

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD DE
CONSTRUCCIÓN DE CASAS EN SERIE, UTILIZANDO EL
MÉTODO DE PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y EL
SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

MANUEL ALEJANDRO AGUILAR BARILLAS
ASESORADO POR EL INGENIERO MARCO ANTONIO GARCÍA DÍAZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JUNIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortíz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

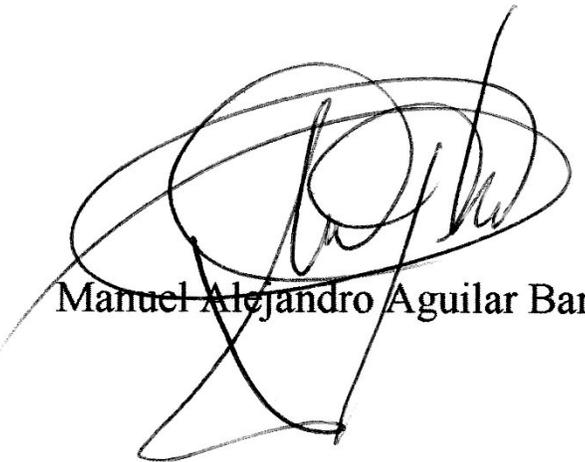
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Jorge Alberto Lam Lan
EXAMINADOR	Ing. Jeffrey Valentín Rosales Juárez
EXAMINADOR	Inga. Carmen Marina Mérida Alba
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE CASAS EN SERIE, UTILIZANDO EL MÉTODO DE PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y EL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, en abril de 2008.



Manuel Alejandro Aguilar Barillas

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS

Por prestarme la vida y a las personas que me rodean, que me brindan su amor y su apoyo.

LA VIRGEN MARÍA

Nuestra buena madre, por estar a mi lado en cada momento y por interceder ante nuestro Padre.

A MI PADRE

Manuel Aguilar, quien me ha brindado a lo largo de mi vida un vasto cúmulo de experiencias, conocimientos, apoyo y consejos.

A MI MADRE

Edith Barillas de Aguilar, quien me ha brindado su amor, paciencia, comprensión y apoyo, porque a lo largo de este tiempo me ha recordado el lado humano de la vida.

A MIS HERMANAS

Rocio y Cecilia por estar ahí cuando lo necesitaba y a mi sobrino Gabriel Andrés por venir a darme alegría a mi vida.

A MI NOVIA

Kimberly Barrientos, quien me ha brindado las fuerzas, inspiración y apoyo para terminar con este proceso de profesionalización.

ACTO QUE DEDICO A

DIOS

Por permitirme llegar hasta este momento, haciéndome crecer tanto profesional, como académica y sobre todo personalmente.

MIS ABUELOS

Elvia, Alejandro, Paula y Ciriaco.

Guatemala, 23 de octubre del 2009

Licenciado
Manuel María Guillén Salazar
Jefe Departamento de Planeamiento
Facultad de Ingeniería
Guatemala

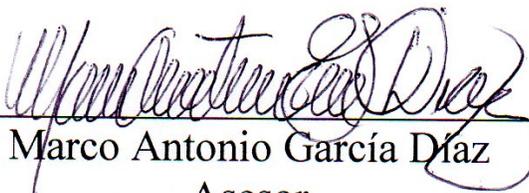
Respetable Licenciado:

Por medio de la presente hago constar que he revisado el trabajo de Graduación elaborado por el estudiante Manuel Alejandro Aguilar Barillas, quien se identifica con carné universitario 2003-12843. El título del trabajo es: **“ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE CASAS EN SERIE UTILIZANDO EL MÉTODO DE PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y EL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR”**.

Considero que el trabajo presentado ha sido desarrollado cumpliendo con las correcciones pertinentes, por lo que doy la aprobación y solicito el trámite correspondiente.

Sin otro particular me suscribo de usted,

Atentamente,


Marco Antonio García Díaz
Asesor

Marco Antonio García Díaz
Ingeniero Civil
Colegiado No. 6899



Guatemala,
17 de marzo de 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE CASAS EN SERIE UTILIZANDO EL MÉTODO DE PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y EL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Manuel Alejandro Aguilar Barillas, quien contó con la asesoría del Ingeniero Marco Antonio García Díaz.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar
Jefe del Departamento de Planeamiento

Manuel María Guillén Salazar
ECONOMISTA
Colegiado No. 4758



/bbdeb.



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Marco Antonio García Díaz y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Manuel Alejandro Aguilar Barillas, titulado ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE CASAS EN SERIE, UTILIZANDO EL MÉTODO DE PLANIFICACIÓN TRADICIONAL Y EL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO COMPARATIVO DE LA PRODUCTIVIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE CASAS EN SERIE, UTILIZANDO EL MÉTODO DE PLANIFICACION TRADICIONAL Y EL SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR**, presentado por el estudiante universitario **Manuel Alejandro Aguilar Barillas**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, junio de 2010



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XIX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN	XXIII
1. CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN.....	1
1.1 Definición de calidad total	1
1.2 Proceso de la calidad total.....	2
1.3 Impacto de la calidad en empresas de construcción.....	4
1.4 Estrategias para lograr la calidad	5
1.5 Ventajas de la calidad en empresas de construcción.....	6
1.6 Métodos para evaluar y controlar la calidad	7
1.6.1 Técnicas de comparación	8
1.6.2 Costo de la mala calidad	9
1.6.3 Soluciones con lluvia de ideas	10
1.6.4 Listas de aprobación.....	10
1.6.5 Control estadístico de procesos (CEP).....	11
1.6.5.1 Gráficas de control.....	15
1.6.5.2 Histogramas	16
1.6.5.3 Diagrama de Pareto	17
1.6.5.4 Diagrama causa-efecto	18
1.6.6 Gerencia total de productividad y calidad.....	19
1.6.7 Construcción sin pérdidas	20

1.6.7.1 El nuevo enfoque de la gestión de producción aplicado a la construcción.....	20
1.6.7.2 Identificación de las pérdidas como herramienta de mejoramiento en proyectos de construcción.....	22
1.6.7.2.1 Trabajo productivo (TP).....	23
1.6.7.2.2 Trabajo contributivo (TC).....	23
1.6.7.2.3 Trabajo no contributivo (TNC).....	23
2. PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN	25
2.1 Definición de productividad.....	25
2.2 Impacto de la productividad en empresas de construcción.....	26
2.3 Estrategias para mejorar la productividad.....	27
2.4 Ventajas de la productividad en empresas de construcción.....	28
2.5 Métodos para evaluar y controlar la productividad.....	29
2.5.1 Estudio de trabajo.....	29
2.5.1.1 Estudio de métodos.....	30
2.5.1.2 Medición del trabajo o estudio de tiempos (o plazos).....	32
2.5.2. Muestreo de actividades.....	39
2.5.2.1 Cálculo a pie de obra.....	40
2.5.2.2 Procedimiento para realizar un muestreo de actividades.....	40
2.5.3 Incentivos.....	42
2.5.3.1 Sistemas de pago, remuneración y rendimiento.....	45
2.5.3.1.1 Incentivos no económicos.....	45
2.5.3.1.2 Incentivos semieconómicos.....	47
2.5.3.1.3 Planes de incentivos económicos.....	48
2.5.3.2 Principios de un buen esquema de incentivos.....	50
2.5.3.3 Fijación de metas.....	51
2.5.4 Modelo de los factores.....	51
3. PLANIFICACIÓN TRADICIONAL	55
3.1 Codificación de las actividades.....	55

3.1.1 Flechas	55
3.1.2 Nodos	56
3.1.3 Actividades ficticias.....	56
3.1.4 Método de numeración de los eventos.....	57
3.2 Reglas básicas para la construcción de una red de CPM-PERT	57
3.3 Cálculo del tiempo de los eventos.....	57
3.3.1 Duración (D)	58
3.3.2 Ocurrencia más temprana o primer inicio (PI).....	58
3.3.3 Ocurrencia más tardía o último inicio (UI)	58
3.3.4 Tiempo cero	58
3.3.5 Holgura total (HT)	59
3.3.6 Holgura libre (HL)	59
3.4 Ruta crítica	59
3.5 Elaboración de diagrama Gantt basado en el diagrama de red CPM-PERT.....	60
3.6 Ajustes de tiempo-costos	66
3.7 Aplicación de Ms Project en la planificación tradicional	67
3.7.1 Funcionamiento del programa	67
3.7.2 Pasos a seguir en la programación	68
3.7.3 Ventajas y desventajas	69
3.7.4 Diagramas generados por Ms Project	70
4. SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR.....	75
4.1 Definición.....	75
4.2 Debería - puedo - se hará - hecho.....	76
4.3 Componentes del sistema del último planificador	78
4.3.1 Programa maestro.....	78
4.3.2 Planificación intermedia.....	78
4.3.2.1 Definición del intervalo de tiempo de la planificación intermedia	79
4.3.2.2 Definición de las actividades de la planificación intermedia	80
4.3.2.3 Análisis de restricciones	80

4.3.2.4 Inventario de trabajo ejecutable (ITE).....	83
4.3.3 Planificación de trabajo semanal.....	84
4.3.3.1 Formación del plan de trabajo semanal	84
4.3.3.2 Control de las unidades de producción	85
4.3.4 Reunión de planificación semanal (RPS).....	88
4.3.4.1 Estructura de la reunión de planificación semanal	88
4.3.4.2 Información necesaria en la RPS	90
4.3.4.3 Resumen ejecutivo de una buena reunión de planificación semanal....	90
5. CASO DE ESTUDIO	95
5.1 Localización del proyecto	95
5.2 Características estructurales de las casas	95
5.3 Selección de las muestras	96
5.4 Planificación tradicional.....	96
5.4.1 Diagrama de red	99
5.4.2 Cálculo de los tiempos de los eventos.....	100
5.4.3 Determinación de la ruta crítica	103
5.4.4 Elaboración del diagrama de Gantt	104
5.4.5 Diagrama de Gantt final	106
5.5 Sistema del último planificador.....	108
5.5.1 Programa maestro.....	108
5.5.2 Planificación intermedia.....	108
5.5.2.1 Definición del intervalo de tiempo de la planificación intermedia.....	108
5.5.2.2 Ciclos de intervalos.....	108
5.6 Análisis comparativo de los resultados de las muestras.....	143
CONCLUSIONES.....	151
RECOMENDACIONES.....	153
BIBLIOGRAFÍA.....	155
ANEXOS	157

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Teorema de Chebyshev.....	14
2. Regla empírica.....	14
3. Cantidad de estribos mal colocados en una muestra de 20 columnas tipo C2.....	16
4. Grosor de las columnas tipo C2.....	16
5. Defectos en columnas tipo C2	17
6. Diagrama de causa y efecto para la mala construcción de columnas tipo C2.....	18
7. Pirámide de necesidades de Maslow.....	46
8. La construcción como un proceso de conversión abierto.	52
9. Representación detallada del modelo de los factores.....	53
10. Flechas.....	56
11. Nodos.....	56
12. Actividades ficticias.....	56
13. Diagrama de red del ejemplo.....	62
14. Diagrama de ruta crítica del ejemplo.....	63
15. Diagrama de red con ruta crítica del ejemplo.....	71
16. Diagrama de Gantt del ejemplo.....	72
17. Diagrama de Gantt de seguimiento del ejemplo.....	73
18. Formación de asignaciones dentro del sistema del último planificador	76
19. Interacción de actividades planificadas. En la mayoría de los proyectos lo que puede y lo se hará son ambos subconjuntos de lo que debería hacerse. Si el plan (se hará) se desarrollara sin saber lo que puede hacerse, el resultado será la intersección de ambos conjuntos.....	77
20. Revisión de actividades antes de la programación intermedia.....	82

21. Sistema de planificación tradicional por empuje de actividades.....	84
22. Medición del desempeño del último planificador.....	87
23. Sistema del último planificador como un todo.....	93
24. Diagrama de red de cada casa.....	99
25. Diagrama de ruta crítica de cada casa.....	103
26. Diagrama de Gantt de la casa 1.....	104
27. Diagrama de Gantt de la casa 2.....	105
28. Diagrama de Gantt final de la casa 1.....	106
29. Diagrama de Gantt final de la casa 2.....	107
30. Comparación de tiempos de ejecución con el sistema tradicional y el sistema del último planificador.....	144
31. Comparación de tiempos de ejecución de cada casa con el sistema tradicional y el sistema del último planificador.....	145
32. Comparación del costo de mano de obra de cada casa con el sistema tradicional y el sistema del último planificador.....	145
33. Planta amueblada.....	157
34. Instalaciones hidrosanitarias.....	158
35. Instalaciones: Drenaje sanitario y pluvial.....	159
36. Instalaciones eléctricas: Iluminación.....	160
37. Instalaciones eléctricas: Fuerza.....	161
38. Estructuras: Cimentación y refuerzo vertical.....	162
39. Estructuras: Detalle de cimentación y refuerzo vertical.....	163
40. Estructuras: Muros.....	164
41. Estructuras: Losas.....	165
42. Estructuras: Detalle de losas.....	166
43. Trabajos preliminares.....	167
44. Trabajos de cimentación.....	167
45. Fundición de cimentación.....	168
46. Obra gris del primer nivel.....	168

47. Obra gris del segundo nivel..	169
48. Obra gris de techos.....	169
49. Fundición del segundo nivel y techos.....	170
50. Resane grueso y fino.....	170

TABLAS

I. Lista de aprobación del producto.....	10
II. Tabla de clasificaciones.....	34
III. Normativa de tolerancia de relajación.....	37
IV. Cálculo de tiempo básico.....	38
V. Cálculo de tiempo estándar.....	38
VI. Planes de incentivos económicos.....	49
VII. Duración de actividades del ejemplo.....	61
VIII. Cálculo de holguras de las actividades del ejemplo.....	62
IX. Diagrama de Gantt de las actividades del ejemplo.....	64
X. Ejemplo de un estado de asignaciones (inventario de trabajo realizable). Selección de asignaciones: Estado de restricciones. Unidad de producción.....	83
XI. Ejemplo de control de las unidades de producción.....	87
XII. Lista de actividades de cada casa.....	96
XIII. Cálculo de los tiempos de los eventos.....	100
XIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 1.....	109
XV. Análisis de restricciones del intervalo 1.....	110
XVI. Planificación del trabajo semanal de la semana 1.....	111
XVII. Control de las unidades de producción de la semana 1.....	112
XVIII. Planificación del trabajo semanal de la semana 2.....	113
XIX. Control de las unidades de producción de la semana 2.....	114
XX. Planificación del trabajo semanal de la semana 3.....	115

XXI. Control de las unidades de producción de la semana 3.....	116
XXII. Planificación del trabajo semanal de la semana 4.....	118
XXIII. Control de las unidades de producción de la semana 4.....	119
XXIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 2....	120
XXV. Análisis de restricciones del intervalo 2.....	120
XXVI. Planificación del trabajo semanal de la semana 5.....	121
XXVII. Control de las unidades de producción de la semana 5.....	122
XXVIII. Planificación del trabajo semanal de la semana 6.....	123
XXIX. Control de las unidades de producción de la semana 6.....	124
XXX. Planificación del trabajo semanal de la semana 7.....	125
XXXI. Control de las unidades de producción de la semana 7.....	126
XXXII. Planificación del trabajo semanal de la semana 8.....	127
XXXIII. Control de las unidades de producción de la semana 8.....	128
XXXIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 3..	128
XXXV. Análisis de restricciones del intervalo 3.....	129
XXXVI. Planificación del trabajo semanal de la semana 9.....	129
XXXVII. Control de las unidades de producción de la semana 9.....	130
XXXVIII. Planificación del trabajo semanal de la semana 10.....	131
XXXIX. Control de las unidades de producción de la semana 10.....	131
XL. Planificación del trabajo semanal de la semana 11.....	132
XLI. Control de las unidades de producción de la semana 11.....	132
XLII. Planificación del trabajo semanal de la semana 12.....	133
XLIII. Control de las unidades de producción de la semana 12.....	134
XLIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 4....	134
XLV. Análisis de restricciones del intervalo 4.....	135
XLVI. Planificación del trabajo semanal de la semana 13.....	136
XLVII. Control de las unidades de producción de la semana 13.....	137
XLVIII. Planificación del trabajo semanal de la semana 14.....	138
XLIX. Control de las unidades de producción de la semana 14.....	139

L. Planificación del trabajo semanal de la semana 15.....	140
LI. Control de las unidades de producción de la semana 15.....	141
LII. Planificación del trabajo semanal de la semana 16.....	142
LIII. Control de las unidades de producción de la semana 16.....	142
LIV. Comparación del tiempo de ejecución, media, moda y desviación estándar con el sistema tradicional y el sistema del último planificador.....	146
LV. Comparación del costo de la mano de obra, media moda y desviación estándar con el sistema tradicional y el sistema del último planificador.....	148

GLOSARIO

Actividad	Es una parte esencial y definida de una tarea u operación determinada por uno o más movimientos fundamentales del operador.
Análisis de restricciones	Es examinar las razones que impiden que se realice una actividad de la forma programada, consta de 2 partes, revisión y preparación de las restricciones.
Calidad	Consiste en cumplir con los requerimientos o especificaciones del cliente, a través de la comparación de estándares para lograr la satisfacción plena de éste.
Calidad total	Consiste en comprender las necesidades y expectativas del cliente para luego satisfacerlas y superarlas, haciendo las mejoras debidas antes de cometer los errores.
Ciclo	Serie de fases por las que pasa un fenómeno periódico hasta que se reproduce una fase anterior.
Construcción sin pérdida	Es una filosofía cuyos métodos aplicados en la construcción buscan la optimización de recursos, costos y tiempos teniendo como base conceptual la teoría de la producción esbelta.

Control estadístico de procesos	Se conoce así a la medición de procesos realizados en una empresa. Aunque parece muy técnico, es necesario: obtener datos de los procesos principales, analizar las cifras, tomar decisiones basadas en la información obtenida.
CPM-PERT	Método de planificación que consiste en la representación del plan de un proyecto a través de un diagrama esquemático o red que bosqueja tanto la secuencia y la interrelación de todos los componentes del proyecto, como el análisis lógico y la manipulación de dicha red para determinar el mejor programa general de operación.
Diagrama de causa y efecto	En este diagrama el personal de la empresa que conforma el círculo de calidad establece las causas que pueden provocar determinado problema.
Estudio de métodos	Es el registro de los procedimientos de trabajo y examen crítico sistemático de los modos de realizar actividades con el fin de efectuar mejoras.
Estudio de tiempos	Es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea según una norma de rendimiento preestablecida.
Estudio de trabajo	Se le conoce así a ciertas técnicas que se utilizan para examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan constantemente a investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía de la situación estudiada con el fin de efectuar mejoras. Este se compone de dos aspectos, el estudio de métodos y el estudio de tiempos.

Gráficas de control	Ésta es la herramienta más común del control estadístico del proceso. Se obtiene tomando mediciones al azar de una pequeña parte de la producción. Esta clase de gráfica muestra tendencias y ayuda al personal a aplicar acciones correctivas antes que el producto salga de las especificaciones del cliente y se considere como desperdicio.
Holgura libre	Es el tiempo libre o extra del que dispone una actividad no crítica en que puede atrasarse o extenderse sin afectar el inicio de la actividad que le sigue.
Holgura total	Es el tiempo libre que tienen una actividad no crítica dentro del que puede atrasarse o alargarse sin afectar la duración del proyecto pero afecta la iniciación más temprana de las actividades no críticas que le siguen.
Incentivo no económico	Es un reconocimiento de la importancia del individuo y la necesidad de participación en grupo para lograr una satisfacción social.
Incentivo semieconómico	Este tipo de incentivos no se basa en el pago de dinero en efectivo, sino que se concentran en ventajas supletorias, como pueden ser vacaciones pagadas, comedores, bonos de restaurante, instalaciones deportivas, planes de pensiones, vehículo de la empresa, facturas telefónicas a cargo de la empresa, cuentas de gastos, entre otros.
Inventario de trabajo ejecutable	Es un listado con las tareas que salen de la planificación intermedia, que son aquellas actividades a las cuales se les ha dejado libre de sus restricciones y están listas para ser ejecutadas.

Lluvia de ideas En una sesión de lluvia de ideas, se alienta a que todos los participantes a expresar sus ideas; todas las ideas se escriben en hojas sin permitir que alguien critique alguna idea, pues ello desmotivaría a los participantes a expresarse libremente.

Modelos de los factores Conceptualmente se basa en un enfoque dado a la construcción como un sistema abierto (el sistema abierto como organismo, es influenciado por el medio ambiente e influye sobre él, alcanzando un equilibrio dinámico en ese sentido). La aplicación práctica de este modelo, consiste básicamente en medir las cantidades de obra realizadas en un día, observando el trabajo efectuado por una cuadrilla previamente elegida, misma que constituye la unidad básica de observación, registrando en listados especiales los factores que pudieron haber afectado el rendimiento de los trabajadores, incluyendo el tiempo que los trabajadores emplean en actividades que no forman parte del trabajo directo.

Planificación de trabajo semanal Esta planificación semanal le concierne al último planificador y éste al hacer su proceso de planificación, trata de tener todo listo, para que se haga lo que puede ser hecho.

Planificación intermedia Es el segundo nivel de jerarquía del sistema del último planificador y elabora las actividades que debería hacerse en un futuro cercano. Su objetivo es controlar el flujo de trabajo siendo este la coordinación de diseño (planos), proveedores (materiales y equipos), recurso humano, información y requisitos previos que son necesarios para que la unidad de producción cumpla su trabajo asignado.

Planificación tradicional	Se entiende así como la forma de planificar comúnmente las obras de construcción, siendo el método más utilizado en Guatemala para llevar dicha tarea el CPM-PERT.
Porcentaje de actividades completadas	No es más que el número de actividades planificadas completadas dividido por el número total de actividades planificadas, expresado como porcentaje y sirve para tener control de las unidades de producción.
Primer inicio	Es el tiempo más temprano en que puede iniciar una actividad, éste se calcula sumando la duración de la actividad al tiempo de ocurrencias más temprano anterior.
Productividad	Es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Estos recursos productivos, incluyen el factor trabajo, capital y otros insumos como la tierra, energía, materias primas e incluso la información.
Programa maestro	Este programa se realiza en todo proyecto y contiene la planificación del proyecto así como el presupuesto del mismo.
Ruta crítica	Las actividades que forman la ruta crítica son aquellas que no tienen holgura, es decir, si existiese algún atraso en cualquiera de esas actividades, el proyecto en cuestión se atrasaría en igual medida, debido a que no se tendría más tiempo para ejecutar dicha actividad. Con la suma de las duraciones de estas actividades, se obtiene la duración total del proyecto.

Sistema del último planificador	Es una herramienta para controlar las interdependencias entre los procesos y reducir la variabilidad entre éstos y por ende, asegurar el mayor cumplimiento posible de las actividades de la planificación dentro de la filosofía de construcción sin pérdidas.
Tiempo cero	Es el final del día anterior al inicio del proyecto y punto de partida para el cálculo de todas las actividades en la red.
Trabajo contributivo	Es el tiempo que emplea el trabajador realizando labores de apoyo necesarias para que se ejecuten las actividades productivas, como limpieza de superficies y encofrados, mediciones previas y de inspección, transportes de materiales, armado de plataformas y andamios para trabajo en altura y seguridad industrial, etc.
Trabajo no contributivo	Se define como cualquier otra actividad realizada por los obreros y que no se clasifica en las anteriores categoría, por lo tanto se consideran pérdidas. Ejemplos de esta categoría son los tiempos dedicados a esperas, tiempo ocioso, reprocesos, descansos, etc.
Trabajo productivo	Este es definido como el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción. Ejemplo de trabajo productivo es la colocación de la armadura de refuerzo y el vaciado de concreto en algún elemento estructural, la pega de ladrillos en muros, etc.
Último inicio	Es el tiempo más tardío en que puede suceder un evento o actividad, éste se calcula restando la duración de la actividad al tiempo de ocurrencia más tardía posterior.

Unidades de producción Éstas son conocidas comúnmente como cuadrillas de trabajo, y son grupos de trabajadores dedicados a cierto tipo de trabajo.

RESUMEN

En los primeros dos capítulos se exponen los temas para entender la razón del sistema del último planificador, haciendo énfasis en el cambio de paradigmas que se debe hacer para mejorar los procesos administrativos y constructivos, y por consiguiente, obtener mejores resultados. Se dan ejemplos de aplicación de dichos temas para que sea fácil entender el tema en conjunto.

Para realizar la parte práctica, se realizaron visitas a un condominio en donde se construyen casas en serie, mediante el método industrializado de formaletas de aluminio y fundición de concreto.

En las visitas se hizo dos muestras de dos casas cada una, una se desarrolló con el sistema tradicional de planificación y la otra con el sistema del último planificador, para así tomar tiempos, notas y dar seguimiento a las mismas, con el fin de evaluar la productividad de cada uno de los sistemas.

El sistema tradicional, se lleva a cabo mediante la elaboración del diagrama de Gantt. El sistema del último planificador, se llevó a cabo a partir del diagrama de Gantt, para luego hacer planificaciones intermedias, que en este caso serán de cuatro semanas cada una y dentro de estas se hacen planificaciones de trabajo semanal, evaluando así el desempeño de las unidades de producción (cuadrillas de trabajo), dándole seguimiento al proyecto mediante reuniones semanales donde se evalúan restricciones y desempeños.

OBJETIVOS

GENERAL:

Aplicar la base teórica y práctica, en relación a solución de problemas administrativos, de supervisión y ejecución de obras industrializadas, por medio del sistema del último planificador.

ESPECÍFICOS:

1. Dar a conocer la importancia y el impacto que tiene la productividad, dentro de los procesos constructivos.
2. Dar a conocer la importancia y el impacto que tiene la calidad en la construcción como medio para lograr la productividad, en los procesos constructivos.
3. Introducir al lector a la filosofía de la construcción sin pérdidas.
4. Exponer e implementar el sistema del último planificador como medio para lograr los objetivos de productividad y calidad total en la construcción en Guatemala.

INTRODUCCIÓN

El tiempo en que vivimos, está sujeto a cambios rápidos por el avance de la tecnología y, por ende, éstas corrientes demandan nuevas técnicas y nuevos materiales de construcción y sus propiedades. El auge de la industria de la construcción en los últimos años en Guatemala, hace que el ingeniero civil se enfrente a desafíos para los procesos constructivos, ya sea en tiempo de construcción, entrega de la obra, mantener la calidad de la misma y optimizar el proceso y los recursos con que cuenta. Todo se lleva a cabo mediante actividades como la administración, supervisión, ejecución y control de proyectos.

Para la ejecución de dichas actividades, dado los desafíos que enfrenta el ingeniero civil, se propone la implementación del sistema del último planificador para la construcción de casas en serie.

El sistema del último planificador es una herramienta para controlar las interdependencias entre los procesos, reducir la variabilidad entre éstos y asegurar el mayor cumplimiento posible de las actividades de la planificación dentro de la filosofía de la construcción sin pérdidas.

Es por esto que con el afán de contribuir a dar soluciones y fomentar los principios y valores que persigue el código de ética del sector construcción, entre ellos la responsabilidad, consistencia y rentabilidad de las empresas constructoras por medio de la administración, supervisión, ejecución y control de proyectos, se hace dicha implementación; como un primer intento para implementar normas, guías o manuales de procedimientos para la construcción.

En ese orden de ideas, el trabajo de graduación se estructuró en cinco capítulos. El capítulo uno se inicia con la calidad de la construcción; en capítulo dos se hace mención de la productividad en la construcción; en capítulo tres, se hace mención de la planificación tradicional; en capítulo cuatro se hace una definición y los componentes del sistema del último planificador y en capítulo cinco, se refiere al caso específico de estudio, su localización, características estructurales de las casas en estudio, entre otros.

Por último, se hace mención de las conclusiones y recomendaciones a que se llega, producto del trabajo realizado; estas últimas para que los interesados las pongan en práctica y romper los paradigmas que ocasionan barreras en la construcción.

También se hace mención de la bibliografía consultada que sirva de parámetro para quienes deseen profundizar en el tema generando valor agregado al mismo.

1. CALIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

El proceso de globalización de la economía, hace que la competencia entre países y empresas sea intensa; dando como resultado consumidores educados, exigentes y con más opciones para satisfacer sus necesidades, contribuyen a la presión que reciben las empresas por parte de los mercados, para mejorar su competitividad. Por ello, es necesario que las empresas, incluyendo la industria de la construcción, inviertan tiempo y capital en el mejoramiento de la calidad de sus productos.

Las empresas guatemaltecas no podrán competir en los mercados internacionales si no mejoran en áreas como: calidad, productividad y distribución. Además, el acceso de los productos y servicios guatemaltecos a los mercados mundiales sólo estará disponible para aquellas empresas que obtengan certificado internacional de calidad.

1.1 Definición de calidad total

Para comprender que significa calidad total, es necesario definir el concepto de calidad, el cual consiste en cumplir con los requerimientos o especificaciones del cliente, a través de la comparación de estándares para lograr la satisfacción plena de éste.

