gantt-C.P.M.-P.E.R.T.-Roy*. G. Gili, 1977.
- [23] Pons Achell, Juan Felipe. "Introducción a Lean Construction". *Fundación Laboral de la Construcción*, 2014. <http://www.fundacionlaboral.org/documento/introduccion-al-lean-construction>
- [24] Project Management Institute. *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK)*. Project Management Institute, 2013.
- [25] Quijano Valdez, Jorge . *Análisis de Procesos y Administración de los Productos Arquitectónicos, Tomo III*. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Arquitectura, 2012, [http://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/tomo\\_iii\\_construccion.pdf](http://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/tomo_iii_construccion.pdf)
- [26] Rodríguez, Antonio D. "La gestión de obra desde la perspectiva del último planeador." *Revista de Obras Públicas: Ciencia y Técnica de la Ingeniería Civil*, Año 158, No. 3518, España, Febrero 2011. <http://www.gepuc.cl/wp-content/uploads/2016/07/La%20Gesti%C3%B3n%20de%20la%20obra%20desde%20la%20Perspectiva%20del%20%C3%A1lto%20Planificador%20-%20Rodr%C3%ADguez,%20Alarc%C3%B3n%20y%20Pellicer%20-%202011.pdf>
- [27] Ross, Douglas T. "Structures Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas" *IEEE Transactions on Software Engineering*, Vol. SE-3, No. 1, Estados Unidos, Enero 1977. <http://cs.txstate.edu/~rp31/papersSP/structuredAnalysisRoss.pdf>
- [28] Ugalde, Jesus. *Programación de operaciones*. Universidad Estatal a Distancia, 1979.
- [29] Valenzuela Camacho, Sara Luz. TESIS: *Sustitución y reforzamiento de tubos en las líneas 1 y 2 del acueducto del Sistema Cutzamala, Estado de México*. Universidad Nacional Autónoma de México, Noviembre 2014.
- [30] World Economic Forum, and Boston Consulting Group. "Shaping the Future of Construction." *WEF*, Mayo 2016, [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Shaping\\_the\\_Future\\_of\\_Construction\\_full\\_report\\_.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_Shaping_the_Future_of_Construction_full_report_.pdf)