El concepto de calidad total, se origina a partir del concepto ampliado de control de calidad que no es más que las técnicas y actividades para asegurar que se cumpla con las especificaciones del cliente. La calidad es total porque comprende e involucra todos y cada uno de los aspectos y personas de la organización.

La calidad tradicional trata de arreglar la calidad después de cometer errores, pero la calidad total se centra en conseguir que las cosas se hagan bien a la primera, evitando cometer errores desde el principio para mejorar los procesos.

La calidad total significa, reunir los requisitos convenidos con el cliente y superarlos (se debe partir por ser exactos con los requisitos o especificaciones); con esta concepción, se supera la imprecisión del pasado, no sólo tiende a ser exacta sino además medible.

Para lograr la calidad total se debe cambiar la forma de concebir y gestionar una organización, así como mantener el mejoramiento continuo entre las políticas de la misma y sobre todo, comprender las necesidades y expectativas del cliente para satisfacerlas y luego superarlas.

1.2 Proceso de la calidad total

El control de calidad moderno comenzó en las primeras décadas del siglo XX con la aplicación del cuadro de control. En la Segunda Guerra Mundial se inicio la aplicación de la calidad total, ya que fue necesario producir artículos militares de bajo costo a gran escala, así como el control de calidad estadístico, que estimuló los avances tecnológicos.

En el campo de la administración durante la posguerra, Japón utilizó el método de Taylor, el cual exigía a los obreros especificaciones técnicas estrictas enfocándose hacia la producción y costo pero, no en la calidad. Seguía siendo la época de los productos “baratos y malos”. El Dr. Deming, enseñó a la industria japonesa, a utilizar la estadística como lenguaje común para mejorar los procesos productivos y así lograr el involucramiento de los trabajadores en todos los niveles. La calidad ha ido evolucionando por etapas a lo largo de cinco eras, y estas son:

1. La de Inspección (1800) donde la calidad se ve como un problema a resolver, tiene un énfasis de uniformidad del producto; se utilizan como métodos, los estándares y mediciones. El papel de los profesionales de la calidad es inspeccionar, contar y clasificar; la orientación y enfoque es inspeccionar la calidad del producto terminado.
2. El control estadístico de la calidad (1930) donde la calidad se ve como un problema a resolver, tiene un énfasis de uniformidad del producto con reducción de la inspección; se utilizan como métodos las herramientas y metodologías estadísticas. El papel de los profesionales de la calidad, es encontrar problemas y aplicación de métodos estadísticos; la orientación y enfoque es controlar la calidad.
3. El aseguramiento de la calidad (1950), la calidad se ve como un problema a resolver, que es atacado en forma preventiva, tiene un énfasis en las etapas, desde el diseño hasta ventas, y la contribución de los grupos funcionales, especialmente diseñadores para prevenir fallas; se utilizan como métodos los programas y sistemas. El papel de los profesionales es la medición y planeación de la calidad, y diseño de programas; la orientación y enfoque es construir la calidad.
4. La administración de la calidad total (1980) donde la calidad se ve como una ventaja competitiva, tiene un énfasis en las necesidades del cliente y el mercado; se utilizan como métodos la planeación estratégica, establecimiento de metas y movilización de la organización para lograr mejora continua. Un amplio menú de herramientas. El papel de los profesionales de la calidad es el establecimiento de metas, educación y entrenamiento, asesoría a otros departamentos y diseño de programas; la orientación y enfoque es dirigir la calidad.

5. La reestructuración de la organización y mejora de procesos (1995), la calidad se ve como la ventaja competitiva y la condición para permanecer en el negocio, tiene un énfasis en el enfoque al cliente y al mercado, reducción de defectos y reducción del tiempo de ciclo; se utilizan métodos de planeación estratégica, la mejora continua como parte de las responsabilidades de todo directivo y un amplio menú de herramientas y estrategias. El papel de los profesionales de la calidad es la detección de oportunidades de mejora, entrenamiento y educación, facilitador de la mejora y diseño de programas; la orientación y enfoque son la orientación directa y total al cliente, al mercado y a mejorar el desempeño de los procesos.

1.3 Impacto de la calidad en empresas de construcción

Las exigencias de los clientes, han dado como resultado empresas de la construcción más competitivas, para lograrlo han reforzado sus actividades diversificando sus funciones en:

- ✓ Crear una cultura y ética de trabajo, en la cual cada empleado asume su responsabilidad para lograr el mejoramiento de la calidad.
- ✓ Dedicar todo su esfuerzo para satisfacer los requerimientos del cliente.
- ✓ Desarrollar un ambiente de trabajo disciplinado, orientado al trabajo en equipo, motivando a cada persona a rendir su máximo esfuerzo.
- ✓ Medir las causas de incumplimiento.
- ✓ Mejorar los canales de comunicación interdepartamentales.
- ✓ Capacitar a su personal con respecto a la cultura de calidad.

La creación de una cultura ética de trabajo, es fundamental para que cada empleado realice sus tareas con calidad y satisfacer los requerimientos de los clientes externos e internos. Los clientes externos son a quienes se les presta el servicio o producto y los clientes internos son los empleados; es importante también tener un

ambiente laboral disciplinado, orientado al trabajo en equipo y en donde cada persona expanda su creatividad y encuentre su desarrollo, es un proceso que busca la satisfacción del personal que se encuentre involucrado, tanto fuera como dentro de la empresa. La trilogía cliente-empleado-proveedor, revisten la misma importancia para la organización o empresa ya que un ambiente sano interpersonal, repercute en fortalezas para ésta.

1.4 Estrategias para lograr la calidad

Algunas estrategias que podrían implementar las empresas de construcción que se preocupan por realizar sus actividades y productos de calidad, serían:

- ✓ Visitar a proveedores, contratistas y subcontratistas, para comprobar sus aptitudes en la ejecución de obras.
- ✓ Calibrar sus equipos, de topografía, manómetros de prensa de rotura de probetas, entre otros utilizados en las obras.
- ✓ Calificar y seleccionar el personal que participará en la ejecución de las obras.
- ✓ Implementar cursos o charlas para mejorar los resultados del recurso humano involucrado en las obras.
- ✓ Tener estándares de comparación, para ubicar la empresa dentro del mercado.
- ✓ Utilizar materiales de calidad en la construcción.
- ✓ Superar las expectativas y exigencias del cliente, para mantener e incrementar los estándares de producción.

Para lograr cumplir los objetivos que persiguen las empresas de la industria de la construcción se debe desarrollar una cultura de calidad, basada principalmente en el trabajo en equipo, en la capacitación de los directivos para que se comprometan con esta cultura y en el desarrollo de hábitos, costumbres y actitudes congruentes con los principios de calidad total en sus individuos y organizaciones de las cuales se apoyan.

Es necesario que las empresas, en el área de la construcción identifiquen parámetros, procesos y estrategias que satisfagan las necesidades y expectativas del cliente. Para lograrlo, es necesario, crear planes, programas y actividades para el mejoramiento continuo en el servicio.

El trabajo en equipo, como elemento necesario para lograr la calidad, empleando dinámicas de cooperación y coordinación, creando la participación, involucramiento y comportamiento cooperativo; son herramientas básicas, fundamentales y necesarias para consolidar y hacer fuerte una empresa.

1.5 Ventajas de la calidad en empresas de construcción

Cuando las empresas de la industria de la construcción, aseguran la aplicación de la filosofía de la calidad en sus procesos, éstas logran ser competitivas, puesto que sus ineficiencias no son cargadas a sus precios, y que por el contrario, pueden mejorar sus precios sin afectar sus utilidades.

La implementación del sistema de calidad total en las operaciones y servicios, hace que las empresas logren incrementar la productividad y la reducción de costos, lo cual las lleva al afianzamiento de la imagen, ya que los clientes tienen mayor confianza, dado a que se sobrepasan sus expectativas. Esto conlleva a una mejora en el posicionamiento en el mercado.

Cuando se construye con calidad se tiene la certeza de una obra civil más resistente. Y si se controla la calidad, se tiene la información precisa que hace que el tiempo de respuesta a problemas y el costo de las obras disminuya.

No necesariamente es competitiva la empresa que mejor precio ofrece al mercado, sino aquella que ofrece mejor calidad, innovación, tecnológica y satisfacción plena.

1.6 Métodos para evaluar y controlar la calidad

Es importante hacer mediciones, ya que si una empresa no mide su desempeño le será difícil fijarse objetivos, y sin éstos no hay forma de medir el crecimiento, progreso y desarrollo de la organización o empresa. Es importante que la empresa tenga su propia guía o manual de procedimientos en áreas propias a la construcción como al desenvolvimiento administrativo, deberes y derechos de los trabajadores así como las medidas disciplinarias que el caso amerite, para lograr los objetivos y metas de la empresa de conformidad a su misión y visión.

Las empresas que se preocupan de obtener una calidad total, registran mediciones de lo que está sucediendo en el negocio. Estas ayudan a las compañías a predecir los cambios en el nivel de ingresos. Entre las mediciones, se tienen:

1. **Productividad:** Es una medición fácil, pues toda empresa sabe cuánto produce. La tarea consiste entonces en fijar metas de mejoras. En el siguiente capítulo se ampliará este tema.
2. **Desempeño financiero:** Las empresas generan registros financieros detallados, pero estas cifras no siempre son informativas; por esta razón, se utilizan razones financieras que permiten determinar el progreso corporativo. Aunque, como se dijo anteriormente, los datos financieros reflejen los éxitos o fracasos de las empresas, no explican el por qué de éstos.
3. **Calidad de la producción:** Se centra en medir el servicio al cliente haciendo los análisis estadísticos correspondientes para respaldar dichos resultados.
4. **Satisfacción del cliente:** La organización debe verificar su respuesta a las

demandas de los clientes (tiempos de entrega, confiabilidad, entre otros por medio de estadísticas). También puede referirse a medir la lealtad de los clientes y el número de quejas, mejor si se evalúa estadísticamente para tener un parámetro de comparación más fiable.

5. Actitudes del personal: Si los obreros y empleados están desmotivados, la calidad de la obra o producto declinará y lo mismo sucederá con la productividad.
6. Higiene, seguridad y medio ambiente: Una empresa constructora medirá el número de accidentes anuales por medio de estadísticas.

Las mediciones ayudan a la empresa a evaluar las mejoras y determinar los ahorros logrados.

Resulta importante contar con registros antes de iniciar proyectos de mejoras; de otra manera, no sería posible apreciar el efecto real de un programa de calidad total. Una vez que se comienzan a obtener mejoras, es difícil conocer cuál era la situación antes de iniciar el programa, lo cual nos indica que la empresa se está desarrollando, bajo estándares de calidad satisfactorios.

1.6.1 Técnicas de comparación

Las técnicas de comparación sirven para preguntar: “¿Qué tan bueno es el desempeño de la empresa con respecto a los competidores en los aspectos importantes para los clientes?” Entre dichos aspectos están el buen diseño, una alta calidad de respuesta o el apoyo técnico.

Este procedimiento se lleva a cabo investigando los factores importantes o los que no son competitivos, para después analizarlos cómo se comparan en relación a los

competidores y si es necesario se aplican mejoras. De esta manera, la comparación asegura que la empresa está a un nivel igual o superior al de sus mejores competidores en el mercado. Pero no siempre es fácil obtener información sobre los competidores. Algo de información puede obtenerse de los reportes anuales o de publicaciones especializadas. Las entrevistas con clientes también generan datos informativos. Algunas asociaciones industriales publican datos globales de su sector.

Ciertas empresas efectúan su comparación con respecto a sus propios datos históricos, pero el mejor método consiste en hacer la comparación contra las mejores empresas del mundo. Este método es utilizado por algunas empresas temerosas de estar cediendo terreno. Los verdaderos líderes del mercado no suelen mirar por encima del hombro, están demasiado ocupados en su siguiente etapa estratégica. Por tanto, no es conveniente considerar la comparación como la principal herramienta empresarial. Sin embargo, si no se compara el desempeño con las demás empresas, será difícil saber qué tan buena es la empresa.

1.6.2 Costo de la mala calidad

La mala calidad tiene un costo, cada vez que un obrero hace mal alguna pieza en la obra, la empresa necesita gastar tiempo y dinero en corregir la situación. La pieza dañada puede estarlo a tal grado que constituya un desperdicio, se ha perdido el costo de los materiales y de la mano de obra utilizados. Sin embargo, pocas empresas conocen su verdadero “costo de la mala calidad”.

El tiempo aplicado a la prevención de defectos es un tiempo útil, pues evita la ocurrencia de errores. El tiempo utilizado en la evaluación de los defectos es un desperdicio, pues los errores ya ocurrieron.

1.6.3 Soluciones con lluvia de ideas

Toda organización necesita pensamiento creativo y nuevas ideas. Una de las mejores técnicas con relación a esto es la de lluvia de ideas.

En una sesión de lluvia de ideas, se alienta a que todos los participantes expresen sus ideas; todas las ideas se escriben en hojas sin permitir que alguien critique alguna idea, pues ello desmotivaría a los participantes a expresarse libremente. Conviene fijar una meta de un número de ideas definido para luego, al haber alcanzado el número acordado, éstas puedan analizarse para implementar las mejores para el perfeccionamiento del proceso.

1.6.4 Listas de aprobación

Otra herramienta dentro del concepto de calidad que se debe emplear, es una lista de aprobación, utilizada por el residente de obra o el encargado de control de calidad para minimizar defectos de construcción durante la ejecución del proyecto, la cual se aprecia en la tabla I:

Tabla I. Lista de aprobación del producto

No.	Aspecto revisado	Calificación	Observaciones
1	Dimensiones de acuerdo a los planos		
2	Verticalidad de muros		
3	Aparición de grietas o defectos en acabados		
4	Desperdicio de materiales		
5	Ejecución de pruebas de resistencia		
6	Utilización de dosificaciones especificadas		
7	Utilización de herramienta adecuada		

8	Observancia de medidas de seguridad y protección		
9	Cumplimiento de normatividad ambiental		
10	Verificación de licencias y permisos		

Fuente: Elaboración propia

La columna de calificación se utiliza anotando simplemente “cumple” o “no cumple” y se deja un campo de observaciones para cualquier otro apunte que el residente considere como relevante.

1.6.5 Control estadístico de procesos (CEP)

A la medición de los procesos realizados en una empresa se le llama control estadístico de procesos (CEP). Y su estructura básica de función es:

- ✓ Obtener datos de los procesos principales.
- ✓ Analizar las cifras.
- ✓ Tomar decisiones basadas en la información obtenida.

Con el CEP se puede comprobar cuántas características no se acoplan a las especificaciones, determinar dónde radica el problema y resolverlo. Éste es noventa por ciento solución de problemas y diez por ciento estadística.

También sirve para detectar el origen de problemas, es decir, si la proporción de rechazos está creciendo, el hecho es indicativo de que un equipo requiere mantenimiento o reemplazo. Hay muchas maneras de medir un proceso y resolver los problemas. Algunas de las técnicas más utilizadas son:

- ✓ Gráficas de control.

- ✓ Gráfica de barras o histograma.
- ✓ Diagrama de Pareto.
- ✓ Diagrama causa-efecto.

Los estadísticos más utilizados en las técnicas para medir un proceso en el CEP son la media, frecuencia relativa, moda, desviación estándar, Teorema de Chebyshev.

Media

Ésta es la medida de tendencia central más usual y se conoce también con el nombre de promedio y se define por

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

es decir, la media \bar{x} es igual a la suma de todos los datos dividida entre el número de datos (n).

Moda

Es otra medida de tendencia central de un conjunto de datos, que es igual al dato que se repite con más frecuencia.

Desviación estándar

Cuando se tiene un conjunto de datos y se desea saber lo disperso que están entre sí o qué tan esparcidos están respecto a su tendencia central, entonces se utilizan las medidas de variabilidad. La medida más usual de este tipo es la desviación estándar muestral, que está definida por

$$S = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

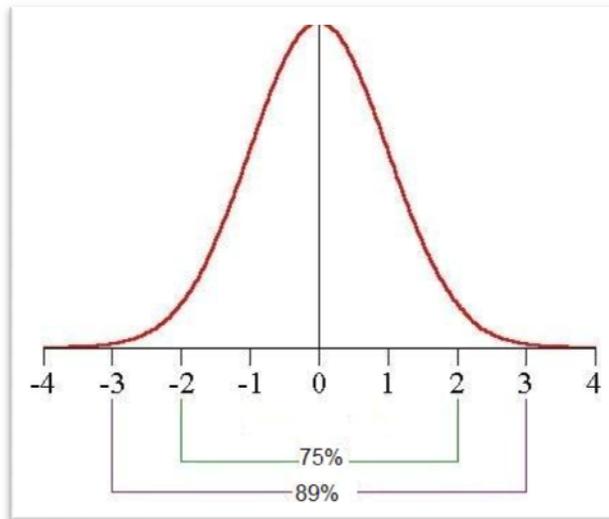
donde x_1, x_2, \dots, x_n , son las observaciones numéricas de la muestra y \bar{x} es la media muestral. Como se puede apreciar, S mide la dispersión de los datos en torno a la media, y entre más grande sea el valor de S mayor variabilidad habrá en los datos y, por ende, mala calidad. La desviación estándar está expresada en las mismas unidades de medición que los datos muestrales. La desviación estándar no refleja la magnitud de los datos, sólo refleja lo retirado que están los datos de la media.

Teorema de Chebyshev y la Regla Empírica

Una forma de apreciar más claramente el significado de la desviación estándar como medida de dispersión en torno a la media, es a través de la relación entre la media y la desviación estándar, la cual está dada por la desigualdad de Chebyshev y la regla empírica.

Dos hechos particulares que afirma la desigualdad de Chebyshev es que entre $\bar{X} - 2S$ y $\bar{X} + 2S$ está al menos 75% de los datos de la muestra; y que entre $\bar{X} \pm 3S$ está por lo menos el 89%, visto gráficamente en la figura 1.

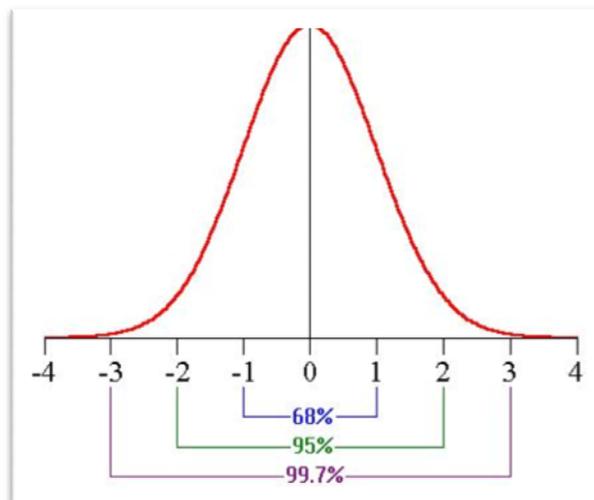
Figura 1. Teorema de Chebyshev



Fuente: Adaptado de Gutierrez, 2005

En cuanto a la regla empírica, se tiene que en muchos de los datos que surgen en la práctica se ha observado empíricamente que entre ± 1 está el 68% de los datos de la muestra, entre ± 2 está el 95% y entre ± 3 el 99.7%, visto gráficamente en la figura 2.

Figura 2. Regla empírica



Fuente: Adaptado de Gutierrez, 2005

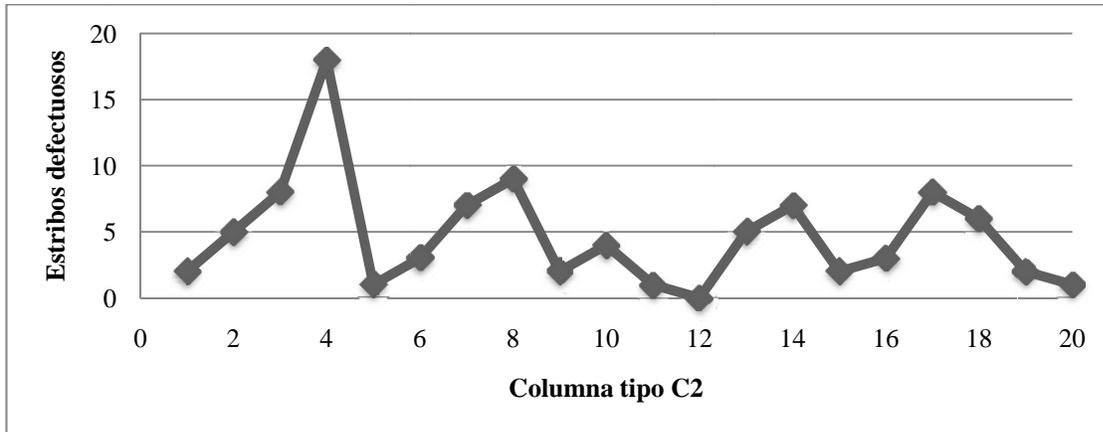
Todos los intervalos anteriores son válidos sólo para los datos muestrales y no necesariamente para toda la población. Sin embargo, si los intervalos se calculan con la media y desviación estándar de la población, entonces serán válidos para toda la población, por lo que, en la medida en que los cálculos de la media y la desviación estándar muestral se hagan a partir de muestras aleatorias grandes, entonces los intervalos anteriores podrán dar una idea aproximada de lo que pasa en toda la población, sea ésta un lote o un proceso.

1.6.5.1 Gráficas de control

La gráfica de control es la herramienta más común del CEP. Se obtiene tomando mediciones al azar de una pequeña parte de la producción. Esta clase de gráfica muestra tendencias y ayuda al personal a aplicar acciones correctivas antes que el producto salga de las especificaciones del cliente y se considere como desperdicio. Estos gráficos constituyen un medio eficaz para controlar la variabilidad y en consecuencia, la calidad de un proceso. En base a la aplicación de tablas y/o una fórmula estadística, se determinan los límites máximos y mínimos, dentro de los cuales se debe mantener la operación del proceso que se trate.

Para efecto de ejemplificar ésta y las siguientes técnicas utilizadas para el CEP, usaremos una columna llamada columna tipo C2 que es de concreto reforzado, tiene dimensiones de 0.20 x 0.20 m., refuerzo longitudinal de 4#3 y refuerzo transversal de estribos #2 @ 0.10 m. en los extremos y @ 0.15 m. al centro.

Figura 3. Cantidad de estribos mal colocados en una muestra de 20 columnas tipo C2

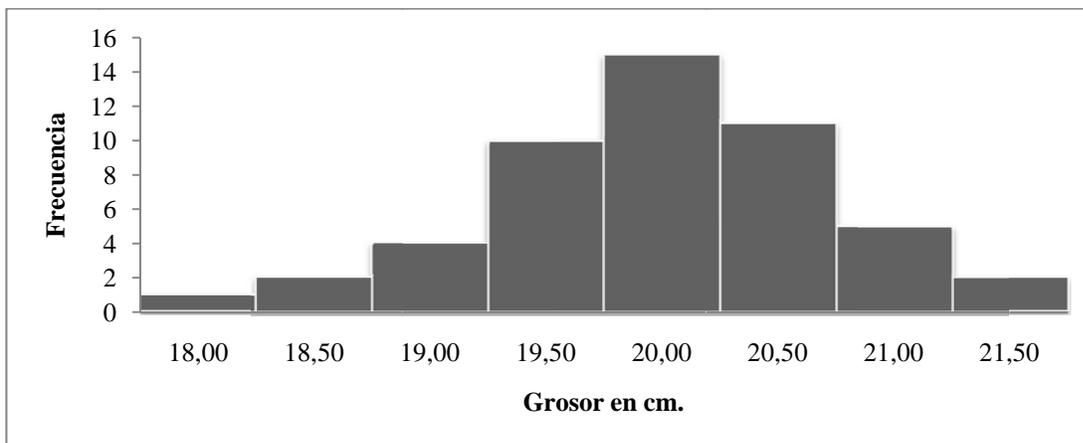


Fuente: Elaboración propia

1.6.5.2 Histogramas

Con esta gráfica se puede encontrar que las fallas se presentan en ciertas cuadrillas de trabajo, a ciertas horas del día o en algunos subprocesos, esto ayuda a detectar y prevenir los problemas, es decir, se utiliza para medir la frecuencia con que ocurre determinado suceso. Su uso permite obtener valiosos resultados para controlar estadísticamente la calidad de los bienes y/o servicios generados por la empresa.

Figura 4. Grosor de las columnas tipo C2



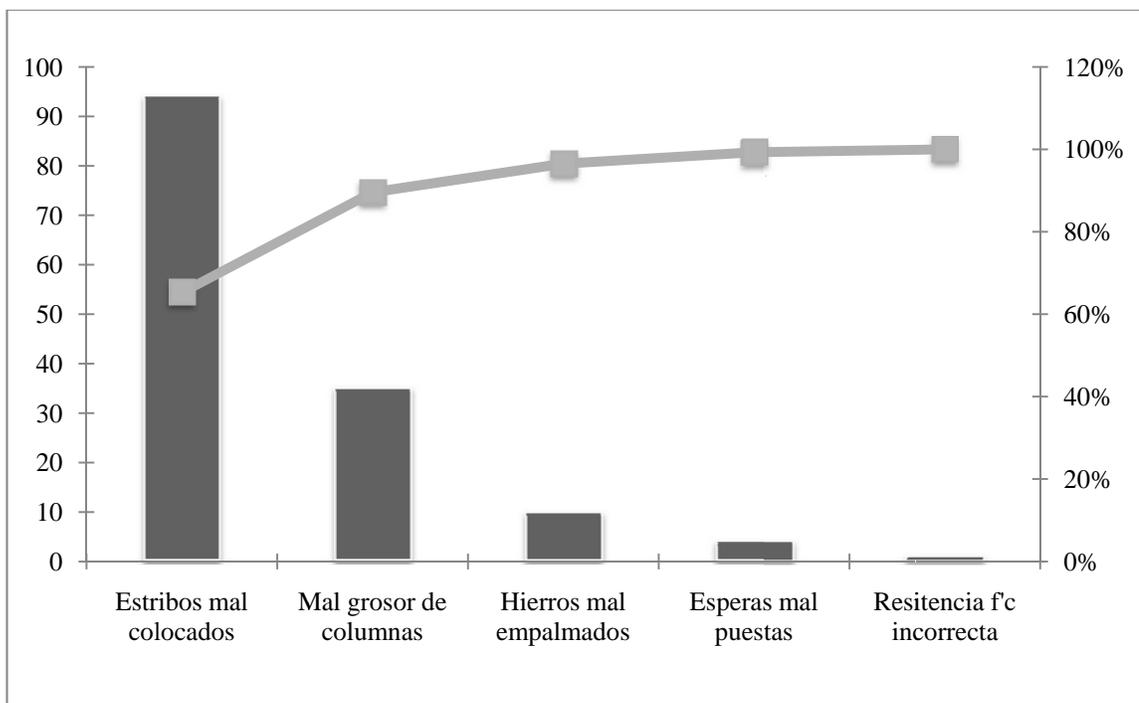
Fuente: Elaboración propia

1.6.5.3 Diagrama de Pareto

Este diagrama se utiliza para mostrar gráficamente la importancia que tiene cada uno de los asuntos o problemas sujetos a estudio. El uso de este diagrama permite distinguir las características más importantes de un suceso y las menos importantes. A este diagrama se le conoce así, en virtud a su inventor Wilfredo Pareto y también se le denomina como regla del “20-80, 80-20”, dado que se considera que el 80% de los problemas sujetos a estudio tienen su origen en sólo un 20% de las causas potenciales.

Este diagrama constituye una herramienta muy eficaz para la administración de la calidad, ya que permite orientar la planeación, control y mejora de la misma, sobre los aspectos que por su relevancia pueden influir sobre la calidad de los bienes y/o servicios que genera la empresa.

Figura 5. Defectos en columnas tipo C2

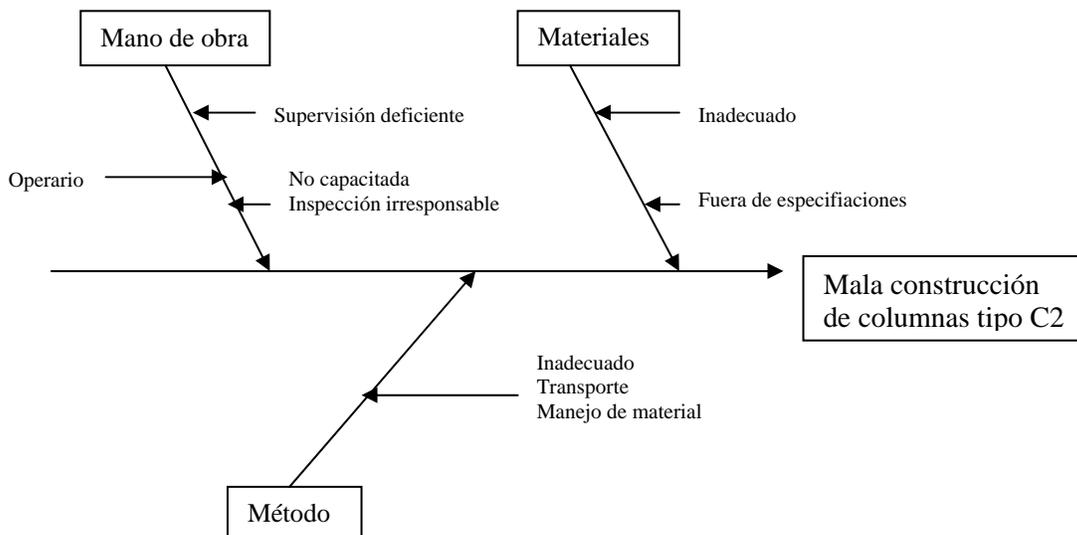


Fuente: Elaboración propia

1.6.5.4 Diagrama causa-efecto

Los diagramas de causa y efecto son conocidos también como “espina de pescado” por su forma o diagrama de Ishikawa en honor a Kaoru Ishikawa su inventor; se utiliza en las reuniones de los círculos de calidad, en las que el personal de la empresa establece las causas que pueden provocar determinado problema. Las causas tienen una clasificación típica dentro de cinco categorías básicas que son los materiales, mano de obra, maquinaria y herramientas, métodos de trabajo y medio ambiente.

Figura 6. Diagrama de causa y efecto para la mala construcción de columnas tipo C2



Fuente: Adaptado de Gutierrez, 2005

Como forma de complemento se necesita una definición más antes de llegar al siguiente punto, y es el de productividad. La productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Estos recursos productivos, incluyen el factor trabajo, capital y otros insumos como la tierra, energía, materias primas e incluso la información.

1.6.6 Gerencia total de productividad y calidad

Este método se basa en la mejora continua de los procesos desarrollados en una obra. Éste se enfoca en los factores que más influyen en el tiempo de la misma, evaluándolos, detectando los problemas y con el apoyo de los miembros de la empresa, mediante un círculo de calidad, resolverlos para así, mejorar la productividad y la calidad tanto de los procesos como de los productos. Siendo éstos los pasos a seguir:

1. Identificación del defecto o problema. Se identifican las causas que están provocando problemas en el desarrollo de la obra, de una forma descriptiva.
2. Diseño de acciones correctivas del grupo. Se designan a las personas encargadas de evaluar las actividades que provocan los problemas en el desarrollo de la obra.
3. Colección y análisis de la información. Luego de recabar la información, se analiza mediante un diagrama de Ishikawa, las posibles causas que conllevan a un mayor tiempo de retraso en la obra.
4. Círculos de calidad con lluvia de ideas. Luego de analizadas las actividades con problemas con el diagrama de Ishikawa, se tabula la duración, porcentaje de cada una con respecto al retraso total y el porcentaje acumulado. Todo esto con el fin de realizar un diagrama de Pareto, en donde se observa la importancia que tiene cada uno de los problemas sujetos a estudio.
5. Implementación de los cambios. Se expone las soluciones del problema, forma de implementación y persona encargada de realizar la misma.

6. Control de la implementación. Se evalúan los cambios implementados. Esto se logra volviendo a evaluar las actividades mediante círculos de calidad con lluvia de ideas, como se hizo en el paso 4.
7. Mejora continua. Con los resultados obtenidos en el paso anterior, se observan y analizan los resultados para determinar si se pueden hacer más cambios para seguir mejorando, esto es, volviendo a realizar los pasos del 1 al 7, logrando así la mejora continua.

1.6.7 Construcción sin pérdidas

La industria de la construcción conserva principios inalterados desde hace mucho tiempo; los procesos de diseño y construcción están insertos en paradigmas muy arraigados en la cultura de esta industria. Como contraste a las tendencias tradicionales en el desarrollo de proyectos de construcción, surgen nuevas corrientes orientadas a mejorar la concepción de los procesos productivos.

Como consecuencia de la búsqueda de un mejoramiento progresivo de los procesos concernientes a la industria de la construcción desde el punto de vista global del desarrollo de proyectos surge la filosofía de construcción sin pérdidas, cuyos métodos buscan la optimización de recursos, costos y tiempos teniendo como base conceptual la teoría de la producción esbelta.

1.6.7.1 El nuevo enfoque de la gestión de producción aplicado a la construcción

La industria de la construcción se ha caracterizado por la baja productividad, obras con baja calidad ya que no están normados los procesos y también por problemas de seguridad industrial.

Actualmente, se ha desarrollado en países latinoamericanos una tendencia en los procesos constructivos, cuyo impacto parece ser mayor que el realizado por la aplicación de nuevas tecnologías. Dicho enfoque, basado en una nueva filosofía de producción, denominada Producción Esbelta, enfatiza la importancia de los principios teóricos del proceso de construcción.

De acuerdo a la Producción Esbelta, el proceso productivo se compone de conversiones y flujos, a diferencia del sistema tradicional de producción, donde sólo se consideran las primeras. Se denominan conversiones a todas las actividades de transformación que convierten los materiales y la información en productos pensando en los requerimientos del cliente, por lo tanto en el proceso de construcción son las actividades que agregan valor.

Mientras que las pérdidas, por el contrario, se consideran a todas las actividades que no agregan valor, pero que consumen tiempo, recursos y espacio, generando costos en el proceso de construcción. Ejemplos de pérdidas en los procesos de construcción son las esperas ocasionadas por falta de instrucción, de materiales, interferencias, transportes innecesarios de materiales, equipos y obreros, por mala distribución de los recursos o ausencia de planificación, tiempo ocioso por actitudes del trabajador, reprocesos por actividades mal ejecutadas o dañadas por otras cuadrillas de trabajo, entre otras.

Como objetivo de la utilización del nuevo enfoque de producción, se encuentra el hacer más eficientes las actividades de transformación que agregan valor, minimizando o eliminando las actividades que no lo generan (pérdidas).

En construcción, el enfoque tradicional de producción para la medición del desempeño de los proyectos, enfatiza en las variables de costo y tiempo. Recientemente

y con la implementación de sistemas de gestión de calidad, esta última también ha sido considerada. Esto hace tener una visión más amplia del desempeño de proyectos de construcción, considerando cuatro elementos que son la productividad, seguridad, tiempo y calidad.

Lauri Koskela, académico finlandés y pionero en el mundo en el desarrollo de los conceptos teóricos de la aplicación de la Producción Esbelta en la construcción, ha señalado la necesidad de nuevas mediciones de desempeño en los proyectos de construcción, entre ellas medición de pérdidas, tiempo de ciclo (tiempo de armados, fundiciones entre otros) y variabilidad en cada uno de los procesos.

1.6.7.2 Identificación de las pérdidas como herramienta de mejoramiento en proyectos de construcción

La medición del desempeño actual del sistema de producción, es el punto de partida en la implementación de cualquier sistema de mejoramiento. La identificación de pérdidas, a través de técnicas, ha sido utilizada como medida indirecta de productividad, ya que asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción y reducirlas, se incrementa la productividad.

Como primera técnica para identificar las pérdidas, se debe evaluar el trabajo dividiéndolo en diferentes categorías para observar y evaluar qué hace cada obrero dentro de la obra. Dichas categorías son:

- ✓ Trabajo productivo
- ✓ Trabajo contributivo
- ✓ Trabajo no contributivo

1.6.7.2.1 Trabajo productivo (TP)

Este es definido como el tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción. Ejemplo de trabajo productivo es la colocación de la armadura de refuerzo y el vaciado de concreto en algún elemento estructural, la pega de ladrillos en muros, etc.

1.6.7.2.2 Trabajo contributivo (TC)

Es el tiempo que emplea el trabajador realizando labores de apoyo necesarias para que se ejecuten las actividades productivas, como limpieza de superficies y encofrados, mediciones previas y de inspección, transportes de materiales, armado de plataformas y andamios para trabajo en altura y seguridad industrial, etc.

1.6.7.2.3 Trabajo no contributivo (TNC)

Se define como cualquier otra actividad realizada por los obreros y que no se clasifica en las anteriores categoría, por lo tanto se consideran pérdidas. Ejemplos de esta categoría son los tiempos dedicados a esperas, tiempo ocioso, reprocesos, descansos, etc.

Como principio de mejoramiento del desempeño de proyectos de construcción y una vez categorizado el tiempo empleado e identificadas las causas de ocurrencia de pérdidas, se propone buscar la eficiencia del trabajo productivo, minimizando el tiempo destinado al trabajo contributivo y eliminando el tiempo no contributivo (pérdidas). Esta técnica presenta múltiples ventajas por su sencillez, tiene validación estadística, permite medir la variabilidad de las diferentes actividades durante la obra y permite detectar oportunidades de mejoramiento en los proyectos de construcción, situación no evidente utilizando los sistemas tradicionales de control de la producción.

2. PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN

La productividad es objeto de estudio por parte de todo tipo de industrias y empresas, especialmente en esta época donde la competencia obliga a que los niveles de productividad sean cada vez más altos, sin embargo, en la industria de construcción en Guatemala son pocos los estudios de productividad que se han realizado, porque se desconocen metodologías para efectuarlos y se piensa que por el costo relativamente bajo de la mano de obra es ilógico incurrir en gastos de este tipo. Por este motivo se desconoce la utilidad que tienen estos estudios en la planificación y control de una obra, especialmente en lo referente al rendimiento y lograr un mejor uso del recurso tiempo. En este capítulo se expone el concepto de la productividad, el impacto que tiene en empresas de construcción, estrategias para su mejoramiento, ventajas y desventajas y por último se proponen métodos para la evaluación y control que permiten cuantificarla e identificar los factores que la afectan.

2.1 Definición de productividad

Es la relación entre la producción obtenida por un sistema de producción y los recursos utilizados para obtenerla. Estos recursos productivos, incluyen el factor trabajo, capital y otros insumos como la tierra, energía, materias primas e incluso la información.

Por lo tanto, productividad se define como la relación entre producción final y factores productivos (tierra, equipo, trabajo y tiempo) utilizados en la producción de bienes y servicios. De un modo general, la productividad se refiere a lo que genera el trabajo, la producción por cada trabajador, la producción por cada hora trabajada o cualquier otro tipo de indicador de la producción en función del factor trabajo. Una

productividad mayor significa hacer más con la misma cantidad de recursos (capital, trabajo, tierra y tiempo).

Como base fundamental para el mejoramiento de la productividad se tiene el recurso humano, ya que éste es el capital más importante de toda empresa. Algunas personas mencionan el capital como el recurso esencial para el desarrollo industrial y otras mencionan la tecnología como el factor que incrementa la misma. Si bien estos recursos son importantes, el capital puede ser desperdiciado por las personas y la tecnología no sirve de nada sin personas que se comprometan y aprendan a utilizarla bien.

2.2 Impacto de la productividad en empresas de construcción

La situación de la industria de la construcción en los últimos años, los problemas generados por las altas tasas de desocupación laboral, el generalizado sentir de frustración de la sociedad por el gran esfuerzo que requiere mantenerse y desarrollarse, donde la consigna es competir en precio y calidad para mantenerse en el mercado, debido a una economía asignada por los cambios operados en el mundo de la globalización, induce a prestar mayor atención a la productividad, y tomarla como elemento generador de competitividad, ya que ésta surge como una condición sustancial para el desarrollo económico y progreso social.

Al incrementar la calidad y la productividad de la industria de la construcción, se pueden inferir los efectos positivos potenciales en los demás sectores, en el empleo, en el crecimiento que genera la industria de la construcción y esto constituiría a nivel nacional, el beneficio económico y social por lograr.

En la necesidad de incrementar la productividad, las empresas han tenido que mejorar los aspectos de calidad, el marco reglamentario, la capacitación y las

innovaciones, en pro de aumentar su nivel de participación en el mercado, dentro de la competencia que existe entre las empresas de esta industria.

En las empresas constructoras los recursos humano, técnico, económico, materiales y equipo son motivo y objeto de optimización a través del incremento de su productividad, a fin de reducir costos en los bienes y servicios que se proporcionan a la comunidad.

Los índices de productividad contribuyen asimismo en el establecimiento de metas realistas y puntos de control para llevar a cabo actividades de diagnóstico durante un proceso de construcción, señalando los estrangulamientos e impedimentos del rendimiento.

Sin un buen sistema de medición no puede existir mejora en las relaciones de trabajo o una correspondencia entre las políticas relativas a la productividad, los niveles salariales y la distribución de las ganancias.

2.3 Estrategias para mejorar la productividad

- ✓ Asesoramiento práctico (ayudar en el “cómo hacer” en lugar de imponer el “que hacer”).
- ✓ Identificar y aplicar soluciones de bajo costo y buena calidad.
- ✓ Desarrollar soluciones orientadas a mejorar simultáneamente las condiciones de trabajo, la calidad de la construcción y la productividad del trabajo.
- ✓ Concebir mejoras adaptadas a las situaciones reales totales.
- ✓ Poner énfasis en la obtención de resultados concretos.
- ✓ Vincular las condiciones de trabajo con los demás objetivos gerenciales.
- ✓ Usar como técnica el aprendizaje a través de la práctica, realizando una retroalimentación que conlleva a la Economía de Escala.

- ✓ Alentar el intercambio de experiencias.
- ✓ Promover la participación de los trabajadores.
- ✓ Diseñar correctamente los puestos de trabajo y hacer plan de carrera.
- ✓ Usar eficientemente la maquinaria apoyándose con la capacitación de los operarios de dicha maquinaria.
- ✓ Tener servicios de bienestar en el lugar de trabajo.
- ✓ Mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo.

2.4 Ventajas de la productividad en empresas de construcción

- ✓ Mayor competitividad.
- ✓ Satisfacción del cliente.
- ✓ Confianza de clientes y proveedores.
- ✓ Permanencia en el mercado a mediano y largo plazo.
- ✓ Disminución y cumplimiento de los plazos de entrega.
- ✓ Disminución de costos.
- ✓ Uso eficiente de los recursos naturales y de la fuerza laboral, logrando con esto la reducción de desperdicios de materias primas.
- ✓ Eliminación de desplazamientos innecesarios de materiales y de trabajadores.
- ✓ Evitar atrasos en las fechas de terminación de cada elemento en la obra.
- ✓ La reducción de los tiempos muertos de máquinas.
- ✓ Ahorro de energía, tanto humano evitando las actividades innecesarias como energía eléctrica puesto que se emplearían de forma eficiente las plantas eléctricas.
- ✓ Se incorporan medidas serias para controlar los efectos negativos para el entorno de accidentes imprevistos.
- ✓ Recuperación de espacios de trabajo inutilizados.
- ✓ Disminución de la rotación del personal.
- ✓ Mejoramiento continuo del capital humano y de un entorno que fomente la creatividad y la innovación, así como las relaciones laborales entre trabajadores.

2.5 Métodos para evaluar y controlar la productividad

En esta sección se muestran diferentes métodos para obtener una mejor productividad, tales como el **estudio de trabajo** el cual se divide en estudio de métodos y estudio de tiempos o también llamado medición del trabajo. El **muestreo de actividades**, que describe un método para comprobar la productividad sin tener que esperar hasta que finalice una fase de trabajo o tener que seguir las operaciones de forma continua.

Y como último método de evaluación y control están los **incentivos**, que asocia el uso de los esquemas de incentivos económicos como elemento base para que las personas trabajen de forma positiva, logrando un mayor rendimiento individual y reduciendo el tiempo de ejecución de la actividad en un proceso determinado.

2.5.1 Estudio de trabajo

Se entiende por estudio de trabajo a ciertas técnicas que se utilizan para examinar el trabajo humano en todos sus contextos y que llevan constantemente a investigar todos los factores que influyen en la eficiencia y economía de la situación estudiada con el fin de efectuar mejoras. El estudio del trabajo tiene dos aspectos importantes y bastante diferenciados:

- ✓ Encontrar una mejor forma de realizar una tarea.
- ✓ Determinar cuánto se debe tardar en esa tarea.

Así, el estudio del trabajo consta de dos técnicas relacionadas entre sí. La primera, el estudio de métodos, se ocupa del modo de hacer un trabajo. La segunda, la medición del trabajo, tiene como meta averiguar cuánto tiempo se requiere para ejecutarlo.

La relación entre el trabajo y la remuneración, sea ésta el salario o un incentivo, es directa y muy importante mientras más complicado sea un trabajo, es decir, mientras más preparación y calificación requiera el individuo que desarrolla el trabajo, mayor va a ser la compensación y mientras mejor lo haga, entonces se merece ganar el incentivo.

2.5.1.1 Estudio de métodos

Es el registro de los procedimientos de trabajo y examen crítico sistemático de los modos de realizar actividades, con el fin de efectuar mejoras.

Surgen muchas situaciones en el trabajo de construcción, que se podrían identificar y mejorar al introducir el estudio de métodos. Dichas situaciones podrían manifestarse con los siguientes síntomas:

- ✓ Recurrir a un exceso de horas extras laborales.
- ✓ Cuellos de botella en el flujo de materiales.
- ✓ Excesivo desperdicio de materiales.
- ✓ Frecuentes averías en la maquinaria.
- ✓ Trabajos que provocan agotamiento físico.
- ✓ Un programa atrasado.
- ✓ Mala calidad en la ejecución de los trabajos.
- ✓ Retrasos provocados por subcontratistas, o subcontratistas afectados por retrasos.
- ✓ Excesivos fallos y errores.
- ✓ Escasez de recursos.
- ✓ Información insuficiente.
- ✓ Obra congestionada.
- ✓ Malas condiciones de trabajo.
- ✓ Costos excesivos.

- ✓ Alta rotación de personal, que se define como la fluctuación de personal entre una organización y su ambiente; esto significa el volumen de personas que ingresan en la organización y el de las que salen de ella.
- ✓ Trabajos temporales mal programados.
- ✓ Mala distribución de la obra.

Los pasos a seguir en el estudio de métodos sirven para analizar y reducir los problemas mencionados en la lista anterior mediante una serie de medidas como las siguientes:

- ✓ Obtención de los hechos: Reunir todos los hechos importantes en relación al producto.
- ✓ Presentación de los hechos: Toda la información se registra en orden para su estudio.
- ✓ Efectuar un análisis: Para decidir cual alternativa produce el mejor servicio o producto. El análisis requiere un examen crítico de cada operación registrada, en forma de preguntas y respuestas.
- ✓ Desarrollo del método ideal: Seleccionar el mejor procedimiento para cada operación.
- ✓ Presentación del método: A los responsables de su operación y mantenimiento.
- ✓ Implementación del método: Considerando todos los detalles del centro de trabajo.
- ✓ Desarrollo de un análisis de trabajo: Para asegurar que los operadores están adecuadamente capacitados, seleccionados y estimulados.
- ✓ Establecimiento de estándares de tiempo: Estos deben ser justos y equitativos.
- ✓ Seguimiento del método: Hacer una revisión o examen del método implementado a intervalos regulares.

2.5.1.2 Medición del trabajo o estudio de tiempos (o plazos)

Es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo que invierte un trabajador calificado en llevar a cabo una tarea según una norma de rendimiento preestablecida. Es necesario disponer de dicha información durante el proceso de estimación, para poder establecer incentivos económicos, como parte de los datos del estudio de métodos y también se puede emplear para contrastar los niveles de ejecución reales con los niveles teóricos.

El propósito de la medición del trabajo es averiguar cuánto debe tardarse en realizar el trabajo. Esta información se puede usar para dos objetivos principales:

1. Emplear los datos obtenidos retrospectivamente para valorar el rendimiento en el pasado.
2. Utilizar los datos obtenidos mirando hacia adelante, para fijar los objetivos futuros de la empresa.

Las aplicaciones de datos de medición del trabajo son muy amplias y se pueden utilizar en:

- ✓ La determinación de niveles de mano de obra en actividades de la construcción.
- ✓ La determinación de niveles de referencia de utilización de maquinaria y rendimiento humano.
- ✓ Proporcionar las bases para metas de incentivos financieros seguros.
- ✓ Proporcionar las bases para el control de costos fijando niveles de referencia para los objetivos de rendimiento.
- ✓ La determinación del método más económico entre las alternativas.

Se necesitan datos precisos de los plazos para estimadores y planificadores a la hora de contratar organizaciones. El método de estudio de plazos intenta cuantificar los factores que interfieren con las condiciones normales para poder establecer un plazo correcto para el trabajo en cuestión, como son: la habilidad, deseo de cooperación, temperamento y experiencia del trabajador, el estado de los equipos empleados y el medio donde hace el trabajo. El procedimiento a seguir para la medición del trabajo es el siguiente:

1. El trabajo a observar se deberá dividir en elementos, para facilitar su posterior síntesis. Así, una observación directa, no será necesaria una vez que la base de datos esté lo suficientemente desarrollada, para incluir la mayor parte de los elementos o tareas de la construcción.
2. Contar con los equipos básicos para lograr la medición y el registro de información relativo al avance de la obra que consisten en un cronómetro, una tabla de estudio y unas hojas de estudio de plazos preparados con antelación, además de una calculadora de bolsillo, una cinta métrica, un micrómetro, entre otros, según el tipo de trabajo en cuestión.
3. Hablar con los trabajadores y con su encargado para explicarles el objetivo del ejercicio. En la mayor parte de los casos los trabajadores desean colaborar si el estudio va a tener como resultado unos ingresos más elevados o un trabajo menos fatigoso.
4. Es aconsejable elaborar un croquis del trabajo y anotar los detalles generales como las condiciones meteorológicas y las condiciones en la obra, la fecha, la hora, apuntes sobre el acceso al lugar de trabajo, proximidad de suministros, herramientas y equipos a utilizar, mencionando algunos ejemplos.

Sin embargo, debido a que el objetivo del estudio es obtener un plazo de tiempo realista para el elemento, el observador deberá juzgar el ritmo de trabajo efectivo de las personas bajo observación, ya que el tiempo empleado por un trabajador u otro diferente para hacer la misma tarea puede variar. Este proceso es denominado clasificación.

Es necesario que el profesional de estudio de plazos tenga un concepto determinado de clasificación estándar, lo cual se logra en base a la experiencia, al juzgar distintas velocidades de movimiento, esfuerzo, constancia y destreza. La clasificación estándar se define como: “la clasificación correspondiente al ritmo medio por el que trabajadores calificados ejecutan una tarea, siempre y cuando se atengan al método especificado y se encuentren motivados para realizar la labor. Si se mantiene la clasificación estandarizada y se disfrutan de los descansos correspondientes, un trabajador logrará un rendimiento estándar durante el día o turno laboral”. El profesional deberá poder diferenciar entre ritmos rápidos, medios o lentos; por tal motivo y para facilitar una descripción adecuada de la medición de la velocidad, el *British Standard Glossary*, quien propone una escala según los distintos niveles de rendimiento de un trabajador, basados en un período corto de tiempo, enunciados en la tabla II.

Tabla II. Tabla de clasificaciones

Clasificación	Descripción
0	No hay actividad.
50	Muy lento, torpes movimientos. El trabajador parece medio dormido sin ningún interés en el trabajo.
75	Calmado, intencionado, una actuación pausada, como trabajador no está en paz en el trabajo, pero bajo su propia supervisión, se mira lento, pero el tiempo laboral no es gastado intencional mientras está bajo supervisión.
100 Estimación Estándar	Vigoroso, desempeño en el trabajo en promedio calificado, a gusto en el trabajo, calidad necesaria estándar y exactitud lograda con confianza.

125	Muy rápido, el operador exhibe un alto grado de seguridad, destreza y coordinación de movimientos, más arriba de lo estimado estándar.
150	Excepcionalmente rápido; demuestra esfuerzos intensos y concentración, no hay inactividad por periodos largos, una actuación excelente y poco usual.

Fuente: Adaptado del British Standard Glosary

El plazo básico o normal para la ejecución de un trabajo se calcula de la siguiente manera:

$$PB = \text{Tiempo observado} \times \frac{\text{Clasificación estimada}}{\text{Clasificación estándar}}$$

Esto es, que el plazo básico o normal es el tiempo que un trabajador especializado tarda en realizar una tarea específica a un nivel determinado de ejecución. En la práctica no se espera que un trabajador alcance este nivel si no toma el descanso necesario.

Factores que afectan la clasificación:

1. El observador debe tomar precauciones contra las malas prácticas.
2. El observador debe estimar el nivel de esfuerzo real necesario para ejecutar el trabajo en cuestión.

Los factores que influyen en el plazo de observación pero no en la clasificación de la actividad a realizar son:

- ✓ Calidad de las herramientas empleadas.
- ✓ El tipo y la calidad del material sobre el que se está trabajando.
- ✓ Condiciones laborales.

- ✓ El período de aprendizaje necesario antes que el trabajador esté familiarizado con la tarea.
- ✓ Interrupción en el suministro de materiales.
- ✓ La supervisión.
- ✓ Las especificaciones de calidad, entre otros.

Factores atribuibles al trabajador:

- ✓ Nivel de inteligencia y estudios.
- ✓ Actitud y motivación.
- ✓ Aptitud y formación.
- ✓ Disciplina y organización personal.
- ✓ Salud.
- ✓ Nivel de fatiga.

Es difícil determinar el tamaño correcto del muestreo, pero se deberán realizar las suficientes observaciones para cubrir los posibles cambios que se puedan llevar a cabo a lo largo de un día laboral.

Hasta ahora, para calcular el plazo básico de un elemento se ha ignorado la necesidad por parte de los trabajadores de disponer de períodos de descanso e imprevistos durante un turno laboral de varias horas de duración. Así que el plazo estándar queda así:

$$PE = \text{plazo básico} + \text{periodos de descanso} + \text{imprevistos} \quad (2)$$

La tabla III resume ejemplos de tolerancia de relajación como un porcentaje de tiempo básico.

Tabla III. Normativa de tolerancia de relajación

Naturaleza	Descripción	Tolerancia expresada como porcentaje del tiempo básico
Estándar	Necesidades personales (baño, beber, lavar) además de fatiga básica	8
Postura	De pie, sentado, en cuclillas o acostado.	2-7
Atención	Trabajo fino, trabajo de complejidad mental.	0-5
Condiciones	Condiciones inadecuadas de luz.	0-5
	Condiciones extremas de ventilación.	0-10
	Desde tranquilidad hasta ruido extremo.	0-5
Condiciones	35 grados centígrados y 95% de humedad.	0-70
Esfuerzo	Levantamiento hasta 5 kg.	1
	Levantamiento hasta 20 kg.	1-10
	Levantamiento hasta 40 kg.	10-30
	Levantamiento hasta 50 kg.	30-50
Monotonía	Mental.	0-4
	Tedioso hasta muy tedioso.	0-5

Fuente: Adaptado del British Standard Glossary

Para obtener el plazo estándar final, es necesario incluir tiempo adicional para contingencias como:

- ✓ Ajuste y mantenimiento de herramientas.
- ✓ Tiempo de espera, debido a subcontratistas, averías en la maquinaria, falta de material, etc.
- ✓ Condiciones de obra inesperada.
- ✓ Plazo de aprendizaje.
- ✓ Tareas únicas.
- ✓ Cambios en el proyecto.

Ejemplo: se van hacer los siguientes trabajos preliminares en una construcción y se calculará el tiempo estándar.

Tabla IV. Cálculo de tiempo básico

Actividad	Unidad	Tiempo observado (min)	Clasificación observada (%)	Tiempo básico (min)
Preliminares				
Limpieza, trazo y nivelación	m2	480	75	360
Excavación	m2	3840	100	3840
Rellenos	m2	1200	75	900
Fundición de cimentación	m2	1440	100	1440

Fuente: Elaboración propia

Tabla V. Cálculo de tiempo estándar

Actividad	PB	Tolerancia de tiempo de relajación						Total	5% de contingencia	Tiempo Estándar
		Estándar	Postura	Atención	Condiciones	Esfuerzo	Mono-Tonía			
Preliminares										
Limpieza, trazo y nivelación	360.0	28.8 (8%)	25.2 (7%)	7.2 (2%)	7.2 (2%)	3.6 (1%)	10.8 (3%)	82.8	18.0	460.8
Excavación	3,840.0	307.2 (8%)	268.8 (7%)	76.8 (2%)	1536.0 (40%)	38.4 (1%)	115.2 (3%)	2342.4	192.0	6374.4
Rellenos	900.0	72.0 (8%)	63.0 (7%)	18.0 (2%)	90.0 (10%)	90.0 (10%)	18.0 (2%)	351.0	45.0	1296.0
Fundición de cimentación	1,440.0	115.2 (8%)	43.2 (3%)	28.8 (2%)	72.0 (5%)	14.4 (1%)	14.4 (1%)	288.0	72.0	1800.0

Fuente: Elaboración propia

Dada la variabilidad en trabajos de construcción, la diferencia entre plazo estándar y plazo básico de un trabajador puede ser bastante considerable, y como consecuencia, la mayoría de los registros o bases de datos relacionadas con plazos de ejecución se mantienen como plazos básicos y el usuario debe aplicar los imprevistos adecuados según sea necesario.

Lo último para el estudio de plazos o tiempos es comparar los rendimientos. Una vez establecidos los plazos para los elementos, facilitan una base para el cálculo, la planificación y el control del trabajo. En especial, cálculos de plazos estándar se pueden emplear en la comparación con el tiempo real necesario para la ejecución de una tarea.

$$\text{Rendimiento} = \text{PE} \times \frac{\text{Minutos}}{\text{Hombre de tiempo de trabajo disponibles}}$$

Los datos relativos a un estudio de plazos son costosos de recopilar y no se pueden recopilar de forma rápida, sobre todo en la ingeniería civil, donde las variables en una obra complican la interpretación de los datos. Sin embargo, en los trabajos de edificación y otras actividades de naturaleza más estable, los plazos básicos son útiles a la hora de estimar y planificar. Un método para almacenar los datos en archivos informáticos para su posterior aplicación es el de cálculos sintéticos. Además, la creciente sofisticación de los programas de procesador de texto, hojas de cálculo y bases de datos está facilitando el análisis de los datos, ya que el traspaso de los mismos desde un ordenador a otro es bastante fácil.

El método de cálculos sintéticos trata de lo siguiente:

- ✓ Analizar el trabajo según elementos adecuados.
- ✓ Seleccionar un plazo básico adecuado a partir de los datos registrados según cada elemento.
- ✓ Estimar las asignaciones de descanso y determinar el plazo para el trabajo entero.
- ✓ Asignar las contingencias para establecer el plazo básico del trabajo definido.

2.5.2. Muestreo de actividades

A diferencia del método de estudio del trabajo, el muestreo de actividades es un

método sencillo que puede ser empleado por personal no especializado para estimar la eficiencia productiva. Muchas veces se utiliza este método, debido a que en construcción las condiciones en que se labora en obra no son lo suficientemente estables para que se puedan realizar los procedimientos administrativos correctamente. Pero el gerente del proyecto tiene que saber de forma continua si la obra está funcionando eficazmente. Esta técnica de muestreo de actividades es un método que facilita al gerente del proyecto una herramienta bastante sensible para realizar un trabajo similar al de estudio de plazos, pero sin la desventaja del tiempo que transcurre entre la observación y la entrega del informe, a la hora de aplicarse a trabajos de construcción.

2.5.2.1 Cálculo a pie de obra

Este cálculo en obra facilita información preliminar, antes de la elaboración de un muestreo de actividades completo. Por ejemplo:

$$\text{Cuota de actividad} = \left(\frac{\text{Personas activas observadas}}{\text{Total de trabajadores en obra}} \right) \times 100$$

Si la cuota es preocupante, se justifica una investigación más a fondo. El número total de hombres observados deberá estar entre un 75% y un 80% del total de la mano de obra empleada. La técnica de cálculo a pie de obra sólo puede servir de guía por el número reducido de observaciones.

2.5.2.2 Procedimiento para realizar un muestreo de actividades

1. Elaborar un sondeo preliminar con el fin de obtener una idea general del problema. La información recopilada ayudará a la hora de decidir el tamaño de la sección de trabajo a estudiar y el número de trabajadores implicados.

2. Identificar los trabajadores por su nombre y elaborar una lista de las operaciones y tareas a estudiar. A veces, no hace falta entrar en más detalle que especificar trabaja o no trabaja, pero en el caso de una investigación más a fondo será necesario más precisión respecto al tipo de trabajo.
3. Preparar una hoja de observaciones para registrar la información.
4. Consultar al supervisor de las obras y asegurarse de que todo el mundo esté debidamente informado. En todo caso se podría crear un estado de malestar, que podría ir en aumento y servir de justificación a supuestos agravios.
5. El número de observaciones necesarias suele ser bastante grande; así que se deberá planificar una tabla de tiempos de observación. Las observaciones se pueden realizar a intervalos regulares.
6. Escoger un lugar adecuado de observación.
7. Registrar cada actividad que esté en ejecución en el mismo instante en que es observada, además del nombre del trabajador en cuestión.
8. A partir de los porcentajes de las actividades observadas, escoger la actividad o las actividades que muestren un tiempo de ejecución desproporcionado.

Si la técnica de muestreo de actividades se aplica correctamente y con cuidado, se puede utilizar para determinar los datos de salida de producción y utilizarlos en los procesos de estimación y planificación de la duración de las actividades.

2.5.3 Incentivos

La forma más segura de lograr que las personas actúen de manera deseable es recompensarlas por hacerlo, en otras palabras, darles incentivos. Se puede decir que las personas no deberían ser recompensadas para hacer cosas deseables; aún cuando acepte que los incentivos son necesarios, no resulta siempre claro el cómo establecer cuáles son aquellos que motivarán a las acciones deseadas.

Convencer a la gente que los incentivos son apropiados es un desafío, pero más lo es el determinar los incentivos apropiados. Por supuesto, se quiere incentivos que motiven a las personas a actuar en las formas deseadas, pero ¿qué es lo deseado? En algunas situaciones, la respuesta es fácil de contestar, pero no siempre.

Los esquemas de incentivos son muy utilizados en la industria de la construcción, hasta el punto en que en muchos casos no se puede contratar a trabajadores si no se les ofrece un plan de incentivos. La historia de las remuneraciones incentivadas habla de la problemática y conflictos que existen entre dirección y trabajadores.

En la industria de la construcción la recopilación de datos no es muy confiable, debido a que se basa en trabajos sobre proyectos específicos, restringiendo las ventajas que se obtendrían en condiciones más estables. Las metas productivas fijadas por la dirección, y sobre las que dependen los incentivos económicos, suelen ser normalmente imprecisas. Como resultado, los trabajadores sufren grandes variaciones en sus ingresos, lo que lleva a algunos sindicatos a pedir la sustitución de incentivos económicos por un salario mínimo más elevado, situación que la dirección no está dispuesta a llevar a cabo por temor a incrementar el coste del proyecto. La situación que actualmente prevalece consiste en el pago de incentivos económicos a cambio de estimular al trabajador para que rinda a un nivel normal.

Para poder comprender los sistemas de pago, remuneración y rendimiento utilizados en la construcción tradicional y en la construcción sin pérdidas, es preciso aclarar los conceptos de la Ley de Rendimientos Marginales Decrecientes y el de Economías de Escala.

Ley de rendimientos marginales decrecientes

Esta ley indica que cuando la cantidad de un insumo aumenta y la de los demás permanece constante, se alcanza un punto a partir del cual el producto marginal del insumo variable disminuye.

Una consecuencia de este enunciado es que la demanda de un insumo está relacionada directamente con su productividad marginal (incremento de producción que puede lograrse mediante adiciones en una unidad de alguno de los factores), y el precio que se debe pagar por éste no puede ser mayor a lo que aporta a la producción total. En términos prácticos, ello significa, por ejemplo, que el sueldo de un trabajador por unidad de tiempo, no puede exceder lo que produce en ese período.

Si el Estado fija un salario mínimo por hora o lo incrementa "artificialmente" con derechos y garantías laborales (pensiones, seguro médico, prestaciones sociales, etc.), entonces desequilibraría los mercados, porque se correría el riesgo de que en muchos de ellos, las retribuciones serían mayores a la productividad marginal del llamado factor trabajo.

Este tipo de conclusiones son ampliamente defendidas por los economistas que pregonan el modelo neoliberal y, por ello, consideran que los mercados deben "autoregularse", ya que los gobiernos sólo afectan negativamente el desarrollo general de la economía y la sociedad.

La manera en la que se demuestra el rendimiento decreciente de un insumo, pone de manifiesto que sus conclusiones son más bien observaciones empíricas de lo que tentativamente ocurre en la realidad, y no teoremas derivados de un esquema analítico lógico. Es decir, no se está ante una ley económica, sino más bien ante una proposición que constantemente puede ser refutada y desmentida. Por ejemplo, si se mejora la tecnología de producción, entonces se puede obtener un rendimiento mayor por trabajador, sin contratar a uno nuevo.

Finalmente, cabe aclarar que un nombre más adecuado para la llamada "ley", sería el de principio de los rendimientos marginales físicos decrecientes.

Economía de escala

La economía de escala se refiere al poder que tiene una empresa cuando alcanza un nivel óptimo de producción para ir produciendo más a menor costo, es decir, a medida que la producción en una empresa crece, sus costos por unidad producida se reducen. Cuanto más produce, menos le cuesta producir cada unidad.

En otras palabras, se refiere a que si en una función de producción se aumenta la cantidad de todos los inputs utilizados en un porcentaje, el output producido puede aumentar en ese mismo porcentaje o bien aumentar en mayor o menor cantidad que el mismo porcentaje. Si aumenta en la misma cantidad se llama economía constante de escala, si fuera en más cantidad se llama economía creciente de escala, si fuera en menos se llama economía decreciente de escala.

Comúnmente, cuando se dice simplemente economía de escala, se refiere a la creciente, ya que esta denota una función bastante ventajosa desde el punto de vista económico, porque significa que la producción resulta más barata por término medio cuanto mayor es el empleo de todos los recursos. Resulta, por ejemplo, más barato por

unidad producir 400 unidades que 200, si se aumenta en la misma cantidad todos los recursos empleados para ello (y el precio de cada recurso por unidad no cambiase).

La economía de escala es una situación de cierto interés en economía, puesto que implica que se puede producir con menores costos a medida que se aumenta el nivel de producción. Esto está muy estrechamente ligado a la concentración empresarial, quiere decir que una sola empresa más grande produce con un menor costo que dos empresas más pequeñas.

Si no se tiene una economía de escala no se puede trabajar en el mercado, porque no es un mercado competente. La solución para esto son las tarifas, fijadas por los reguladores en base a lo que cuesta en promedio producir un producto; en estos casos, el costo medio es más alto que el costo marginal.

2.5.3.1 Sistemas de pago, remuneración y rendimiento

Los métodos dentro de la industria de la construcción consisten en ofrecer incentivos económicos a los operarios e incentivos semieconómicos o no económicos a trabajadores administrativos y directivos.

2.5.3.1.1 Incentivos no económicos

Para poder entender este tipo de incentivos se necesita comprender el concepto de la pirámide de necesidades de Maslow y la teoría de los dos factores de Herzberg. Que en resumen tratan de la importancia, lugar y reconocimiento que una persona espera por el desempeño correcto de sus actividades. La pirámide de necesidades de Maslow se resume en la figura 7.

Figura 7. Pirámide de necesidades de Maslow



Fuente: Adaptado de Papalla y Wendkos, 1992

La teoría de los factores de Herzberg indica que las personas están influenciadas por dos factores, intrínsecos y extrínsecos.

1. La satisfacción que es principalmente el resultado de los factores intrínsecos. Estos factores ayudan a aumentar la satisfacción del individuo pero tienen poco efecto sobre la insatisfacción.
2. La insatisfacción es principalmente el resultado de los factores extrínsecos. Si estos factores faltan o son inadecuados, causan insatisfacción, pero su presencia tiene muy poco efecto en la satisfacción a largo plazo.

Factores intrínsecos

- ✓ Logros
- ✓ Reconocimiento
- ✓ Independencia laboral

- ✓ Responsabilidad
- ✓ Promoción
- ✓ Crecimiento
- ✓ Madurez
- ✓ Consolidación

Factores extrínsecos

- ✓ Sueldo y beneficios
- ✓ Política de la empresa y su organización
- ✓ Relaciones con los compañeros de trabajo
- ✓ Ambiente físico
- ✓ Supervisión
- ✓ Status
- ✓ Seguridad laboral

Como los incentivos no económicos son bastante intangibles y son los relacionados con las necesidades superiores de la pirámide de necesidades Maslow, se aprecia que las personas esperan sentirse necesitados en el trabajo, ganarse el respeto de la dirección y de sus compañeros e identificarse con una especialidad en particular, en especial, supone la satisfacción de los factores intrínsecos de Herzberg.

Así que los incentivos ofrecidos suponen un reconocimiento de la importancia del individuo y la necesidad de participación dentro del equipo para lograr una satisfacción social. En la mayoría de los casos, es necesario ofrecer incentivos más tangibles, frecuentemente se trata de incentivos semieconómicos.

2.5.3.1.2 Incentivos semieconómicos

Este tipo de incentivos no se basa en el pago de dinero en efectivo, sino que se

concentran en ventajas supletorias, como pueden ser vacaciones pagadas, comedores, bonos de restaurante, instalaciones deportivas, planes de pensiones, vehículo de la empresa, facturas telefónicas a cargo de la empresa, cuentas de gastos, entre otros. Este tipo de beneficios suele ofrecerse generalmente a personal asalariado cuyos puestos son difíciles de cuantificar en términos productivos puros.

2.5.3.1.3 Planes de incentivos económicos

Este tipo de incentivos provocan que la gente se encuentre más motivada a la hora de trabajar, en especial si el trabajo se basa en un rendimiento cuantificado. Los objetivos de los planes de incentivos económicos son:

- ✓ Mejorar la productividad.
- ✓ Fomentar mejores sistemas de trabajo.
- ✓ Proporcionar la oportunidad de tener ingresos superiores, pero sin aumentar los costos unitarios de producción, para evitar el encarecimiento de la obra en construcción.

A continuación se encuentra una tabla donde se exponen los principales y más utilizados planes de incentivos económicos cuando se alcanzan los objetivos descritos anteriormente, también se exponen las ventajas y desventajas para su comparación y así poder tomar una mejor decisión a la hora de escoger un plan de incentivo que se ajuste mejor a las necesidades del proyecto en ejecución.

Tabla VI. Planes de incentivos económicos

Esquema de incentivos	Ventajas	Desventajas
<p>1. Trabajo diario.</p> <p>Al empleado se le paga un sueldo básico por asistir al trabajo.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sencillo y fácil de comprender. 2. Sencillo calcular sueldos. 3. No requiere mucho trabajo administrativo. 4. Proporciona flexibilidad laboral. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. No se recompensa la eficiencia. 2. Los trabajadores débiles se benefician con los rápidos. 3. Se necesita una supervisión estricta. 4. Es difícil elaborar previsiones presupuestarias.
<p>2. Trabajo a destajo.</p> <p>Se paga un precio uniforme por trabajo o unidad ejecutada.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Incentivo directo para incrementar el rendimiento. 2. Fácil de comprender. 3. El coste salarial por unidad de producción es constante. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios en las cuotas salariales conllevan una modificación de los objetivos. 2. Puede llevar a una calidad inferior.
<p>3. Esquema proporcional directo de horas ahorradas.</p> <p>El tiempo ahorrado respecto a los objetivos se da al trabajador.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. El incentivo está relacionado con el esfuerzo. 2. Hay un sueldo garantizado. 3. Facilita datos de control de costes. 4. Mejor control de calidad que con el trabajo a destajos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Es caro de operar. 2. Favorece a trabajadores rápidos. 3. Requiere datos fiables. 4. Causa un problema inicialmente cuando la mano de obra no tiene experiencia.

<p>4. Esquemas engranados.</p> <p>Como el esquema proporcional directo de horas ahorradas pero sólo una proporción de tiempo ahorrado se da al trabajador.</p>	<p>1. Son útiles para nuevos trabajadores.</p> <p>2. Es un incentivo para trabajadores lentos o sin experiencia.</p>	<p>1. Fomenta la fijación de cuotas bajas.</p> <p>2. No se recompensa debidamente a los trabajadores rápidos.</p>
<p>5. Esquemas de grupo.</p> <p>Como el esquema proporcional directo de horas ahorradas pero se paga a individuos en bases proporcionales.</p>	<p>1. Ayuda en la eliminación de trabajadores débiles.</p> <p>2. Recomendable cuando son necesarios equipos de trabajadores, es decir, adecuados para la industria de la construcción.</p>	<p>1. Aumenta el trabajo administrativo.</p> <p>2. Los trabajadores más rápidos sufren a costa de trabajadores lentos.</p>

Fuente: Adaptado de Papalla y Wendkos, 1992

2.5.3.2 Principios de un buen esquema de incentivos

- ✓ La planilla se pagará a los trabajadores en directa proporción al esfuerzo aplicado.
- ✓ Los ingresos del trabajador no se limitarán de ninguna forma.
- ✓ Las metas fijadas serán factibles y se mantendrán inalteradas.
- ✓ Se deben excluir los inevitables retrasos de las horas pagadas como planilla y se pagarán a la cuota base.
- ✓ El esquema deberá ser totalmente comprensible para el trabajador para que pueda calcular su sueldo.
- ✓ Los esquemas de incentivos pueden provocar trabajo de calidad inferior, así que se deberán incluir y aplicar sanciones.

- ✓ El esquema deberá cumplir las condiciones de salario mínimo.
- ✓ Buena planificación para asegurar que los planos se actualicen, los materiales lleguen a tiempo, etc.
- ✓ El esquema deberá estar integrado con el sistema de control de costos.

2.5.3.3 Fijación de metas

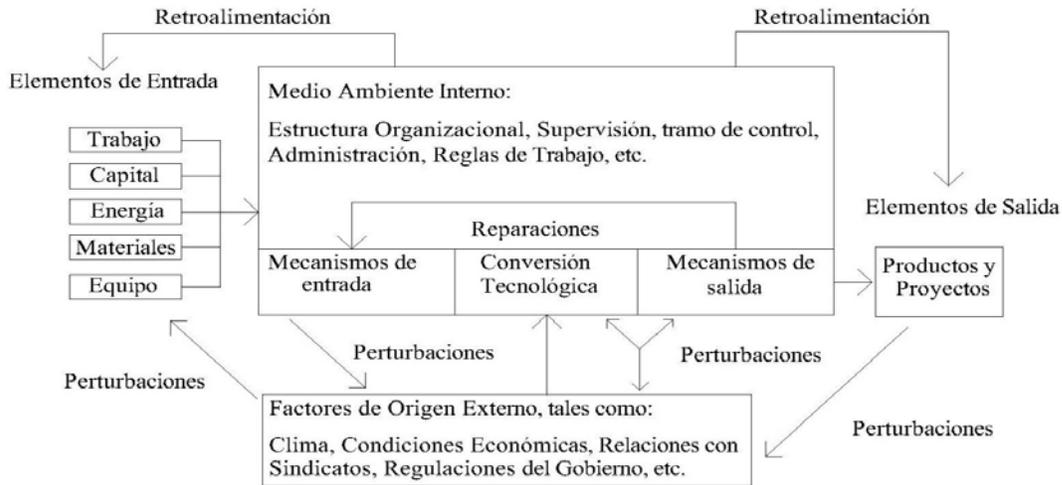
Algunas de las fuentes de información a disposición del gerente de una obra, a la hora de fijar metas de ejecución para fines de incentivos, son las siguientes:

- ✓ Experiencia personal.
- ✓ Retroalimentación.
- ✓ Datos de estudio de trabajo.
- ✓ Cuotas de los fabricantes.
- ✓ Demostración en obra.
- ✓ Información estándar.

2.5.4 Modelo de los factores

El modelo de los factores se utiliza como una herramienta eficaz en la medición de la productividad en trabajos de construcción; conceptualmente se basa en un enfoque dado a la construcción como un sistema abierto (organismo influenciado por el medio ambiente, alcanzando un equilibrio dinámico en ese sentido), mostrado en la figura 8.

Figura 8. La construcción como un proceso de conversión abierto.

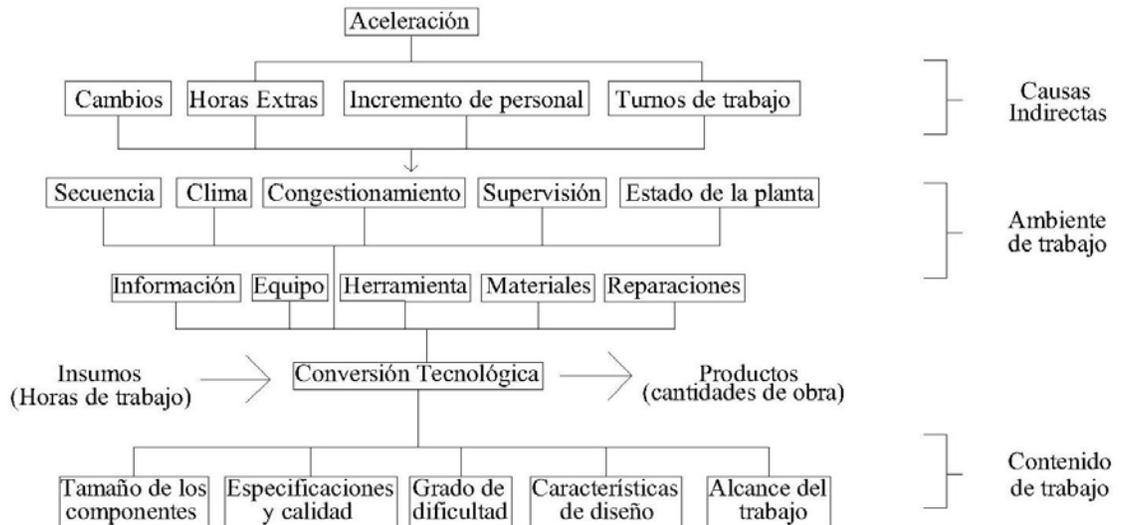


Fuente: Adaptado de Scheduled Overtime and Labor Productivity: Quantitative Analysis.

Este esquema muestra que en la industria de la construcción la productividad se ve afectada, durante el proceso de conversión tecnológica por ciertas influencias internas y externas, así como por perturbaciones no definidas.

Se clasifican esas influencias o factores en dos categorías: el ambiente de trabajo, relacionado con el contexto interno y externo; así como el contenido de trabajo, referido al proyecto y especificaciones de diseño, que determinan el grado de complejidad del proceso constructivo. Aplicado al análisis de la mano de obra, el modelo puede ser visualizado en la figura 9.

Figura 9. Representación detallada del modelo de los factores.



Fuente: Adaptado de Scheduled Overtime and Labor Productivity: Quantitative Analysis.

En forma detallada, los factores que influyen en el ambiente de trabajo son: falta de herramientas y equipo, suministro irregular de materiales, supervisión deficiente, clima adverso, problemas de ingeniería, esperas por secuencias de actividades, reparaciones, congestionamientos en el sitio, etcétera. De igual forma, se sugiere que el ambiente de trabajo puede verse afectado por causas indirectas como resultado del incremento o aceleración del ritmo de trabajo; principalmente, la programación de horas extras, cuyo empleo en lugar de propiciar un aumento en la productividad de la mano de obra, puede ocasionar un efecto en sentido contrario. Por su parte, el contenido de trabajo afecta la productividad debido a los cambios relacionados con las especificaciones y calidad, grado de dificultad, alcances y características del diseño, que frecuentemente se presentan durante el desarrollo de una misma obra, según la parte específica del proyecto que se ejecuta cada día.

La aplicación práctica de este modelo, consiste básicamente en medir las cantidades de obra realizadas en un día, observando el trabajo efectuado por una cuadrilla previamente elegida, misma que constituye la unidad básica de observación.

En esta observación se registran en listados especiales los factores que pudieron haber afectado el rendimiento de los trabajadores, incluyendo el tiempo que los trabajadores emplean en actividades que no forman parte del trabajo directo, por ejemplo el manejo o movimiento de materiales, instalación y desmantelamiento de andamios, limpieza de la obra, etcétera; de igual forma se lleva un registro de estímulos asociados al incremento de la productividad, tal como: metas o tareas mínimas previstas para la jornada o el pago de incentivos económicos.

Los datos recolectados en un período de tiempo finito, dan lugar a la creación de una base de datos, con la cual es posible calcular la productividad diaria y acumulada del proyecto, combinando la cantidad de obra realizada con las horas invertidas por la cuadrilla en conjunto; así como efectuar un análisis sobre el desempeño de la organización dentro de la empresa y el efecto del diseño y clima en la ejecución de los trabajos.

3. PLANIFICACIÓN TRADICIONAL

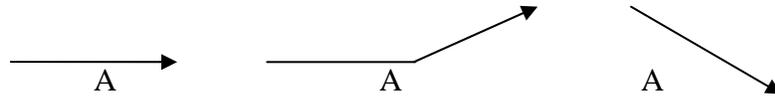
En el presente capítulo, se resume la teoría básica del método utilizado tradicionalmente en la planeación y control de todo tipo de proyectos de construcción. Este método conocido como CPM-PERT consiste en la representación del plan de un proyecto a través de un diagrama esquemático o red que bosqueja tanto la secuencia y la interrelación de todos los componentes del proyecto como el análisis lógico y la manipulación de dicha red para determinar el mejor programa general de operación. La red está orientada por actividades representadas por flechas que llegan a cada nodo indicados por círculos que representan un evento. Generalmente, la longitud de la flecha no tiene significado y solo indica el paso del tiempo en una dirección dada. El inicio de todas las actividades que parten de un nodo dependen de la terminación de todas las actividades que llegan a él; por ello, el evento que representa el nodo no se logra hasta que todas las actividades que concurren no han terminado. Luego se procede a elaborar un diagrama de Gantt a partir de los datos obtenidos en el diagrama de CPM-PERT.

3.1 Codificación de las actividades

3.1.1 Flechas

Se utilizan para señalar una actividad; la cola representa el inicio y la punta la terminación de la misma; la dirección convencional es de izquierda a derecha. Las flechas no tienen escala, excepto para diagramas a escala de tiempo, y deben ser horizontales o inclinadas pero siempre con dirección hacia el frente. Ejemplo:

Figura 10. Flechas



Fuente: Elaboración propia

3.1.2 Nodos

Los nodos representan un evento y no tienen duración. Toda actividad está ligada a dos eventos. Se representan con círculos; el evento *i* corresponde a un punto en el tiempo en el cual para que suceda, todas las actividades que le preceden deben estar terminadas. El evento *j* ocurre al final de una o varias actividades. Ejemplo:

Figura 11. Nodos

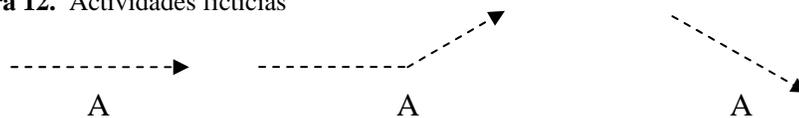


Fuente: Elaboración propia

3.1.3 Actividades ficticias

Se representan por medio de flechas con línea punteada y no tienen duración. Se utilizan únicamente para indicar una dependencia en la secuencia lógica de las actividades normales, ejemplo:

Figura 12. Actividades ficticias



Fuente: Elaboración propia

3.1.4 Método de numeración de los eventos

Una vez que la red está formada, los eventos se numeran barriendo de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo, utilizando números pares, dejando los impares para el caso de que se haya omitido alguna actividad.

3.2 Reglas básicas para la construcción de una red de CPM-PERT

Para simplificar la elaboración de una red CPM-PERT se deberá seguir los 5 pasos que se enlistan a continuación:

1. Antes de que una actividad comience, todas las actividades precedentes deben estar terminadas.
2. Las flechas indican solamente precedencias lógicas.
3. Los números de los eventos no deben duplicarse.
4. Cualquiera de dos eventos puede estar directamente conectado por no más de una actividad.
5. La red tiene un solo evento o nodo inicial y uno final.

Un punto importante que debe observarse en el método es que consiste en un proceso abierto que permite diferentes grados de intervención por la dirección de acuerdo a las distintas necesidades y objetivos que se tienen en el proyecto.

3.3 Cálculo del tiempo de los eventos

Los eventos son un punto en el tiempo, sin duración y solamente suceden, por lo que el evento tendrá cuatro tiempos de ocurrencia.

3.3.1 Duración (D)

Representa la duración de la actividad en jornales o días de trabajo. Dentro del diagrama, la duración se dibuja dentro de un pequeño rectángulo debajo de cada actividad.

3.3.2 Ocurrencia más temprana o primer inicio (PI)

Es el tiempo más temprano en que puede iniciar una actividad, éste se calcula sumando la duración de la actividad al tiempo de ocurrencias más temprano anterior.

$$PI = PI_{\text{anterior}} + D$$

3.3.3 Ocurrencia más tardía o último inicio (UI)

Es el tiempo más tardío en que puede suceder un evento o actividad, éste se calcula restando la duración de la actividad al tiempo de ocurrencia más tardía posterior.

$$UI = UI_{\text{posterior}} - D$$

3.3.4 Tiempo cero

Es el final del día anterior al inicio del proyecto y punto de partida para el cálculo de todas las actividades en la red.

Una vez trazada la red, se procede a calcular los tiempos más próximos y tardíos de inicio y terminación para todos los eventos del proyecto; con estos datos se pueden obtener las holguras y determinar la ruta crítica del proyecto.

3.3.5 Holgura total (HT)

Es el tiempo libre que tienen una actividad no crítica dentro del que puede atrasarse o alargarse sin afectar la duración del proyecto pero afecta la iniciación más temprana de las actividades no críticas que le siguen.

Si la actividad iniciara en el tiempo más temprano posible y la actividad que le sigue terminara en el tiempo más tardío posible, se obtendría la mayor cantidad de tiempo libre para dicha actividad.

$$HT = UI_{\text{posterior}} - (PI_{\text{anterior}} + D)$$

3.3.6 Holgura libre (HL)

Es el tiempo libre o extra del que dispone una actividad no crítica en que puede atrasarse o extenderse sin afectar el inicio de la actividad que le sigue.

$$HL = PI_{\text{posterior}} - (PI_{\text{anterior}} + D)$$

3.4 Ruta crítica

Las actividades que forman la ruta crítica son aquellas que no tienen holgura, es decir, si existiese algún atraso en cualquiera de esas actividades, el proyecto en cuestión se atrasaría en igual medida, debido a que no se tendría más tiempo para ejecutar dicha actividad. Con la suma de las duraciones de estas actividades, se obtiene la duración total del proyecto.

Para determinar la ruta crítica es necesario identificar antes las actividades críticas. Para ello se requiere tener las ocurrencias más tempranas y las más tardías en el mismo diagrama. Para identificar la ruta crítica se debe buscar aquellas actividades en donde el

primer inicio es igual al último inicio ya que si estas actividades se demoran, ocurrirá un atraso en el tiempo de terminación del proyecto.

3.5 Elaboración de diagrama Gantt basado en el diagrama de red CPM-PERT

Al terminar los cálculos de la red, se debe proceder a la elaboración del diagrama de Gantt. Este se utiliza como un calendario para las personas que intervienen en el proyecto para que cada una de ellas se programe conforme a sus aportes al proyecto y así evitar las pérdidas de tiempo.

Cuando se elabora el diagrama de Gantt, debe hacerse tomando en cuenta las limitaciones existentes. Una de las principales limitaciones es el personal que no puede realizar, generalmente, dos trabajos simultáneamente y las holguras nos ayudan a tomar decisiones para establecer tiempo de inicio y fin de las actividades para poder solventar dichas limitaciones, siempre con el fin de evitar atrasos en las obras.

El procedimiento para elaborar un diagrama de Gantt al tomar como base los cálculos efectuados en el diagrama de red es el siguiente:

- ✓ Ordenar las actividades, colocar de primero las críticas. Se programan y se identifica su duración por medio de una barra.
- ✓ Después se consideran las actividades no críticas, se indican sus límites de tiempo de inicio de ocurrencia más temprano (primer inicio) y de terminación más tardío (última terminación).
- ✓ Cuando la holgura total de una actividad no crítica es igual a la holgura libre se puede programar en cualquier parte entre los tiempos de inicio más temprano y de terminación más tardío.
- ✓ Cuando la holgura libre de una actividad no crítica es menor a la holgura total, el inicio de dicha actividad se puede demorar en relación con su tiempo de inicio

más temprano, en una cantidad no mayor que el monto de su holgura libre, sin afectar las actividades inmediatamente sucesivas.

Ejemplo: se tienen las actividades para realizar una obra pequeña, puede ser una garita de seguridad por ejemplo, con estas actividades elaborar el diagrama CPM-PERT y en base a los datos obtenidos en dicho diagrama calcular la ruta crítica y hacer el diagrama de Gantt.

Tabla VII. Duración de actividades del ejemplo

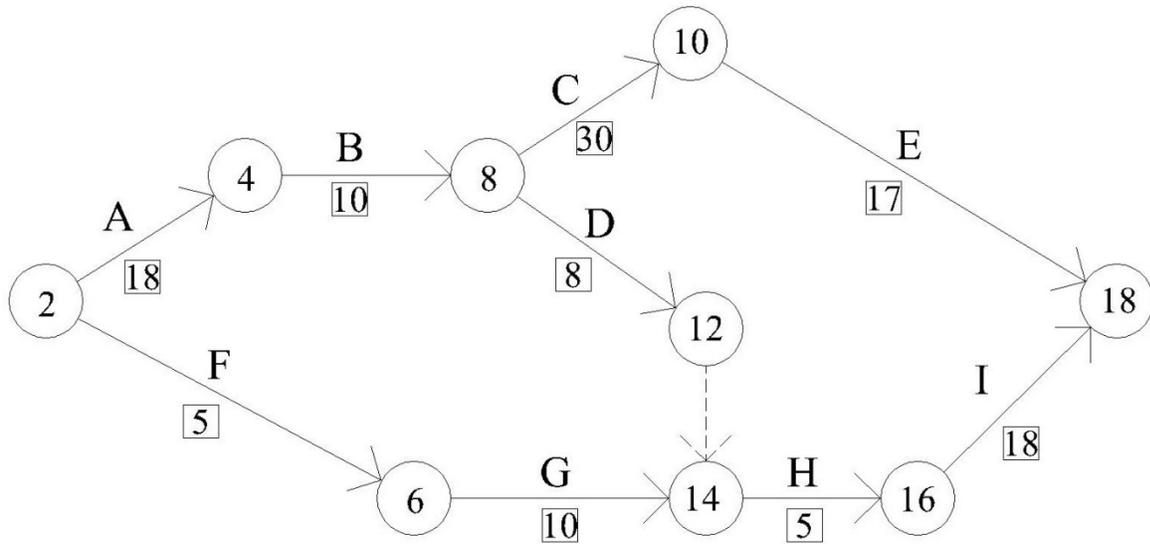
Descripción	Símbolo	Predecesora	Duración
Preliminares	A	-	18
Levantado de muros	B	A	10
Fundición de vigas y losas	C	B	30
Instalaciones	D	B	8
Acabados	E	C	17
Cimentación de obra exterior	F	-	5
Levantado obra exterior	G	F	10
Instalaciones obra exterior	H	G, D	5
Acabados obra exterior	I	H	2

Fuente: Elaboración propia

a) Hacer diagrama de red.

Con la simbología y reglas expuestas anteriormente, se procede a realizar el diagrama de red para las actividades de la obra en cuestión.

Figura 13. Diagrama de red del ejemplo



Fuente: Elaboración propia

b) Calcular los tiempos de cada evento.

Tabla VIII. Cálculo de holguras de las actividades del ejemplo

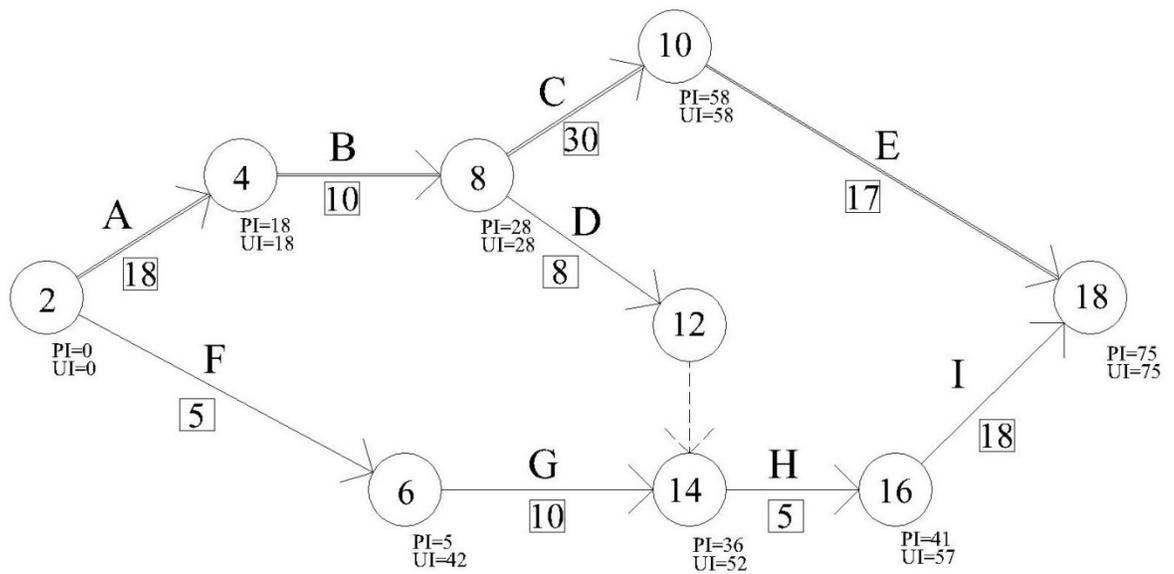
Actividad	Inicio	Fin	Duración	Ocurrencias				PI _{INICIO} + Duración	Holguras	
				PI _{INICIO}	UI _{INICIO}	PI _{FIN}	UI _{FIN}		HT	HL
A	2	4	18	0	0	18	18	18	0	0
B	4	8	10	18	18	28	28	28	0	0
C	8	10	30	28	28	58	58	58	0	0
D	8	12	8	28	28	36	52	36	16	0
E	10	18	17	58	58	75	75	75	0	0
F	2	6	5	0	0	5	42	5	37	0
G	6	14	10	5	42	15	52	15	37	0
H	14	16	5	36	52	41	57	41	16	0
I	16	18	18	41	57	59	75	59	16	0

Fuente: Elaboración propia

c) Determinación de la ruta crítica.

Con los datos obtenidos en el cálculo de holguras de las actividades, se procede a realizar el diagrama de ruta crítica, el cual muestra, con las flechas con doble línea cual es la ruta crítica en la cual no se pueden atrasar la ejecución de actividades.

Figura 14. Diagrama de ruta crítica del ejemplo



Fuente: Elaboración propia

d) Elaboración de diagrama de Gantt basado en el diagrama de red CPM-PERT.

Tabla IX. Diagrama de Gantt de las actividades del ejemplo

Actividad	Holguras		Días de duración de la obra																										
	HT	HL	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
A	0	0	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█									
B	0	0																			█	█	█	█	█	█	█	█	█
C	0	0																											
E	0	0																											
D	16	0																											
F	37	0	█	█	█	█	█																						
G	37	0					█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█									
H	16	0																											
I	16	0																											

Fuente: Elaboración propia

Actividad	Holguras		Días de duración de la obra																										
	HT	HL	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
A	0	0																											
B	0	0	■																										
C	0	0		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
E	0	0																											
D	16	0		■	■	■	■	■	■	■	■																		
F	37	0																											
G	37	0																											
H	16	0										■	■	■	■														
I	16	0															■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Actividad	Holguras		Días de duración de la obra																						
	HT	HL	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75		
A	0	0																							
B	0	0																							
C	0	0	■	■	■	■																			
E	0	0						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
D	16	0																							
F	37	0																							
G	37	0																							
H	16	0																							
I	16	0	■	■	■	■	■																		

Fuente: Elaboración propia

3.6 Ajustes de tiempo-costo

Cualquier proyecto de construcción se divide con facilidad en un número de procesos u operaciones, cada uno de los cuales puede realizarse mediante diferentes combinaciones de los métodos de construcción, del equipo, de los tamaños de las cuadrillas de obreros, y de las horas de trabajo. Los factores más importantes pueden ser el costo, el tiempo o ambos.

La primera impresión es que el costo directo de cada operación debe predominar, con el fin de que las tareas puedan terminarse con el costo total más bajo, pero el costo total del proyecto incluye todas las cargas indirectas y los gastos generales asociados a la ejecución completa de los trabajos, y éstos son proporcionales al tiempo.

El problema costo-tiempo tiene un número infinito de soluciones. Si el tiempo careciera de importancia, cada operación, se realizaría de forma que el costo directo fuese el más bajo. Si el costo no tuviera importancia cada proceso podría acelerarse con el fin de terminarlo en el menor tiempo posible. El acelerar un proceso puede aumentar su costo y reducir el tiempo, pero no puede reducir el tiempo total del proyecto a menos que sea una actividad en la cadena de la ruta crítica, por lo que se puede deducir entonces, que existe una relación entre la duración de una actividad y el costo de su ejecución.

La solución del problema tiempo-costo no es simple. Todos los costos varían con el tiempo, los costos directos tienden a disminuir si hay más tiempo disponible y los indirectos aumentan con el tiempo, para encontrar una solución real del proyecto, se deben hacer varios supuestos relacionados con la curva tiempo-costo:

El primero, es que cada actividad tiene alguna clase de relación tiempo-costo en la mayoría de los casos, pero podría haber alguna actividad que tuviera un costo fijo sin

importar el tiempo que se necesite para ejecutarla. El segundo es que la variación en los tiempos y costos es lineal, es decir, aumentan o disminuyen en forma proporcional. Por lo tanto, el equilibrio correcto entre tiempo y costo es lo que da la solución óptima.

La importancia en la planificación de la obra, consiste en fijar de antemano los costos de materiales, equipos y rendimientos de la mano de obra para una duración esperada del proyecto, haciendo los ajustes necesarios durante la ejecución.

3.7 Aplicación de *Ms Project* en la planificación tradicional

Ms Project es un paquete de software elaborado por *Microsoft* para satisfacer la necesidad de las empresas, organizaciones y personas privadas de administrar sus diversos proyectos.

Ofrece diversas ayudas incluyendo un mapa que lo lleva lo lleva de la mano y lo guía desde la definición hasta el cierre del proyecto. Además, contiene una guía para aprender mientras trabaja.

3.7.1 Funcionamiento del programa

Ms Project divide un proyecto en cuatro fases:

- ✓ Definir el proyecto
- ✓ Crear el plan
- ✓ Seguimiento y administración
- ✓ Cerrar el proyecto

Ms Project trabaja como CPM-PERT aunque el diagrama de flechas que prepara no cumple exactamente con las reglas de CPM-PERT. Una de las características más

sobresalientes de esto es que, los nodos en el diagrama del *Ms Project* son las actividades mismas.

El programa calcula y determina la ruta crítica y utiliza los valores optimista, pesimista y el aproximadamente real. Es decir, que trabaja en forma probabilística. La fórmula para calcular la duración promedio es:

$$\text{Promedio} = \frac{\text{pesimista} + 4\text{real} + \text{optimista}}{6}$$

Como se observa, la fórmula se utiliza para darle mayor influencia a determinado valor al realizar un promedio. En la fórmula de promedio presentada, el tiempo real pesa 4 veces más al realizar el promedio que lo que influyen el tiempo optimista y el pesimista.

A partir de la fecha inicial del proyecto y de las duraciones promedio estimadas para cada actividad, determina la ruta crítica.

Project realiza la programación del proyecto en forma automática. Las tareas inician y finalizan lo antes posible. Es decir, utiliza las ocurrencias más tempranas de inicio y fin de las tareas. Este facilita la tarea cuando se desea reprogramar o reducir la duración del proyecto. Además, permite asignar recursos a cada actividad y facilita una serie de reportes sobre el uso de los mismos.

3.7.2 Pasos a seguir en la programación

1. Establecer la fecha de inicio del proyecto.
2. Especificar las tareas: proporcionar su nombre.
3. Especificar la duración por tarea (estimaciones de tiempo)
4. Asignar recursos.

5. Vincular tareas (dependencia entre sí).
6. Plan de trabajo.
7. Perfeccionar el plan.
8. Establecer una línea base.
9. Introducir valores reales de ejecución.
10. Ajustar el plan: balance entre la duración de las tareas y los recursos (equipo y personas) – duración total del proyecto.

Basado en la fecha de inicio del proyecto y la duración de las tareas y sus dependencias, *Project* calcula el comienzo y el fin. Se recomienda que *Project* realice este cálculo. El usuario puede decidir la fecha de inicio de las tareas pero no es conveniente, ya que *Project* lo hace más eficientemente.

Ofrece la opción de tomar días laborales y especificar días de asueto que alteren el proyecto. Además, se pueden especificar fechas o condiciones que deben ocurrir antes que inicie una tarea.

Para ajustar el plan del proyecto, *Project* permite reducir la programación, reducir el costo de las tareas y los recursos y asegurar que los recursos pueden realizar el trabajo en el tiempo disponible. La reprogramación es sencilla cuando la realiza *Project*. Reprogramar en papel sin utilizar *Project* o cualquier otra herramienta de administración de proyectos es una tarea bastante larga.

3.7.3 Ventajas y desventajas

Ventajas:

- ✓ Herramienta confiable que permite realizar los cálculos exactos.
- ✓ Facilita la reprogramación del proyecto.

- ✓ Asiste en la reducción de costos de los recursos.
- ✓ Es amigable.
- ✓ Facilita la tarea de administración del proyecto.
- ✓ Permite administrar varios proyectos a la vez.
- ✓ Reduce el tiempo de programación y control.
- ✓ Facilita el control del proyecto.

Desventajas:

- ✓ El diagrama de flechas no cumple con condiciones de teoría de CPM – PERT.

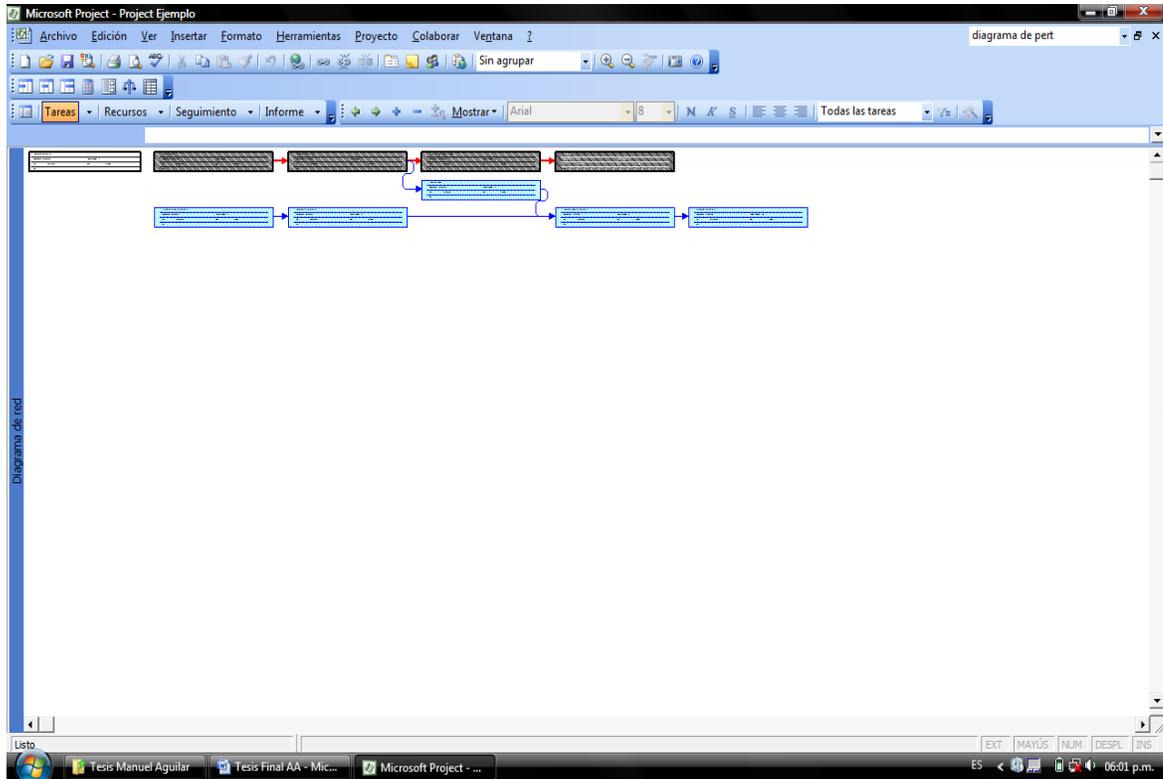
3.7.4 Diagramas generados por *Ms Project*

Ms Project, es capaz de generar distintos diagramas que despliegan la información necesaria para el planificador de obra, para ir evaluando el desempeño de la misma. Entre la información que se despliega en los diagramas están tareas, seguimiento de tareas, recursos, costos de obra, costo de ejecución, así como porcentajes de avance, entre otros.

Para obtener las siguientes gráficas, se siguen utilizando los mismos datos del ejemplo anterior, esto para mostrar las similitudes y diferencias que se obtienen en ambas formas de programar obras.

Como se observa en la figura 15, el diagrama de red muestra todas las tareas agrupándolas en dos grupos, las tareas críticas que se muestran en la parte superior en color negro y las tareas no críticas se muestran en la parte inferior del diagrama en color gris, para una fácil análisis de las tareas y así desde ese momento, empezar la administración del proyecto tomando con dicha información, las soluciones pertinentes para evitar el retraso del proyecto.

Figura 15. Diagrama de red con ruta crítica del ejemplo

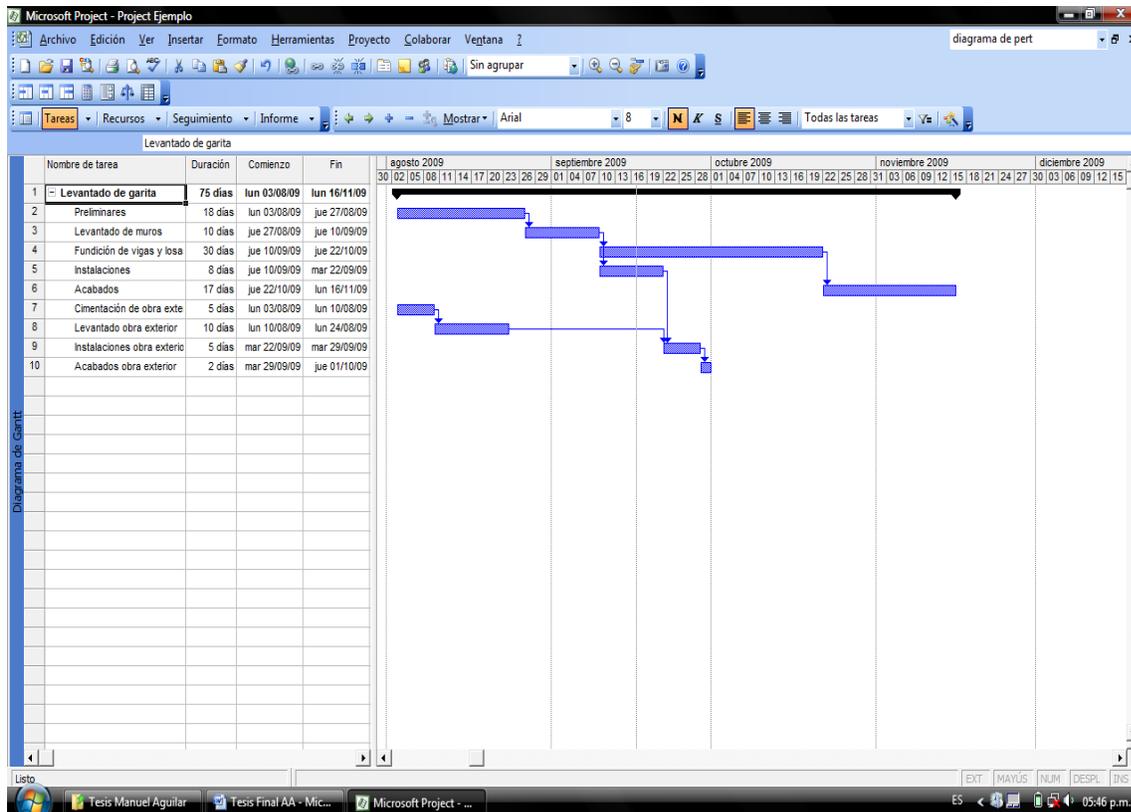


Fuente: Elaboración propia

En el diagrama de Gantt, mostrado en la figura 16, se observan las tareas, con su tiempo de duración, las fechas de inicio, finalización y la interdependencia entre cada una de las mismas. Con las dependencias mostradas se puede determinar la ruta crítica del proyecto.

En este diagrama se puede desplegar la información que se necesite, como recursos humanos, insumos, y recursos económicos entre otros para ir evaluando el desarrollo del proyecto.

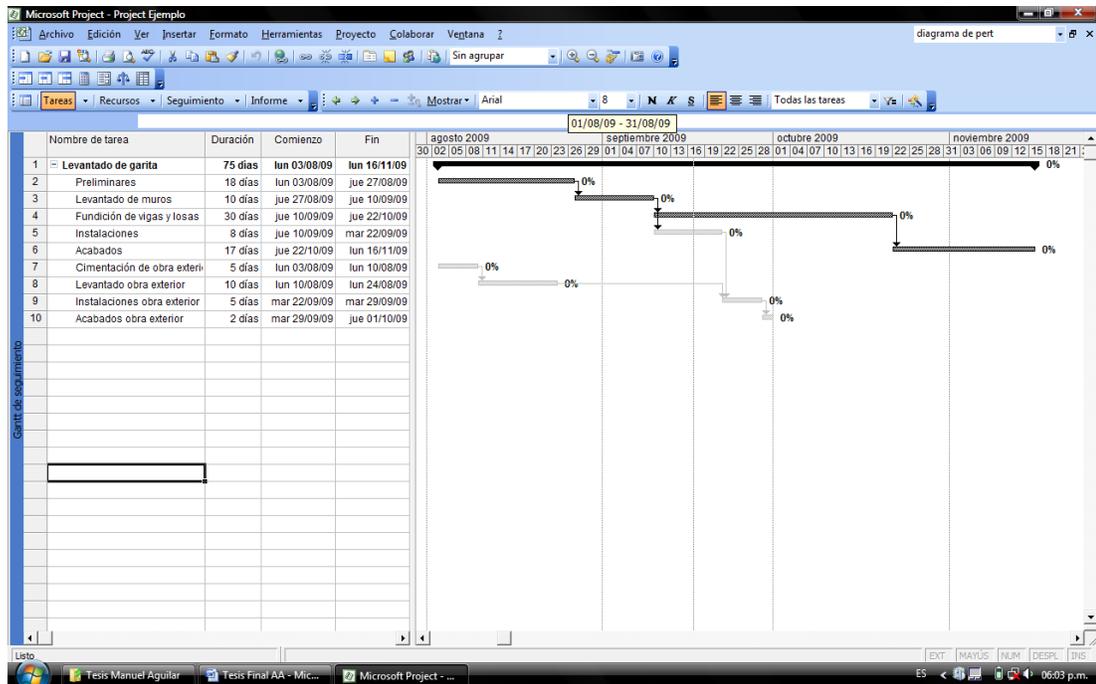
Figura 16. Diagrama de Gantt del ejemplo



Fuente: Elaboración propia

En la figura 17 se muestra el diagrama de Gantt de seguimiento, en el cual se observan las tareas, con su tiempo de duración, las fechas de inicio, finalización y la interdependencia entre cada una de las mismas, así como se puede ir viendo el porcentaje de avance de cada tarea y muestra también la ruta crítica, dicha ruta la conforman las tareas que están en negro.

Figura 17. Diagrama de Gantt de seguimiento del ejemplo



Fuente: Elaboración propia

Como se menciona anteriormente, *Ms Project* despliega diferentes tipos de diagramas y gráficas, según la necesidad del informe que se necesite analizar, entre las graficas que despliega Project, están:

- ✓ Diagrama de Gantt
- ✓ Diagrama de Red
- ✓ Gantt de seguimiento
- ✓ Uso de tareas
- ✓ Gráfico de recursos
- ✓ Hoja de recursos
- ✓ Uso de recursos
- ✓ Diagrama de Gantt optimista
- ✓ Diagrama de Gantt esperado
- ✓ Diagrama de Gantt pesimista.

4. SISTEMA DEL ÚLTIMO PLANIFICADOR

4.1 Definición

A lo largo de la historia la industria de la construcción ha rechazado las ideas del sector manufacturero puesto que se piensa que la construcción es diferente a las demás industrias llegando a la conclusión de que lo que es bueno para ellas no es bueno para ésta, en materia de planificación, control y ejecución de proyectos.

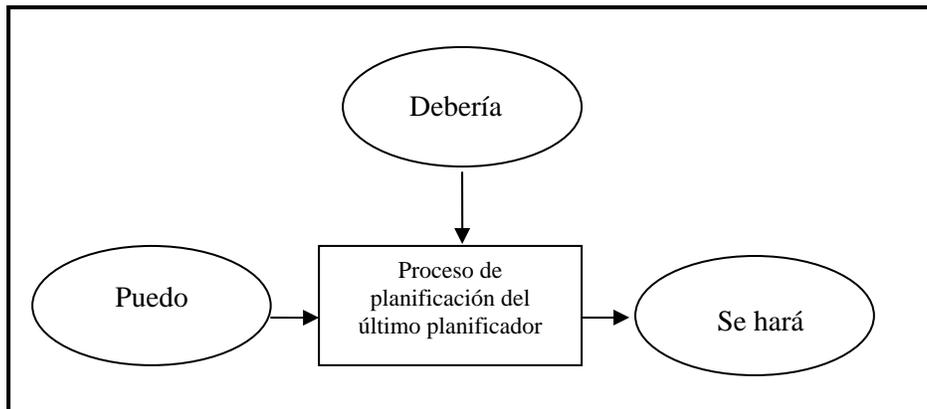
Dado a los avances tecnológicos, nuevos materiales de construcción, nuevas expectativas del cliente y la globalización del mercado, se han tenido que mejorar los procesos que se realizan a lo largo del desarrollo de un proyecto, es por eso que el diseño y la construcción necesitan de planeamiento y control realizado por diferentes personas, en lugares diferentes de la organización y en tiempos diferentes durante la vida del proyecto.

La planificación general tiende a enfocar los objetivos globales y las restricciones que guían el proyecto. Estos objetivos impulsan procesos de planeamiento más detallados que especifican los medios para lograr los objetivos. Siguiendo este proceso, por último, alguien (individuo o grupo) decide el plan de trabajo específico que vendrá ejecutado mañana. Las actividades de este plan vienen denominadas como asignaciones. Estos tipos de planes no impulsan la producción de planes sucesivos, más bien llevan a la ejecución directa del trabajo, la persona o grupo que realiza estas asignaciones se denomina el último planificador.

4.2 Debería - puedo - se hará - hecho

Los últimos planificadores dicen lo que se hará, que debe ser el resultado de un proceso de planificación que debería ser ejecutado en contraste con lo que puede ser ejecutado. A continuación se presenta en la figura 18 el funcionamiento básico del sistema.

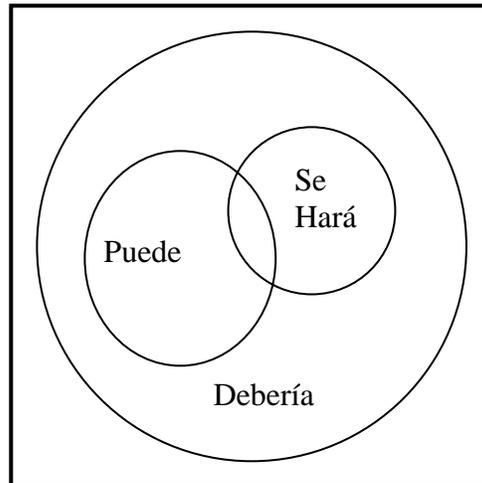
Figura 18. Formación de asignaciones dentro del sistema del último planificador



Fuente: Adaptado de Veliz Flores

Con base a este proceso de planificación, el último planificador tiene que tener cuidado en no caer en el error de no ver la diferencia entre deber y poder debido a que esto hace que crea que su responsabilidad es ejercer presión a los subordinados para poder culminar la asignación a tiempo sin tomar en cuenta las verdaderas restricciones que se tienen que solventar. Esto ocasiona la disolución de la secuencia en lo que se hará en base a lo que debería llevando al abandono de la planificación hecha inicialmente, incurriendo a planificaciones tentativas que pocas veces llegan a cumplirse.

Figura 19. Interacción de actividades planificadas. En la mayoría de los proyectos lo que puede y lo que se hará son ambos subconjuntos de lo que debería hacerse. Si el plan (se hará) se desarrolla sin saber lo que puede hacerse, el resultado será la intersección de ambos conjuntos.



Fuente: Adaptado de Alarcón, 2001

Para cumplir su objetivo el último planificador cuenta en su proceso de planificación con dos tipos de control generales:

- ✓ Control de la unidad de producción: la unidad de producción serán los trabajadores como los albañiles y su objeto es hacer progresivamente mejores asignaciones a los trabajadores directos mediante al aprendizaje continuo y las acciones correctivas.
- ✓ Control del flujo de trabajo: busca hacer que el trabajo fluya activamente a través de las unidades de producción para lograr objetivos más alcanzables.

El enfoque de dichos controles debe ser hacia los flujos de trabajo, debido que si se enfoca en controlar la unidad de producción se aumenta la incertidumbre y se priva a los trabajadores de la planificación como una herramienta para proyectarse hacia el futuro.

4.3 Componentes del sistema del último planificador

4.3.1 Programa maestro

El programa maestro se realiza en todo proyecto y contiene la planificación del proyecto así como el presupuesto del mismo. El programa maestro es la base del último Planificador para poder hacer las planificaciones intermedias, análisis de restricciones, inventarios de trabajo ejecutable y la planificación semanal conjunto al control de las unidades de producción y del flujo de trabajo. Es por eso que el programa maestro debe ser desarrollado con información que represente el verdadero desempeño que posee la empresa en obra ya que se estarán supervisando tareas que, en la realidad, representan la forma en que trabaja la empresa.

4.3.2 Planificación intermedia

La planificación intermedia es el segundo nivel de jerarquía del sistema del último planificador y elabora las actividades que debería hacerse en un futuro cercano. Su objetivo es controlar el flujo de trabajo siendo este la coordinación de diseño (planos), proveedores (materiales y equipos), recurso humano, información y requisitos previos que son necesarios para que la unidad de producción cumpla su trabajo asignado. El proceso de planificación intermedia tiene múltiples funciones entre las que se encuentran:

1. Formar la secuencia del flujo de trabajo y calcular su costo.
2. Proponer el flujo de trabajo y su capacidad.
3. Descomponer las actividades del programa maestro en paquetes de programas y operaciones de trabajo de más fácil manejo.
4. Desarrollar métodos detallados para la ejecución del trabajo.
5. Mantener un inventario de trabajo ejecutable.

6. Poner al día y revisar los programas del nivel superior.

Las funciones antes mencionadas deben ser cumplidas por ciertos procesos específicos:

- ✓ Definición de actividades.
- ✓ Análisis de restricciones.
- ✓ Arrastrar el trabajo desde las unidades de producción superiores.
- ✓ Balancear la carga con la capacidad.

Para poder hacer una buena planificación intermedia deben de seguirse los siguientes procesos:

4.3.2.1 Definición del intervalo de tiempo de la planificación intermedia

La planificación intermedia se basa en un grupo potencial de asignaciones para las siguientes 3 a 12 semanas. El número de semanas sobre el cual se extiende esta planificación Intermedia es decidido basado en las características del proyecto, la confiabilidad del sistema de planificación, y el tiempo de respuesta en la adquisición de información, materiales, mano de obra y maquinaria. Además, la planificación intermedia no es fácil de determinar del programa maestro. De hecho, es frecuentemente beneficioso formar un equipo que esté haciendo el trabajo de proyectar colectivamente el programa maestro para la próxima fase del proyecto.

Empresas a nivel mundial que están implementando estos nuevos procesos de planificación, han sistematizados sus procesos de planificación intermedia a intervalos de cuatro semanas para poder comparar de una mejor forma sus resultados.

4.3.2.2 Definición de las actividades de la planificación intermedia

Las actividades que irán dentro de la planificación intermedia se obtienen de las actividades que están dentro del intervalo definido en el programa maestro. Estas actividades dentro de la planificación intermedia se detallan de tal forma que permite clarificar de mejor forma sus restricciones, y éstas determinan si la tarea puede o no ejecutarse.

Después de identificar cada una de las tareas y sus restricciones dentro de la planificación intermedia se procede a realizar el análisis de las restricciones.

4.3.2.3 Análisis de restricciones

Una restricción es algo que limita la manera en que una tarea es ejecutada, la restricción involucra requisitos previos o recursos tales como contrato, diseño, materiales, prerrequisitos de trabajo, espacio, equipos, mano de obra, otros. Además de las restricciones nombradas, pueden existir otras que sean apropiadas para un proyecto en particular: permisos, inspecciones y aprobaciones, etc.

Una vez que las asignaciones sean identificadas, se someterán a un análisis de restricciones, similar al de la tabla X.

TABLA X. Ejemplo de un estado de asignaciones (inventario de trabajo realizable). Selección de asignaciones: Estado de restricciones. Unidad de producción

Actividad	Diseño	Materiales	Mano de obra	Equipos	Pre-requisitos
A	Si	No	Si	Si	Si
B	No	Si	Si	Si	No
C	Si	No	Si	Si	Si

D	Si	No	No	Si	No
E	Si	Si	Si	Si	Si
F	Si	No	Si	Si	No

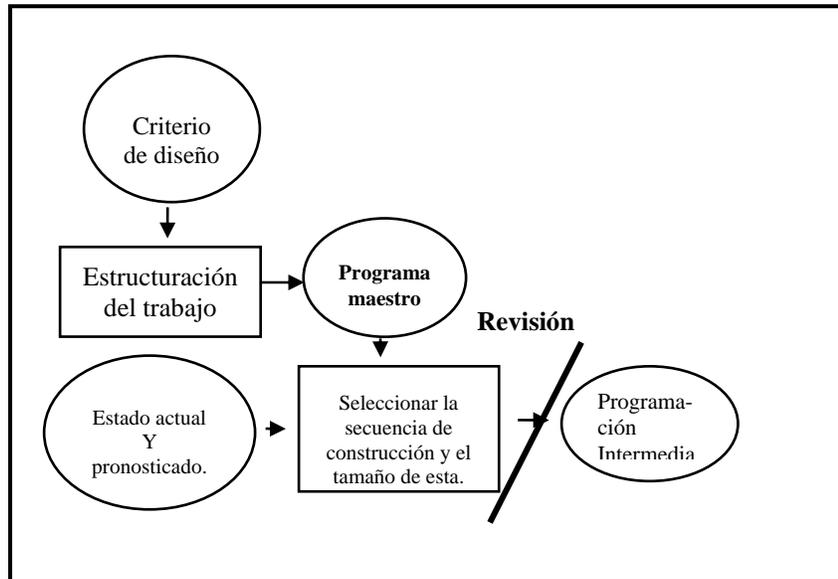
Fuente: Elaboración propia

Hay que dejar en claro que el análisis de restricciones no sólo involucra poner un “Si” o un “No”, ya que detrás de eso existen dos procesos claves para poder liberar las restricciones, éstos son: revisión de las restricciones y preparación de las restricciones.

- ✓ Revisión de las restricciones: tal y como su nombre lo dice consiste en determinar el estado de las restricciones de la asignación, para ver la probabilidad de que sean removidas dichas restricciones y así poder poner la asignación en el inventario de tareas ejecutables. En la revisión de restricciones se tiene la primera oportunidad que se presenta en el sistema para comenzar a estabilizar el flujo de trabajo, ya que se esta tomando conocimiento que existen actividades que, llegado el momento de ejecutarlas, no podrían realizarse por tener restricciones que lo impiden. La figura 20, muestra que la labor del proceso de revisión es filtrar por última vez la información que entrará en la planificación intermedia.

La revisión se repite en cada ciclo de planificación, cuando el planificador actualiza la planificación intermedia y se adelanta para la próxima semana. Posteriormente vienen revisiones de las restricciones de las tareas que se encuentran dentro del intervalo de planificación intermedia, la cual tiene como objetivo determinar el estado en que se encuentran éstas.

Figura 20. Revisión de actividades antes de la planificación intermedia



Fuente: Adaptado de Alarcón, 2001

- ✓ Preparación de restricciones: Aquí se toman las acciones necesarias para remover las restricciones de las tareas, para que así estén dispuestas para comenzar en el momento fijado. La preparación es un proceso que tiene 3 pasos:
 1. Confirmar el tiempo de respuesta: La confirmación del tiempo de respuesta debe ser hecho con la persona responsable de la restricción (proveedor, unidad de trabajo, diseñador, etc.). El tiempo de respuesta debe ser menor al tiempo que se tiene para empezar la actividad dentro de la planificación intermedia. La confirmación de los tiempos de respuesta es parte del proceso de revisión y debe ser repetido durante la actualización semanal del programa de planificación intermedia.
 2. Arrastrar: El segundo paso del proceso de preparación es conocido como arrastre, que significa pedirle al proveedor certeza sobre las necesidades para completar con prontitud la actividad que comienza.

3. Apresurar: Si el tiempo de respuesta anticipado es demasiado largo, entonces puede ser necesario asignar recursos adicionales para acortarlos.

La idea fundamental es liberar a la tarea de las restricciones que le impiden ser ejecutada. Hecho esto se está en condiciones de crear un listado de tareas que tiene alta probabilidad de ser cumplido, el inventario de trabajo ejecutable ITE.

4.3.2.4 Inventario de trabajo ejecutable (ITE)

El inventario de trabajo ejecutable es un listado con las tareas que salen de la planificación intermedia, que son aquellas actividades a las cuales se les ha dejado libre de sus restricciones y están listas para ser ejecutadas.

Dentro del inventario de trabajo ejecutable pueden existir los siguientes tipos de actividades:

- ✓ Actividades con restricciones liberadas que pertenecen al ITE de la semana en curso que no pudieron ser ejecutadas.
- ✓ Actividades con restricciones liberadas que pertenecen a la primera semana futura que se desea planificar.
- ✓ Actividades con restricciones liberadas con dos o más semanas futuras (situación ideal de todo planificador)

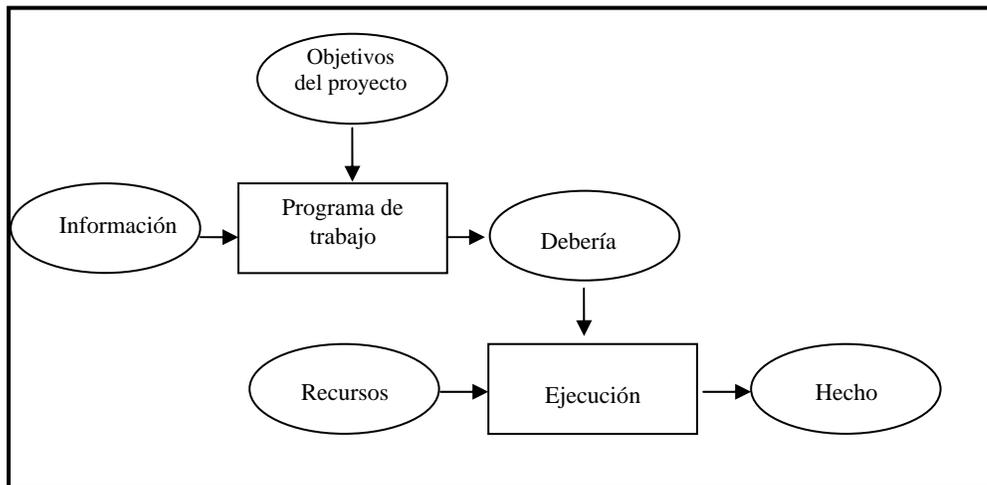
Cuando se tienen definidas las actividades del inventario del trabajo ejecutable se procede a crear el plan de trabajo semanal (PTS), que no es más que el plan que contiene las actividades que se realizarán la semana siguiente.

4.3.3 Planificación de trabajo semanal

Esta planificación la realizan los administradores de obra, supervisores de terreno, maestros de obra y otras personas que supervisan directamente la ejecución del trabajo.

A diferencia de la gestión de proyectos tradicional que hace la planificación semanal en términos de lo que se debe hacer sin saber si se puede hacer y que hasta después que se ha planificado se reúnen los recursos, materiales y requisitos es muy poco probable que se lleve a cabo dicha planificación, es por eso que el último planificador al hacer su proceso de planificación, trata de tener todo listo, para que se haga lo que puede ser hecho.

Figura 21. Sistema de planificación tradicional por empuje de actividades



Fuente: Adaptado de Alarcón, 2001

4.3.3.1 Formación del plan de trabajo semanal

Como podemos ver, el PTS se forma solo con las tareas del ITE puesto que son las únicas tareas que pueden garantizar el flujo constante de producción sin caer a incertidumbres por falta de certeza. A estas tareas se les conoce como asignaciones de

calidad y el PTS es efectivo solo cuando las asignaciones de calidad cumplen con los siguientes 5 criterios de calidad:

1. Definición: Las asignaciones deben ser lo suficientemente claras para que puedan ser realizadas sin ningún problema y así poder estar seguros que al final de la semana dicha tarea estará concluida.
2. Consistencia: Todos los prerrequisitos deben estar listos, así como no debe haber ni una sola restricción, todas las tareas deben ser ejecutables y acordes a lo que se tiene como objetivo cumplir en esa semana.
3. Secuencia: Las asignaciones se deben ir tomando con un orden lógico de secuencia, tomando como base la secuencia provista por la red CPM-PERT, y éstas deben seguir a las anteriores en orden así como éstas serán predecesoras de las tareas de la próxima semana, esto hace que el PTS sea consecuente.
4. Tamaño: El tamaño de las asignaciones debe ser tal que no sean demasiadas que hagan que no se puedan completar las tareas, ni deben ser pocas que se puedan completar fácilmente y las unidades de producción queden ociosas.
5. Retroalimentación o aprendizaje: Hay que evaluar las causas por las cuales no se llevo a completar alguna tarea del PTS y buscar sus medidas correctivas, para no caer en el mismo error más adelante.

4.3.3.2 Control de las unidades de producción

Para tener control de las unidades de producción se utiliza el porcentaje de actividades completadas que no es más que el número de actividades planificadas

completadas dividido por el número total de actividades planificadas, expresado como porcentaje.

El PAC refleja el compromiso del supervisor de planificación puesto que esta es la persona encargada de revisar todas las actividades y sus restricciones. El análisis del PAC puede proporcionar las razones del no cumplimiento y así poder tomar las medidas correctivas para poder hacer una mejora continua.

La primera medida necesaria para el mejoramiento es la identificación de las causas de no cumplimiento, por los supervisores, Ingenieros residentes o los constructores, directamente responsables de la ejecución del plan. Los motivos podrían ser:

- ✓ Órdenes o información defectuosa proporcionada al último planificador; por ejemplo el sistema de información incorrectamente indicó que el trabajo previamente necesario estaba terminado.
- ✓ Fracaso en aplicar criterios de calidad de asignaciones; por ejemplo planificar demasiado trabajo.
- ✓ Fracaso en coordinación de recursos compartidos; por ejemplo carencia de una grúa en el momento preciso.
- ✓ Cambio de prioridad; por ejemplo los trabajadores fueron asignados temporalmente a una tarea urgente.
- ✓ Error de diseño o error de alguna especificación descubierta en el intento de realizar una actividad planificada.

Esto proporciona los datos necesarios iniciales para el análisis y la mejora del PAC, y por consiguiente para mejorar el rendimiento del proyecto.

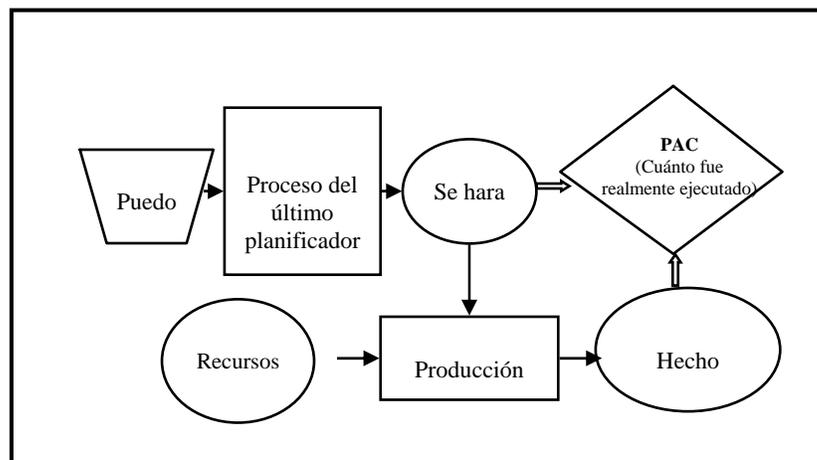
Tabla XI. Ejemplo de control de las unidades de producción

Ítem	Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
			Planificado	Real	SI	NO	
1	A	A. Pérez	80	60		X	Razón A
2	B	D. González	100	100	X		
3	C	A. Pérez	40	20		X	Razón B
4	D	D. González	20	20		X	Razón C
5	E	A. Pérez	100	100	X		
6	F	D. González	100	100	X		
# actividades Completadas			9				
% de cumplimiento (PAC)			60%				

Fuente: Elaboración propia

El PAC evalúa hasta qué punto el sistema del último planificador fue capaz de anticiparse al trabajo que se haría en la semana siguiente. Es decir, compara lo que será hecho según el plan de trabajo semanal con lo que realmente fue hecho, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación.

Figura 22. Medición del desempeño del último planificador.



Fuente: Adaptado de Alarcón, 2001

4.3.4 Reunión de planificación semanal (RPS)

La reunión de planificación semanal, preferentemente debe hacerse la semana anterior al de la planificación, y los asistentes deben ser todos los involucrados con prerequisites y todas las que tengan que ver con restricciones, ya que los propósitos de ésta reunión son:

- ✓ Revisar y aprender del PAC de la semana anterior.
- ✓ Analizar las causas de no cumplimiento.
- ✓ Tomar acciones para mitigar las causas de no cumplimiento.
- ✓ Analizar y comparar los objetivos alcanzados contra los propuestos por el proyecto.
- ✓ Determinar las actividades que entran en la planificación Intermedia, analizando y responsabilizando las restricciones de cada tarea ingresada.
- ✓ Realizar un adecuado análisis de las restricciones (revisión y preparación).
- ✓ Determinar el ITE para la próxima semana.
- ✓ Formular el plan de trabajo para la semana siguiente.
- ✓ Determinar la preparación necesaria a desarrollar en la semana en curso.

En cada reunión semanal se debe discutir abiertamente la planificación intermedia, el inventario de trabajo ejecutable y la planificación semanal, sin imponer órdenes por parte del coordinador, esto hará que los últimos planificadores se sientan partícipes dentro de la planificación de la obra.

4.3.4.1 Estructura de la reunión de planificación semanal

Para asegurar que se cumpla el propósito de la reunión, es aconsejable tener un orden lógico y se propone la siguiente estructura:

- ✓ Se empieza analizando el PAC de la semana anterior, las causas de no cumplimiento, tomando acciones correctivas inmediatamente si es posible.
- ✓ Se analiza el cumplimiento de las tareas pendientes de la semana anterior.
- ✓ Se realiza un análisis comparativo entre los objetivos alcanzados y los propuestos por el proyecto, aclarando las responsabilidades de todos los involucrados.
- ✓ Se estudia el análisis de restricciones para las tareas que entran en la semana siguiente.
- ✓ Se crea el ITE con las actividades que poseen todas sus restricciones liberadas, más las tareas pendientes de la semana anterior.
- ✓ Con la planificación intermedia de la semana anterior y teniendo en cuenta el ITE preparado de la semana siguiente, cada último planificador entrega las tareas para la semana siguiente y se discute la que en definitiva se realizará, analizando secuencia, responsables, carga de trabajo (si son capaces de ejecutarlo) y si el trabajo seleccionado es adecuado.
- ✓ El coordinador se compromete a entregar al siguiente día el programa semanal a cada último planificador.
- ✓ Además se discute el estado de las otras actividades dentro de la planificación intermedia en relación a sus restricciones (se discute con cada responsable), lo anterior con el objetivo de poder liberarlas en lo posible con dos semanas de anticipación o para dar soluciones que faciliten esta liberación.
- ✓ Luego, y teniendo presente las tareas que cada último planificador entrega como tentativas para ingresar a la planificación intermedia, se verifican las que realmente entrarán a la PI contrastándolas con el programa maestro.
- ✓ Posteriormente se asignan los responsables de liberar las restricciones de las nuevas tareas ingresadas a la planificación intermedia.
- ✓ Teniendo la nueva planificación intermedia, el coordinador la entregará a más tardar al día siguiente a cada último planificador.
- ✓ Por último se destaca el compromiso que asume cada último planificador haciendo referencia que es la instancia más importante de la reunión.

4.3.4.2 Información necesaria en la RPS

El planificador y el último planificador deben llevar cierta información para que la reunión cumpla con su propósito, y la información necesaria es:

El último planificador:

- ✓ Lleva a la reunión su PAC y causas de no cumplimiento, adicionalmente entrega una primera opinión de las causas de no cumplimiento.
- ✓ La información del estado del trabajo.
- ✓ Lista tentativa de las tareas para la próxima semana
- ✓ Una revisión del estado de restricciones de las tareas que se le asignaron dentro de la planificación intermedia.
- ✓ Listado de las tareas que entrarán en el proceso de PI, además de la PI de la semana anterior.

Planificador:

- ✓ Lleva programa maestro y la planificación intermedia.
- ✓ Lleva una comparación entre los objetivos logrados y los propuestos por el proyecto, con el objetivo de marcar claramente las directrices del funcionamiento de cada unidad productiva.
- ✓ Actualiza y lleva el ITE.

4.3.4.3 Resumen ejecutivo de una buena reunión de planificación semanal

Las personas que tienen que estar en la reunión de planificación semanal son:

- ✓ Administrador de obra
- ✓ Planificador y último planificador
- ✓ Supervisión y maestro de obra
- ✓ Representante de la oficina técnica
- ✓ Subcontratistas
- ✓ Bodeguero

Revisión de la semana anterior

- ✓ Controlar el cumplimiento de las actividades
- ✓ Calcular el PAC
- ✓ Determinar las causas de no cumplimiento
- ✓ Tomar acciones correctivas para las causas de no cumplimiento
- ✓ Definir actividades pendientes
- ✓ Tomar acciones correctivas para recuperar atrasos, principalmente con las actividades críticas

Preparación de programa semanal

- ✓ Revisar el estado de restricciones de la PI anterior
- ✓ Definir el nuevo inventario de trabajo ejecutable
- ✓ Contrastar el inventario con el programa propuesto por el último planificador
- ✓ Definir el programa semanal, adquiriendo compromisos y dejando actividades en espera por si existe algún inconveniente con las planificadas.
- ✓ Actualización del PI
- ✓ Presentación del nuevo PI por parte del planificador de la obra
- ✓ Revisar el estado de restricciones del nuevo PI

- ✓ Definir un responsable para la liberación de restricciones, definiendo las acciones para esto.

Documentos e información que deben traer los asistentes:

Planificador

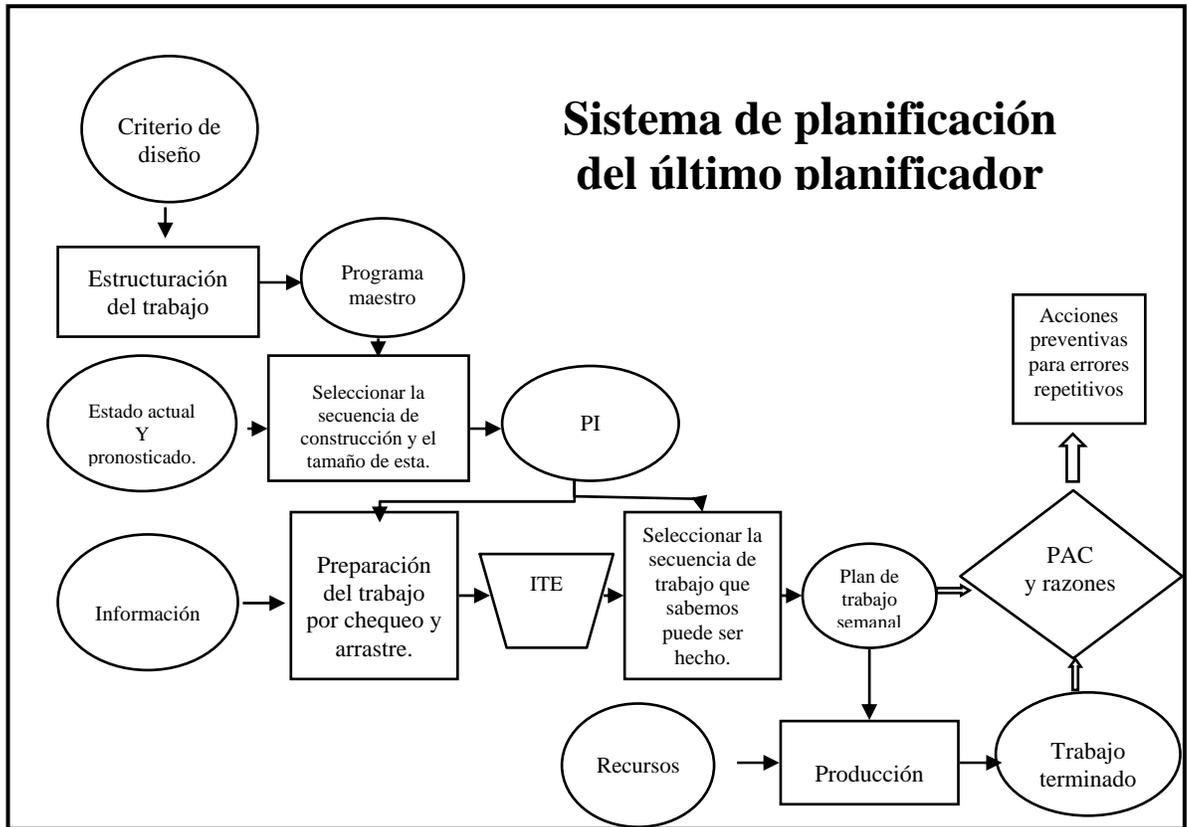
- ✓ Programa maestro
- ✓ PI antiguo
- ✓ PI nuevo tentativo
- ✓ Posterior a la reunión entrega el PI definitivo a los asistentes
- ✓ Posterior a la reunión entrega el plan semanal definitivo a los asistentes

Último planificador

- ✓ PAC
- ✓ Causas de no cumplimiento
- ✓ Propuestas de soluciones a causas de no cumplimiento
- ✓ Información del estado de trabajo
- ✓ Estado de liberación de restricciones bajo su responsabilidad
- ✓ Plan de trabajo tentativo
- ✓ Plan intermedio anterior

En la figura 23 se ve de forma global el sistema del último planificador con sus distintos elementos.

Figura 23. Sistema del último planificador como un todo



Fuente: Adaptado de Alarcón, 2001

5. CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se muestran los procesos de cada uno de los dos sistemas de planificación con sus respectivos resultados y por último el análisis comparativo de dichos resultados.

5.1 Localización del proyecto

Residenciales Altos de San Ángel, km 4.5 carretera a Chinautla, departamento de Guatemala.

5.2 Características estructurales de las casas

Se utilizó una mezcla típica de concreto fluido de 210 kg/cm^2 :

1. Cemento: 347 kg
2. Agua: 205 kg
3. Relación a/c: 0.59
4. Agregado grueso: 3/8" (9.5 mm), 793 kg (46%)
5. Agregado fino: 932 kg (54%)
6. Aditivos:
 - a. Retardante reductor de agua: 1.5 ml/kg de cemento
 - b. Fluidificante aplicado en obra: 5 ml/kg de cemento

El acero de refuerzo es de 23 kg/m^2 .

5.3 Selección de las muestras

Dado que el tiempo de construcción de dichas casas es relativamente corto en comparación con el tiempo de construcción de casas de mampostería, se tomaron dos muestras de 2 casas cada una. La muestra 1 será construida con el sistema de planificación tradicional CPM-PERT y la muestra 2 será construida con el sistema del último planificador, para poder hacer representativo el análisis comparativo entre ambas muestras.

5.4 Planificación tradicional

A continuación se encuentra el listado de actividades de la obra.

Tabla XII. Lista de actividades de cada casa

LISTADO DE ACTIVIDADES DE CADA CASA

Descripción	Símbolo	Predecesora	Duración en días
Preliminares			
Topografía y limpieza	A		1
Nivelación de plataformas	B	A	1
Trazo y zanjeo	C	B	3
Hacer la armadura para cimentación, columnas y vigas	D		5
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)	E	C	2
Pruebas en instalaciones	F	E	1
Cimentación			
Colocación de armadura para cimentación	G	D,F	1

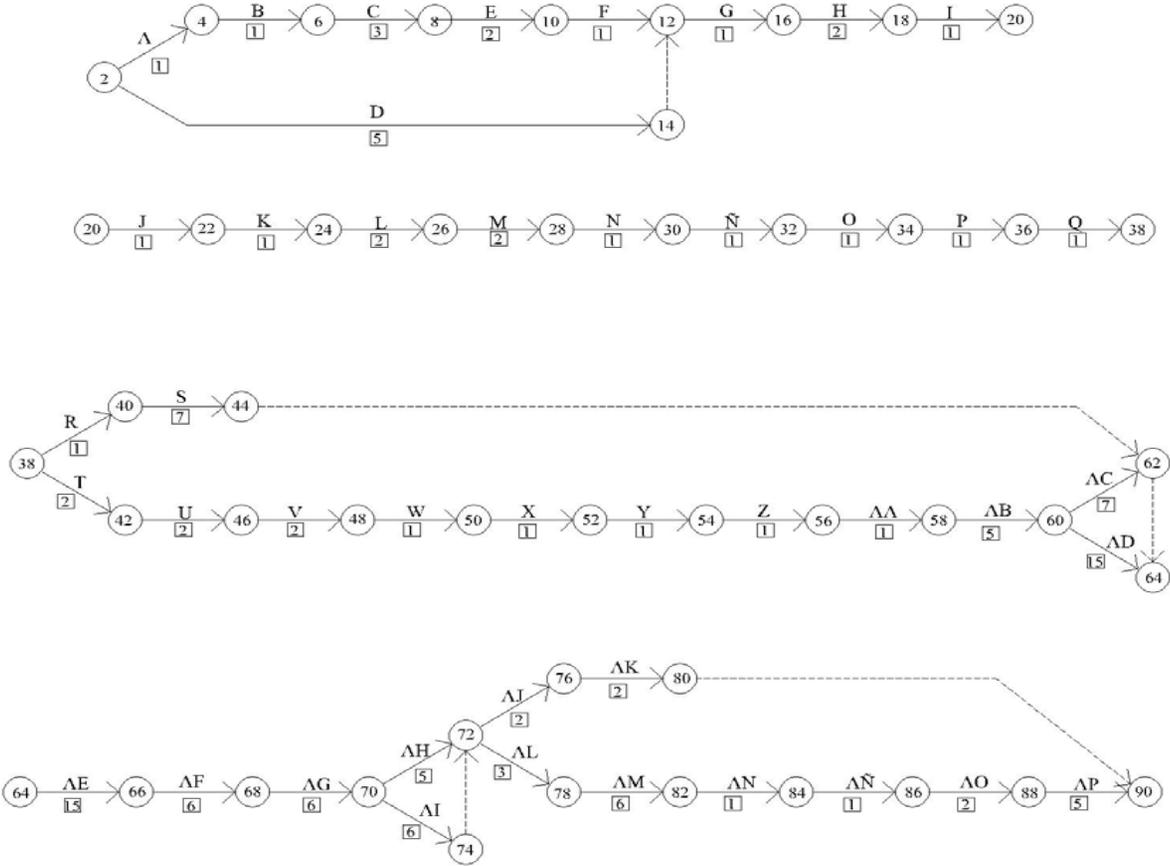
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)	H	G	2
Pruebas en instalaciones	I	H	1
Fundición de cimentación	J	I	1
Nivelación de cimentación	K	J	1
Obra gris del primer nivel			
Trazado y colocación de electromalla	L	K	2
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)	M	L	2
Pruebas en instalaciones	N	M	1
Colocación de formaleta	Ñ	M	1
Armado de losas	O	Ñ	1
Fundición de muro-losa y gradas	P	O	1
Desencofrado	Q	P	1
Nivelación de entrepiso	R	Q	1
Curado	S	R	7
Obra gris del segundo nivel			
Construir andamios	T	Q	2
Trazado y colocación de electromalla	U	T	2
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas.)	V	U	2
Pruebas en instalaciones	W	V	1
Colocación de formaleta	X	W	1
Armado de losa	Y	X	1
Fundición de muro-losa	Z	Y	1
Desencofrado	AA	Z	1
Mezclón y pañuelos en losa	AB	AA	5
Curado	AC	AB	7
Detalles y acabados			
Resane grueso	AD	AC	15
Resane fino	AE	S, AD	15

Texturizado y empastado del Primer Nivel	AF	AE	6
Texturizado y empastado del Segundo Nivel	AG	AF	6
Colocación de piso y azulejo	AH	AG	5
Instalación de puertas y ventanas	AI	AG	6
Colocación de artefactos sanitarios	AJ	AH, AI	2
Colocación de artefactos eléctricos	AK	AJ	2
Obra exterior			
Trazo y zanqueo	AL	AH, AI	3
Instalación de drenajes (cajas y conexión domiciliar)	AM	AL	6
Pruebas de drenajes (cajas y conexión domiciliar)	AN	AM	1
Fundición de obras exteriores (patios, carrileras)	AÑ	AN	1
Jardinización	AO	AÑ	2
Limpieza y recepción de vivienda	AP	AO	5

Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Diagrama de red

Figura 24. Diagrama de red de cada casa



Fuente: Elaboración propia

5.4.2 Cálculo de los tiempos de los eventos

Tabla XIII. Cálculo de los tiempos de los eventos

Actividad	Inicio	Fin	Duración	Ocurrencias				PI _{INICIAL} + Duración	Holguras	
				PI _{INICIO}	UI _{INICIO}	PI _{FIN}	UI _{FIN}		HT	HL
A	2	4	1	0	0	1	1	1	0	0
B	4	6	1	1	1	2	2	2	0	0
C	6	8	3	2	2	5	3	5	0	0
D	2	14	5	0	3	8	8	5	3	3
E	8	10	2	5	5	7	7	7	0	0
F	10	12	1	7	7	8	8	8	0	0
G	12	16	1	8	8	9	9	9	0	0
H	16	18	2	9	9	11	11	11	0	0
I	18	20	1	11	11	12	12	12	0	0
J	20	22	1	12	12	13	13	13	0	0
K	22	24	1	13	13	14	14	14	0	0
L	24	26	2	14	14	16	16	16	0	0
M	26	28	2	16	16	18	18	18	0	0
N	28	30	1	18	18	19	19	19	0	0

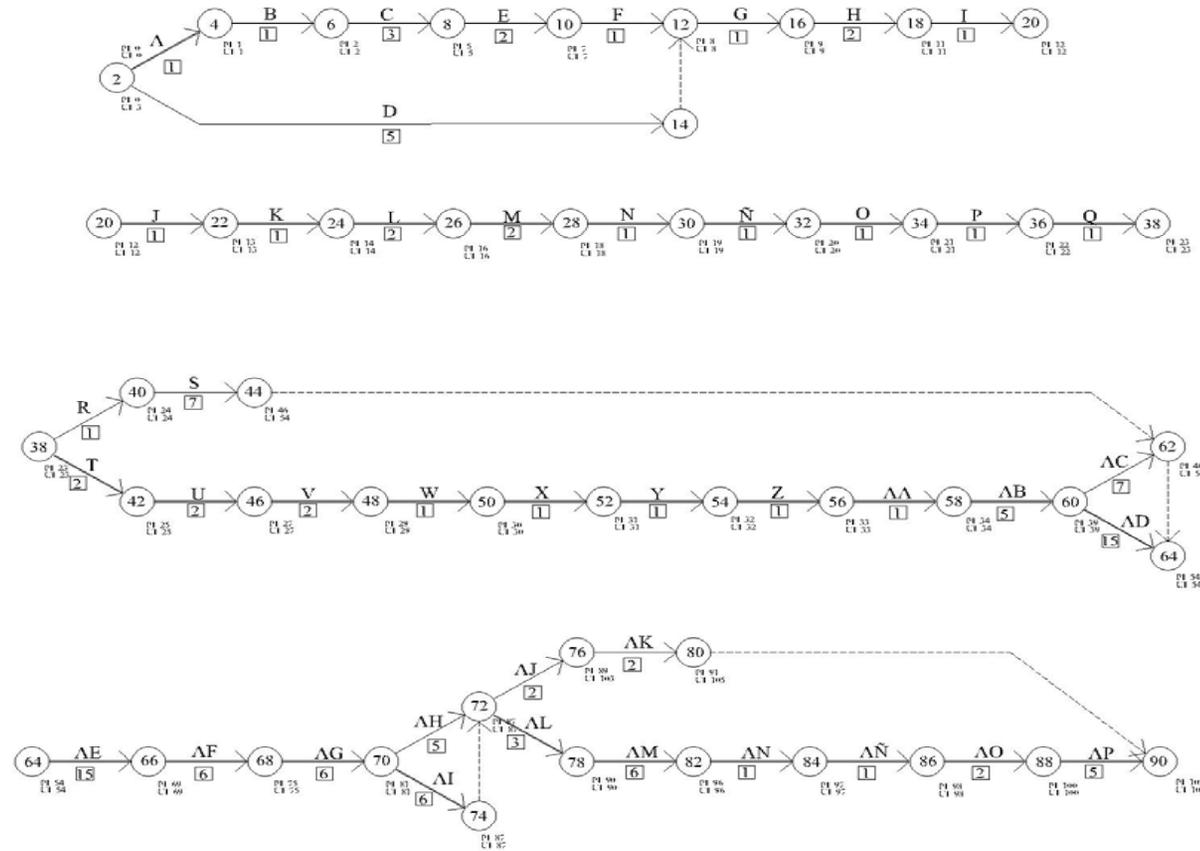
Ñ	30	32	1	19	19	20	20	20	0	0
O	32	34	1	20	20	21	21	21	0	0
P	34	36	1	21	21	22	22	22	0	0
Q	36	38	1	22	22	23	23	23	0	0
R	38	40	1	23	23	24	39	24	15	0
S	40	44	7	24	39	46	54	31	23	15
T	38	42	2	23	23	25	25	25	0	0
U	42	46	2	25	25	27	27	27	0	0
V	46	48	2	27	27	29	29	29	0	0
W	48	50	1	29	29	30	30	30	0	0
X	50	52	1	30	30	31	31	31	0	0
Y	52	54	1	31	31	32	32	32	0	0
Z	54	56	1	32	32	33	33	33	0	0
AA	56	58	1	33	33	34	34	34	0	0
AB	58	60	5	34	34	39	39	39	0	0
AC	60	62	7	39	39	46	54	46	8	0
AD	60	64	15	39	39	54	54	54	0	0
AE	64	66	15	54	54	69	69	69	0	0
AF	66	68	6	69	69	75	75	75	0	0
AG	68	70	6	75	75	81	81	81	0	0

AH	70	72	5	81	81	86	87	86	1	0
AI	70	74	6	81	81	87	87	87	0	0
AJ	72	76	2	87	87	89	103	89	14	0
AK	76	80	2	89	103	105	105	91	14	14
AL	72	78	3	87	87	90	90	90	0	0
AM	78	82	6	90	90	96	96	96	0	0
AN	82	84	1	96	96	97	97	97	0	0
AÑ	84	86	1	97	97	98	98	98	0	0
AO	86	88	2	98	98	100	100	100	0	0
AP	88	90	5	100	100	105	105	105	0	0

Fuente: Elaboración propia

5.4.3 Determinación de la ruta crítica

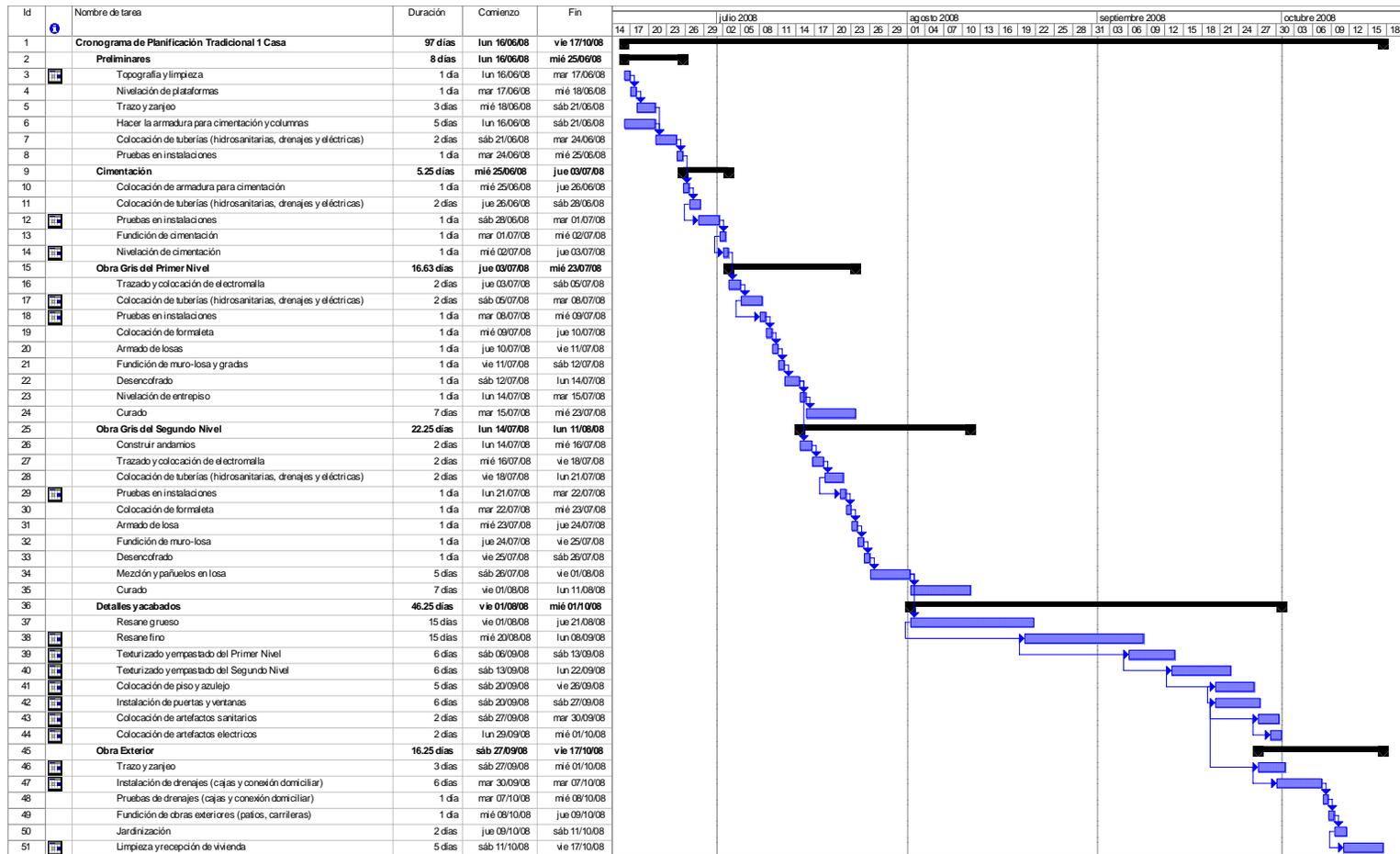
Figura 25. Diagrama de ruta crítica de cada casa



Fuente: Elaboración propia

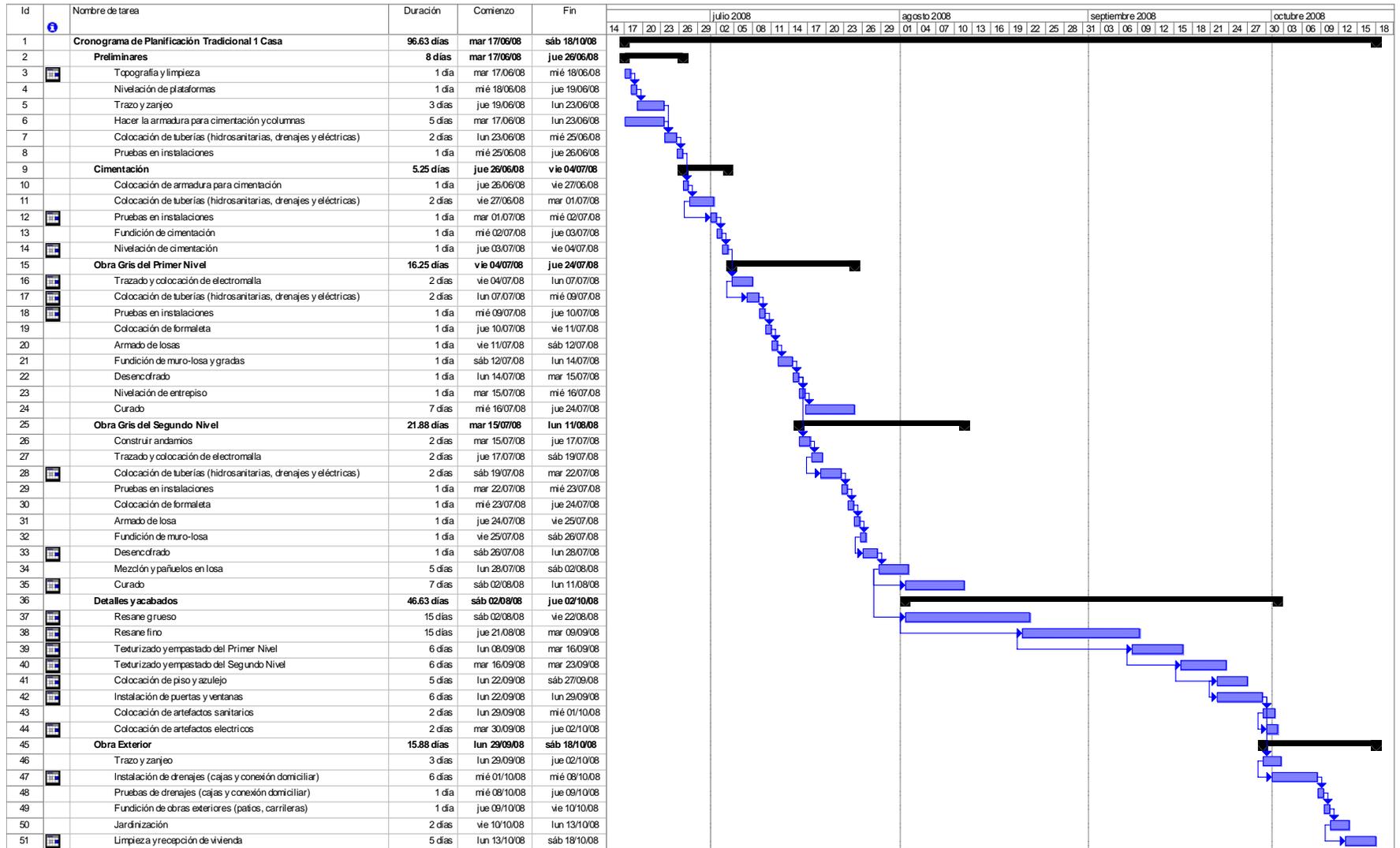
5.4.4 Elaboración del diagrama de Gantt

Figura 26. Diagrama de Gantt de la casa 1



Fuente: Elaboración propia

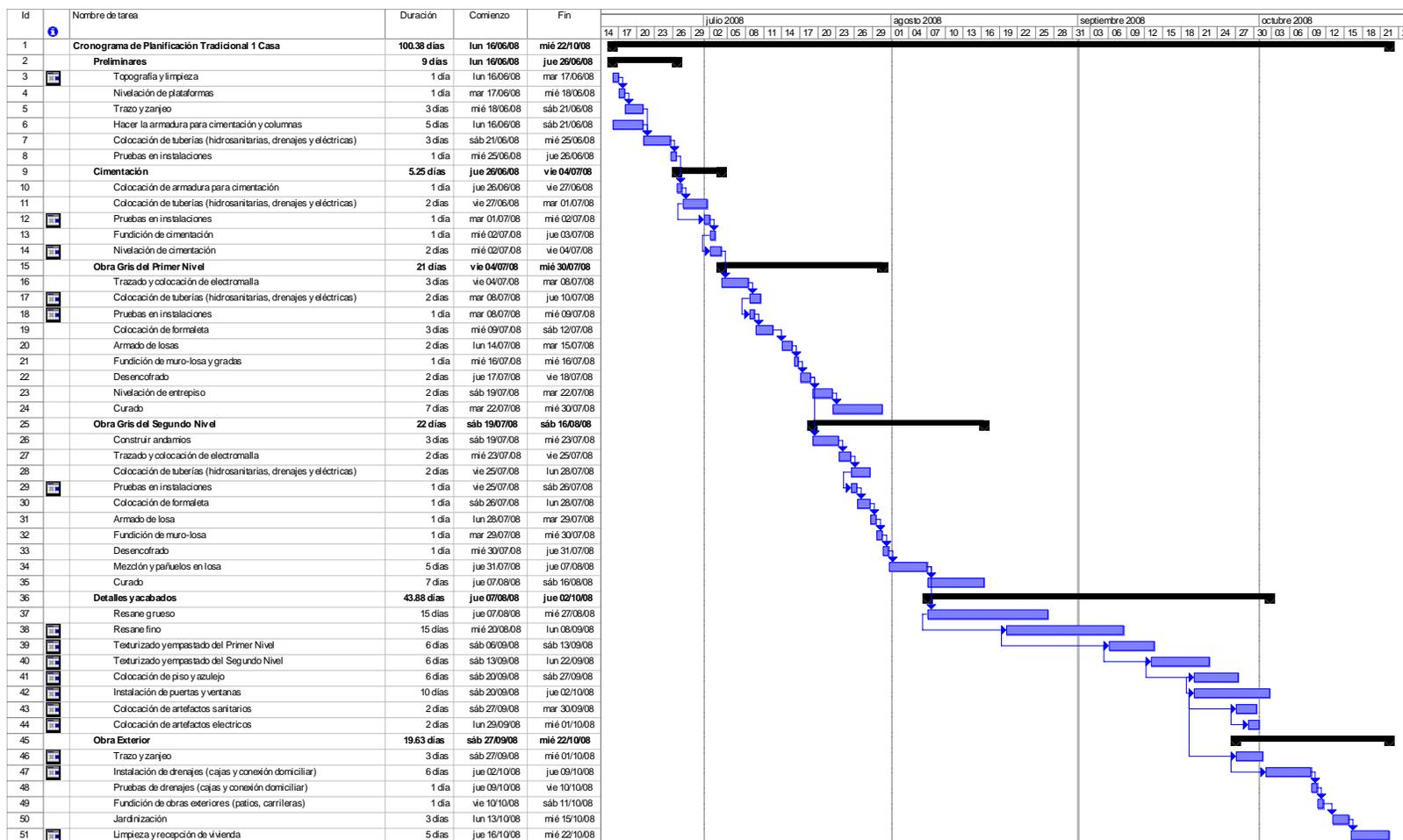
Figura 27. Diagrama de Gantt de la casa 2



Fuente: Elaboración propia

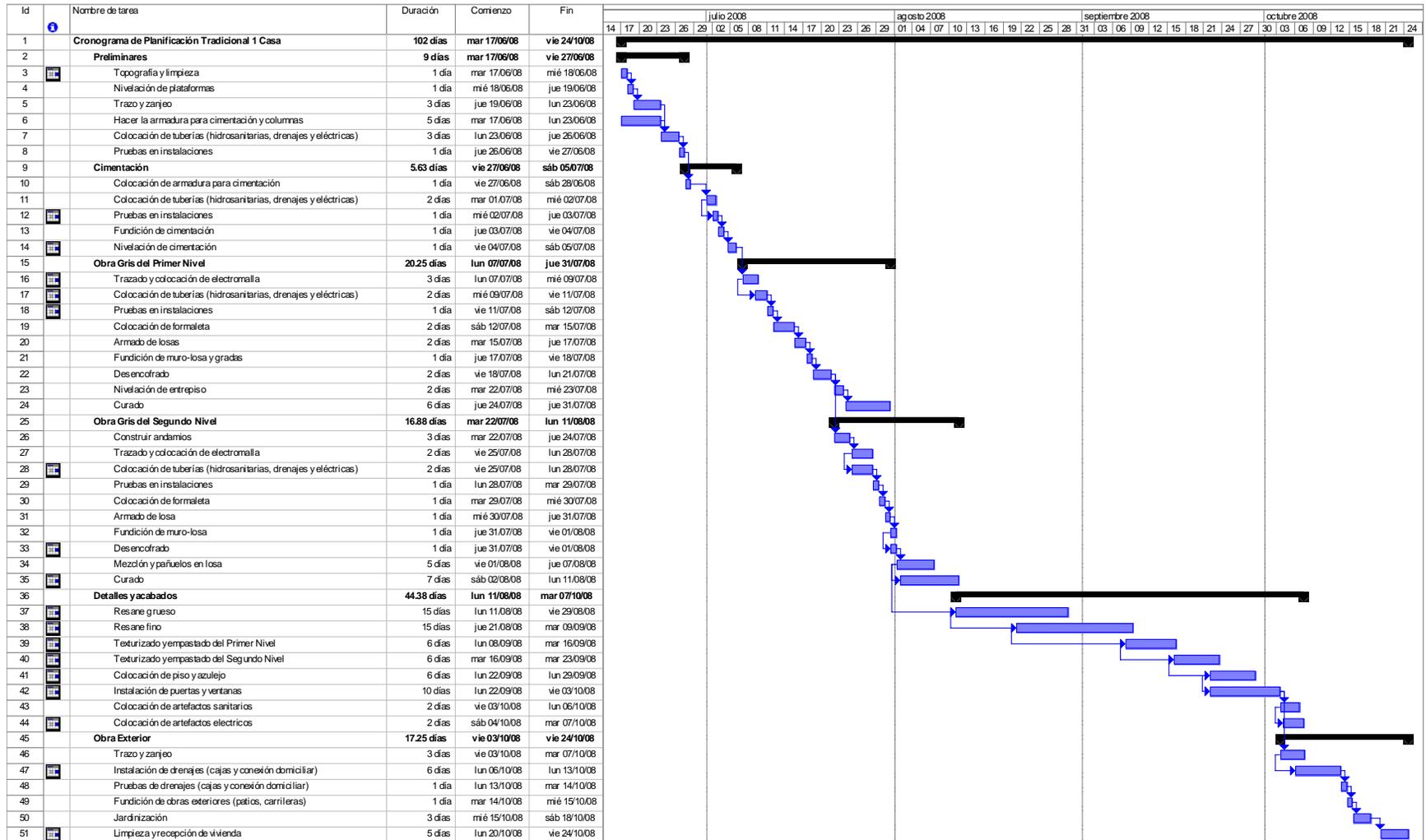
5.4.5 Diagrama de Gantt final

Figura 28. Diagrama de Gantt final de la casa 1



Fuente: Elaboración propia

Figura 29. Diagrama de Gantt final de la casa 2



Fuente: Elaboración propia

5.5 Sistema del último planificador

A continuación se verá el proceso de planificación y ejecución que lleva a cabo el sistema del último planificador, para luego hacer el análisis comparativo de los dos métodos.

5.5.1 Programa maestro

Como programa maestro se utilizó el diagrama de Gantt obtenido en el sistema tradicional, ya que es éste el que se utiliza como tal.

5.5.2 Planificación intermedia

La planificación intermedia es la parte principal del sistema del último planificador puesto que este es el procedimiento que hace posible el proceso del sistema.

5.5.2.1 Definición del intervalo de tiempo de la planificación intermedia

El intervalo de tiempo se hace entre 3 a 12 semanas, pero como forma de lograr una mejor comparación se harán intervalos de 4 semanas.

5.5.2.2 Ciclos de intervalos

Intervalo 1 para las casas 3 y 4:

Tabla XIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 1

Descripción	Símbolo	Predecesora	Duración en días
Preliminares			
Topografía y limpieza	A		1
Nivelación de plataformas	B	A	1
Trazo y zanjeo	C	B	3
Hacer la armadura para cimentación, columnas y vigas	D		5
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)	E	C	2
Pruebas en instalaciones	F	E	1
Cimentación			
Colocación de armadura para cimentación	G	D,E	1
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)	H	G	2
Pruebas en instalaciones	I	H	1
Fundición de cimentación	J	I	1
Nivelación del suelo	K	J	1
Obra gris del primer nivel			
Trazado y colocación de electromalla	L	K	2
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)	M	L	2
Pruebas en instalaciones	N	M	1
Colocación de formaleta	Ñ	N	1
Armado de losas	O	Ñ	1

Fundición de muro-losa y gradas	P	O	1
Desencofrado	Q	P	1
Nivelación de entrepiso	R	Q	1
Curado	S	R	7

Fuente: Listado de actividades de cada casa

Tabla XV. Análisis de restricciones del intervalo 1

Actividad	Diseño	Materiales	Mano de obra	Herramienta y/o equipo
A	Si	N/A	Si	Si
B	Si	N/A	Si	Si
C	Si	Si	Si	Si
D	Si	Si	Si	Si
E	Si	Si	Si	Si
F	N/A	N/A	Si	Si
G	Si	Si	Si	Si
H	Si	Si	Si	Si
I	N/A	N/A	Si	Si
J	Si	Si	Si	Si
K	Si	Si	Si	Si
L	Si	Si	Si	Si
M	Si	Si	Si	Si
N	N/A	N/A	Si	Si
Ñ	Si	Si	Si	Si
O	Si	Si	Si	Si
P	Si	Si	Si	Si
Q	N/A	N/A	Si	Si

R	Si	Si	Si	Si
S	N/A	Si	Si	Si

Fuente: Datos de obra

Semana 1:

✓ Inventario de trabajo ejecutable

1. Topografía y limpieza
2. Nivelación de plataformas
3. Trazo y zanjeo
4. Hacer la armadura para cimentación, columnas y vigas
5. Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)

Tabla XVI. Planificación de trabajo semanal de la semana 1

		Junio					
		L	M	M	J	V	S
		16	17	18	19	20	21
Casa 3							
	Preliminares						
A	Topografía y limpieza						
B	Nivelación de plataformas						
C	Trazo y zanjeo						
D	Hacer la armadura para cimentación y columnas						
E	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						

		Junio				
		M	M	J	V	S
Casa 4		17	18	19	20	21
Preliminares						
A	Topografía y limpieza					
B	Nivelación de plataformas					
C	Trazo y zanjeo					
D	Hacer la armadura para cimentación y columnas					

Fuente: Programa maestro de la obra

Tabla XVII. Control de las unidades de producción de la semana 1

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
A	Topo./Alb. 1 y 2	100	100	X		
B	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
C	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
D	Alb. 4 y 5	100	100	X		
E	Alb. 1, 2 y 3	50	45		X	Problemas de materiales y se perdió tiempo examinándolos
# actividades Completadas		4				
% de cumplimiento (PAC)		80%				

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
A	Topo./Alb. 6 y 7	100	100	X		
B	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
C	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
D	Alb. 9 y 10	100	100	X		
# actividades Completadas			4			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Fuente: Datos de obra

Semana 2:

✓ **Inventario del trabajo ejecutable**

1. Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)
2. Pruebas en instalaciones
3. Colocación de armadura para cimentación
4. Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas) de cimentación
5. Pruebas en instalaciones de cimentación

Tabla XVIII. Planificación de trabajo semanal de la semana 2

		Junio					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		23	24	25	26	27	28
E	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						
F	Pruebas en instalaciones						
Cimentación							
G	Colocación de armadura para cimentación						
H	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						
I	Pruebas en instalaciones						

		Junio					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		23	24	25	26	27	28
E	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						
F	Pruebas en instalaciones						
Cimentación							
G	Colocación de armadura para cimentación						
H	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XIX. Control de las unidades de producción de la semana 2

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
E	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
F	Alb. 4 y 5	100	100	X		
G	Alb. 1 al 5	100	100	X		
H	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
I	Alb. 4 y 5	100	100	X		
# actividades Completadas		5				
% de cumplimiento (PAC)		100%				

Casa 4

Descripción de la Actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del No cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
E	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
F	Alb. 9 y 10	100	100	X		
G	Alb. 6 al 10	100	100	X		
H	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
# actividades Completadas		4				
% de cumplimiento (PAC)		100%				

Fuente: Datos de obra

Semana 3:

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Pruebas en instalaciones de cimentación
2. Fundición de cimentación
3. Nivelación de cimentación
4. Trazado y colocación de electromalla en primer nivel
5. Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas) en primer nivel

Tabla XX. Planificación de trabajo semanal de la semana 3

		Junio/Julio					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 3	30	1	2	3	4	5
J	Fundición de cimentación						
K	Nivelación de cimentación						
	Obra gris del primer nivel						
L	Trazado y colocación de electromalla						
M	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						

		Junio/Julio					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 4	30	1	2	3	4	5
I	Pruebas en instalaciones						
J	Fundición de cimentación						
K	Nivelación de cimentación						
	Obra gris del primer nivel						
L	Trazado y colocación de electromalla						
M	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXI. Control de las unidades de producción de la semana 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
J	Alb. 1 al 5	100	100	X		
K	Alb. 4 y 5	100	100	X		
L	Alb. 1 al 5	100	100	X		
M	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
N	Alb. 4 y 5	0	50	X		
		# actividades Completadas		4.5		
		% de cumplimiento (PAC)		112%		

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
I	Alb. 9 y 10	100	100	X		
J	Alb. 6 al 10	100	100	X		
K	Alb. 9 y 10	100	100	X		
L	Alb. 6 al 10	100	100	X		
M	Alb. 6, 7 y 8	50	50	X		
# actividades Completadas			5			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Fuente: Datos de obra

Semana 4

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)
2. Pruebas en instalaciones
3. Colocación de formaletas en Primer Nivel
4. Armado de losa en Primer Nivel
5. Fundición de muro, losa y gradas
6. Desencofrado
7. Nivelación de entrepiso
8. Curado
9. Construir andamios

Tabla XXII. Planificación de trabajo semanal de la semana 4

		Julio					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 3	7	8	9	10	11	12
N	Pruebas en instalaciones						
Ñ	Colocación de formaleta						
O	Armado de losas						
P	Fundición de muro-losa y gradas						
Q	Desencofrado						
R	Nivelación de entrepiso						
S	Curado						
	Obra gris del segundo nivel						
T	Construir andamios						

		Julio					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 4	7	8	9	10	11	12
M	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						
N	Pruebas en instalaciones						
Ñ	Colocación de formaleta						
O	Armado de losas						
P	Fundición de muro-losa y gradas						
Q	Desencofrado						
R	Nivelación de entrepiso						
S	Curado						
	Obra gris del segundo nivel						
T	Construir andamios						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXIII. Control de las unidades de producción de la semana 4

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
N	Alb. 4 y 5	100	100	X		
Ñ	Alb. 1 al 5	100	100	X		
O	Alb. 1 al 5	100	100	X		
P	Alb. 1 al 5	100	100	X		
Q	Alb. 1 al 5	100	100	X		
R	Alb. 4 y 5	100	100	X		
S	Alb. 4 y 5	14.29	14.29	X		
T	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
# actividades Completadas			8			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
M	Alb. 6, 7 Y 8	100	100	X		
N	Alb. 9 y 10	100	100	X		
Ñ	Alb. 6 al 10	100	100	X		
O	Alb. 6 al 10	100	100	X		
P	Alb. 6 al 10	100	100	X		
Q	Alb. 6 al 10	100	100	X		
R	Alb. 9 y 10	0	100	X		
S	Alb. 9 y 10	0	14.29	X		
T	Alb. 6, 7 y 8	0	40	X		
# actividades Completadas			8.4			
% de cumplimiento (PAC)			140%			

Fuente: Datos de obra

Intervalo 2 para las casas 3 y 4

Tabla XXIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 2

Descripción	Símbolo	Predecesora	Duración en días
Curado	S	R	7
Obra gris del segundo nivel			
Construir andamios	T	R	2
Trazado y colocación de electromalla	U	T	2
Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)	V	U	2
Pruebas en instalaciones	W	V	1
Colocación de formaleta	X	W	1
Armado de losa	Y	X	1
Fundición de muro-losa	Z	Y	1
Desencofrado	AA	Z	1
Mezclón y pañuelos en losa	AB	AA	5
Curado	AC	AB	7
Detalles y acabados			
Resane grueso	AD	AB	15

Fuente: Listado de actividades de cada casa

Tabla XXV. Análisis de restricciones del intervalo 2

Actividad	Diseño	Materiales	Mano de obra	Herramienta y/o equipo
S	Si	Si	Si	Si
T	Si	N/A	Si	Si
U	Si	Si	Si	Si
V	Si	Si	Si	Si
W	N/A	N/A	Si	Si

X	Si	Si	Si	Si
Y	Si	Si	Si	Si
Z	Si	Si	Si	Si
AA	N/A	N/A	Si	Si
AB	Si	Si	Si	Si
AC	N/A	Si	Si	Si
AD	Si	Si	Si	Si

Fuente: Datos de obra

Semana 5:

✓ Inventario de trabajo ejecutable

1. Curado
2. Construcción de andamios
3. Trazado y colocación de electromalla
4. Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)
5. Pruebas en instalaciones
6. Colocación de formaleta

Tabla XXVI. Planificación de trabajo semanal de la semana 5

		Julio					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		14	15	16	17	18	19
S	Curado						
Obra gris del segundo nivel							
U	Trazado y colocación de electromalla						
V	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						
W	Pruebas en instalaciones						

X	Colocación de formaleta						
---	-------------------------	--	--	--	--	--	--

		Julio					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		14	15	16	17	18	19
S	Curado						
Obra gris del segundo nivel							
T	Construir andamios						
U	Trazado y colocación de electromalla						
V	Colocación de tuberías (hidrosanitarias, drenajes y eléctricas)						
W	Pruebas en instalaciones						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXVII. Control de unidades de producción de la semana 5

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
S	Alb. 4 y 5	100	100	X		
U	Alb. 1 al 5	100	100	X		
V	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
W	Alb. 4 y 5	100	100	X		
X	Alb. 1 al 5	100	100	X		
# actividades Completadas			5			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
S	Alb. 9 y 10	100	100	X		
T	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
U	Alb. 6 al 10	100	100	X		
V	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
W	Alb. 9 y 10	100	100	X		
# actividades Completadas		5				
% de cumplimiento (PAC)		100%				

Fuente: Datos de obra

Semana 6

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Curado
2. Colocación de formaleta
3. Armado de losa del segundo nivel
4. Fundición de muro y losa
5. Desencofrado
6. Mezclón y pañuelos en losa

Tabla XXVIII. Planificación de trabajo semanal de la semana 6

		Julio					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 3	21	22	23	24	25	26
Y	Armado de losa						
Z	Fundición de muro-losa						

AA	Desencofrado						
AB	Mezclón y pañuelos en losa						

		Julio					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 4	21	22	23	24	25	26
X	Colocación de formaleta						
Y	Armado de losa						
Z	Fundición de muro-losa						
AA	Desencofrado						
AB	Mezclón y pañuelos en losa						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXIX. Control de las unidades de producción de la semana 6

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
Y	Alb. 1 al 5	100	100	X		
Z	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AA	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AB	Alb. 4 y 5	60	75	X		
# actividades Completadas		4.5				
% de cumplimiento (PAC)		113%				

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
X	Alb. 6 al 10	100	100	X		
Y	Alb. 6 al 10	100	100	X		
Z	Alb. 6 al 10	100	100	X		
AA	Alb. 6 al 10	100	100	X		
AB	Alb. 9 y 10	40	50	X		
# actividades Completadas			5.16			
% de cumplimiento (PAC)			103%			

Fuente: Datos de obra

Semana 7

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Mezclón y pañuelos en losa
2. Curado
3. Resane grueso

Tabla XXX. Planificación de trabajo semanal de la semana 7

		Julio/Agosto					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 3	28	29	30	31	1	2
AB	Mezclón y pañuelos en losa						
AC	Curado						
	Detalles y acabados						
AD	Resane grueso						

		Julio/Agosto					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 4	28	29	30	31	1	2
AB	Mezclón y pañuelos en losa						
AC	Curado						
	Detalles y acabados						
AD	Resane grueso						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXXI. Control de las unidades de producción de la semana 7

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AB	Alb. 4 y 5	100	100	X		
AC	Alb. 4 y 5	50	50	X		
AD	Alb. 1 al 5	27	45	X		
# actividades Completadas		3.18				
% de cumplimiento (PAC)		106%				

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AB	Alb. 9 y 10	100	100	X		
AC	Alb. 9 y 10	43	43	X		
AD	Alb. 6 al 10	20	40	X		
# actividades Completadas		3.2				
% de cumplimiento (PAC)		106%				

Fuente: Datos de obra

Semana 8

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Curado
2. Resane grueso

Tabla XXXII. Planificación de trabajo semanal de la semana 8

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		4	5	6	7	8	9
AC	Curado						
Detalles y acabados							
AD	Resane grueso						

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		4	5	6	7	8	9
AC	Curado						
Detalles y acabados							
AD	Resane grueso						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXXIII. Control de las unidades de producción de la semana 8

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AC	Alb. 4 y 5	100	100	X		
AD	Alb. 1 al 5	90	90	X		
# actividades Completadas			2			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AC	Alb. 9 y 10	100	100	X		
AD	Alb. 6 al 10	90	90	X		
# actividades Completadas			2			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Fuente: Datos de obra

Intervalo 3 para las casas 3 y 4:

Tabla XXXIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 3

Descripción	Símbolo	Predecesora	Duración en días
Resane grueso	AD	AB	15
Resane fino	AE	AC,AD	15
Texturizado y empastado del Primer Nivel	AF	AE	6

Fuente: Listado de actividades de cada casa

Tabla XXXV. Análisis de restricciones del intervalo 3

Actividad	Diseño	Materiales	Mano de obra	Herramienta y/o equipo
AD	Si	Si	Si	Si
AE	Si	Si	Si	Si
AF	Si	Si	Si	Si

Fuente: Datos de obra

Semana 9

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Resane grueso
2. Resane fino

Tabla XXXVI. Planificación de trabajo semanal de la semana 9

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		11	12	13	14	15	16
AD	Resane grueso						
AE	Resane fino						

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		11	12	13	14	15	16
AD	Resane grueso						
AE	Resane fino						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXXVII. Control de unidades de producción de la semana 9

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AD	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AE	Alb. 1 al 5	13	20	X		
# actividades Completadas			2			
% de cumplimiento (PAC)			107%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AD	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AE	Alb. 1 al 5	13	20	X		
# actividades Completadas			2			
% de cumplimiento (PAC)			107%			

Fuente: Datos de obra

Semana 10

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Resane fino

Tabla XXXVIII. Planificación de trabajo semanal de la semana 10

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 3	18	19	20	21	22	23
AE	Resane fino						

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 4	18	19	20	21	22	23
AE	Resane fino						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XXXIX. Control de unidades de producción de la semana 10

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AE	Alb. 1 al 5	56	65	X		
	# actividades Completadas		1			
	% de cumplimiento (PAC)		113%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AE	Alb. 1 al 5	56	65	X		
	# actividades Completadas		1			
	% de cumplimiento (PAC)		113%			

Fuente: Datos de obra

Semana 11

✓ Inventario de trabajo ejecutable

1. Resane fino
2. Texturizado y empastado del primer nivel

Tabla XL. Planificación de trabajo semanal de la semana 11

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		25	26	27	28	29	30
AE	Resane fino						
AF	Texturizado y empastado del primer nivel						

		Agosto					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		25	26	27	28	29	30
AE	Resane fino						
AF	Texturizado y empastado del primer nivel						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XLI. Control de unidades de producción de la semana 11

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AE	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AF	Alb. 1 al 5	14	28	X		
# actividades Completadas			2.14			
% de cumplimiento (PAC)			107%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AE	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AF	Alb. 1 al 5	28	28	X		
# actividades Completadas			2			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Fuente: Datos de obra

Semana 12

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Texturizado y empastado del primer nivel
2. Texturizado y empastado del segundo nivel

Tabla XLII. Planificación de trabajo semanal de la semana 12

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		1	2	3	4	5	6
AF	Texturizado y empastado del primer nivel						
AG	Texturizado y empastado del segundo nivel						

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		1	2	3	4	5	6
AF	Texturizado y empastado del primer nivel						
AG	Texturizado y empastado del segundo nivel						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XLIII. Control de unidades de producción de la semana 12

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AF	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AG	Alb. 1 al 5	14	28	X		
# actividades Completadas			2.14			
% de cumplimiento (PAC)			107%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AF	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AG	Alb. 1 al 5	14	28	X		
# actividades Completadas			2.14			
% de cumplimiento (PAC)			107%			

Fuente: Datos de obra

Intervalo 4 para las casas 3 y 4:

Tabla XLIV. Definición de las actividades de la planificación intermedia del intervalo 4

Descripción	Símbolo	Predecesora	Duración en días
Texturizado y empastado del segundo nivel	AG	AF	6
Colocación de piso y azulejo	AH	AG	5
Instalación de puertas y ventanas	AI	AG	6

Colocación de artefactos sanitarios	AJ	AH, AI	2
Colocación de artefactos eléctricos	AK	AJ	2
Obra exterior			
Trazo y zanjeo	AL	AH, AI	3
Instalación de drenajes (cajas y conexión domiciliar)	AM	AL	6
Pruebas de drenajes (cajas y conexión domiciliar)	AN	AM	1
Fundición de obras exteriores (patios, carrileras)	AÑ	AN	1
Jardinización	AO	AÑ	2
Limpieza y recepción de vivienda	AP	AO	5

Fuente: Listado de actividades de cada casa

Tabla XLV. Análisis de restricciones del intervalo 4

Actividad	Diseño	Materiales	Mano de obra	Herramienta y/o equipo
AG	Si	Si	Si	Si
AH	Si	No	Si	Si
AI	Si	No	Si	Si
AJ	N/A	Si	Si	Si
AK	N/A	Si	Si	Si
AL	Si	Si	Si	Si
AM	Si	Si	Si	Si
AN	N/A	N/A	Si	Si
AÑ	Si	Si	Si	Si
AO	Si	No	Si	Si
AP	N/A	N/A	Si	Si

Fuente: Datos de obra

Semana 13

✓ Inventario de trabajo ejecutable

1. Texturizado y empastado del segundo nivel
2. Colocación de piso y azulejo
3. Instalación de puertas y ventanas

Tabla XLVI. Planificación de trabajo semanal de la semana 13

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		8	9	10	11	12	13
AG	Texturizado y empastado del segundo nivel						
AH	Colocación de piso y azulejo						
AI	Instalación de puertas y ventanas						

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		8	9	10	11	12	13
AG	Texturizado y empastado del segundo nivel						
AH	Colocación de piso y azulejo						
AI	Instalación de puertas y ventanas						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XLVII. Control de unidades de producción de la semana 13

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AG	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AH	2 piseros	60	40		X	Llego con 1 día de atraso el material
AI	3 carpinteros y 3 ventaneros	50	33		X	Llego con 1 día de atraso el material de carpintería
# actividades Completadas			1			
% de cumplimiento (PAC)			33%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AG	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AH	2 piseros	60	40		X	Llego con 1 día de atraso el material
AI	3 carpinteros y 3 ventaneros	50	33		X	Llego con 1 día de atraso el material de carpintería
# actividades Completadas			1			
% de cumplimiento (PAC)			33%			

Fuente: Datos de obra

Semana 14

✓ Inventario de trabajo ejecutable

1. Colocación de piso y azulejo
2. Instalación de puertas y ventanas
3. Colocación de artefactos sanitarios
4. Trazo y zanjeo

Tabla XLVIII. Planificación de trabajo semanal de la semana 14

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 3	15	16	17	18	19	20
AH	Colocación de piso y azulejo						
AI	Instalación de puertas y ventanas						
AJ	Colocación de artefactos sanitarios						
	Obra exterior						
AL	Trazo y zanjeo						

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 4	15	16	17	18	19	20
AG	Texturizado y empastado del Segundo Nivel						
AH	Colocación de piso y azulejo						
AI	Instalación de puertas y ventanas						
AJ	Colocación de artefactos sanitarios						
	Obra exterior						
AL	Trazo y zanjeo						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla XLIX. Control de unidades de producción de la semana 14

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AH	2 piseros	100	100			
AI	3 carpinteros y 3 ventaneros	100	100			
AJ	Alb. 4 y 5	50	100			
AK	Alb. 4 y 5	0	25			
AL	Alb. 1, 2 y 3	33	50			
# actividades Completadas			4.92			
% de cumplimiento (PAC)			123%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AH	2 piseros	100	100	X		
AI	3 carpinteros y 3 ventaneros	100	100	X		
AJ	Alb. 9 y 10	50	100	X		
AK	Alb. 9 y 10	0	25	X		
AL	Alb. 6, 7 y 8	33	50	X		
# actividades Completadas			4.92			
% de cumplimiento (PAC)			123%			

Fuente: Datos de obra

Semana 15

✓ Inventario de trabajo ejecutable

1. Colocación de artefactos eléctricos
2. Trazo y zanqueo
3. Instalación de drenajes (cajas y conexión domiciliar)
4. Pruebas de drenajes (cajas y conexión domiciliar)

Tabla L. Planificación de trabajo semanal de la semana 15

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 3	22	23	24	25	26	27
AK	Colocación de artefactos eléctricos						
	Obra exterior						
AL	Trazo y zanqueo						
AM	Instalación de drenajes (cajas y conexión domiciliar)						
AN	Pruebas de drenajes (cajas y conexión domiciliar)						

		Septiembre					
		L	M	M	J	V	S
	Casa 4	22	23	24	25	26	27
AK	Colocación de artefactos eléctricos						
	Obra exterior						
AL	Trazo y zanqueo						
AM	Instalación de drenajes (cajas y conexión domiciliar)						
AN	Pruebas de drenajes (cajas y conexión domiciliar)						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla LI. Control de unidades de producción de la semana 15

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AK	Alb. 4 y 5	100	100	X		
AL	Alb. 4 y 5	100	100	X		
AM	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
AN	Alb. 4 y 5	100	100	X		
# actividades Completadas		4				
% de cumplimiento (PAC)		100%				

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AK	Alb. 9 y 10	100	100	X		
AL	Alb. 9 y 10	100	100	X		
AM	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
AN	Alb. 9 y 10	100	100	X		
# actividades Completadas		4				
% de cumplimiento (PAC)		100%				

Fuente: Datos de obra

Semana 16

✓ **Inventario de trabajo ejecutable**

1. Fundición de obras exteriores (patios, carrileras)
2. Jardinería

3. Limpieza y recepción de vivienda

Tabla LII. Planificación de trabajo semanal de la semana 16

		Septiembre/Octubre					
		L	M	M	J	V	S
Casa 3		29	30	1	2	3	4
AÑ	Fundición de obras exteriores (patios, carrileras)						
AO	Jardinización						
AP	Limpieza y recepción de vivienda						

		Septiembre/Octubre					
		L	M	M	J	V	S
Casa 4		29	30	1	2	3	4
AÑ	Fundición de obras exteriores (patios, carrileras)						
AO	Jardinización						
AP	Limpieza y recepción de vivienda						

Fuente: Programa maestro de obra

Tabla LIII. Control de unidades de producción de la semana 16

Casa 3

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AÑ	Alb. 1 al 5	100	100	X		
AO	Alb. 4 y 5	100	100	X		
AP	Alb. 1, 2 y 3	100	100	X		
# actividades Completadas			3			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Casa 4

Descripción de la actividad	Responsable	% Completado		Logrado		Análisis del no cumplimiento
		Planificado	Real	SI	NO	
AÑ	Alb. 6 al 10	100	100	X		
AO	Alb. 9 y 10	100	100	X		
AP	Alb. 6, 7 y 8	100	100	X		
# actividades Completadas			3			
% de cumplimiento (PAC)			100%			

Fuente: Datos de obra

5.6 Análisis comparativo de los resultados de las muestras

Como se puede observar, al analizar los resultados obtenidos en la ejecución de las 4 casas, a pesar de que utilizó el mismo método de construcción, los mismos materiales y en su forma y tamaño son exactamente igual, se aprecia que utilizando el sistema del último planificador como sistema de planificación y ejecución se tiene ventajas sustanciales, como la cantidad de tiempo que se ahorra a la hora de ejecutar la obra, a pesar de los atrasos que se dieron al iniciar la etapa de acabados, esto se debe a que se tiene un mayor control de todas las partes que intervienen en el proceso (diseños, materiales, mano de obra, herramientas, equipo y proveedores entre otros.)

Al tener un mayor control de todas las partes que involucran, y al darle seguimiento semanal a los mismos, es donde se puede obtener la seguridad de la continuidad del proceso, puesto que se está al tanto de que hay que estar liberando las restricciones para que no exista ningún retraso o en su defecto, minimizar el retraso. Esto hace también que se tenga presente qué restricciones están libres, y por consiguiente qué trabajos se pueden ir adelantando durante el proceso.

Inclusive, el costo de la mano de obra con el sistema del último planificador se logró reducir, gracias a la reducción del tiempo empleado en la ejecución de las casas, tal y como se observa en las figuras 30 a 32 y en las tablas XIV y XV. Con esto se puede observar que en la construcción de casas en serie, se mantiene el costo de la mano de obra ligado al tiempo de ejecución de obra.

Caso contrario en el sistema tradicional, en donde solo se ve de manera superficial las tareas del proceso que están por ejecutarse, sin hacerse un análisis más a fondo por parte de todos los involucrados, si pueden o no realizarse las tareas y que soluciones pueden darse, aparte que aquí es más holgado el proceso, ya que se van realizando las tareas como se van presentando, no conforme a un análisis de lo que se debe hacer y lo que se puede hacer.

Figura 30. Comparación de tiempos de ejecución de las actividades con el sistema tradicional y el sistema del último planificador

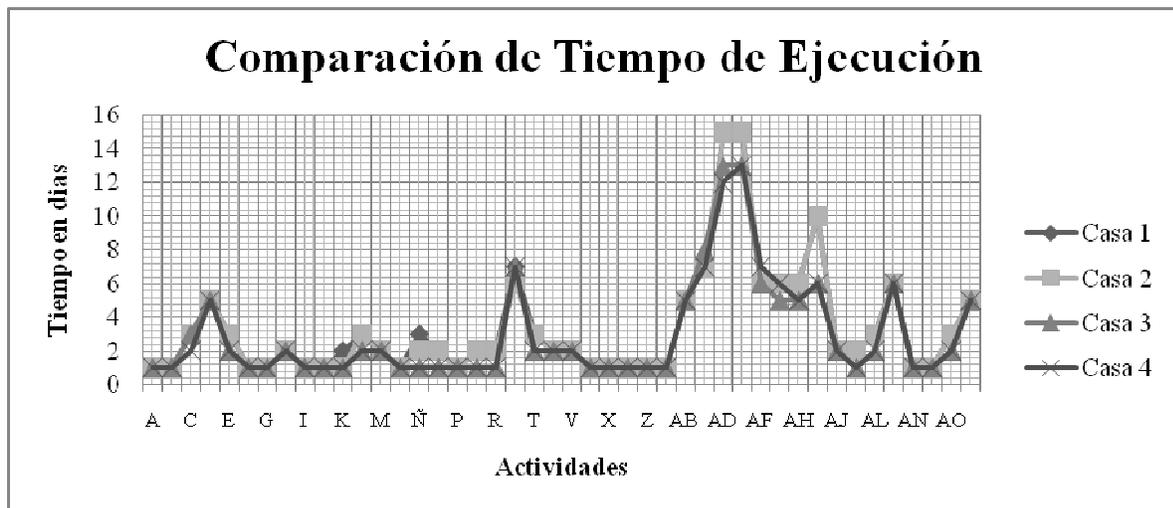


Figura 31. Comparación de tiempos de ejecución de cada casa con el sistema tradicional y el sistema del último planificador

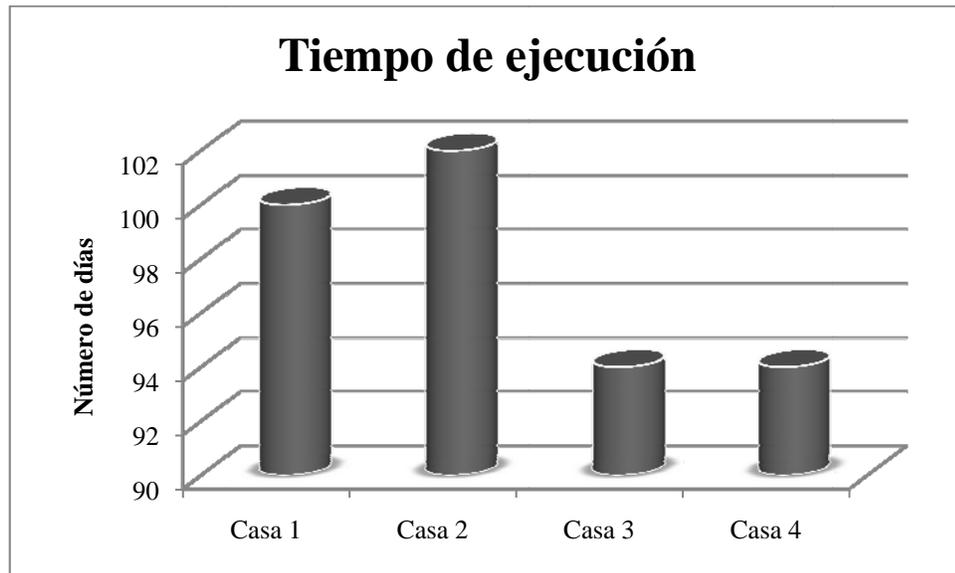
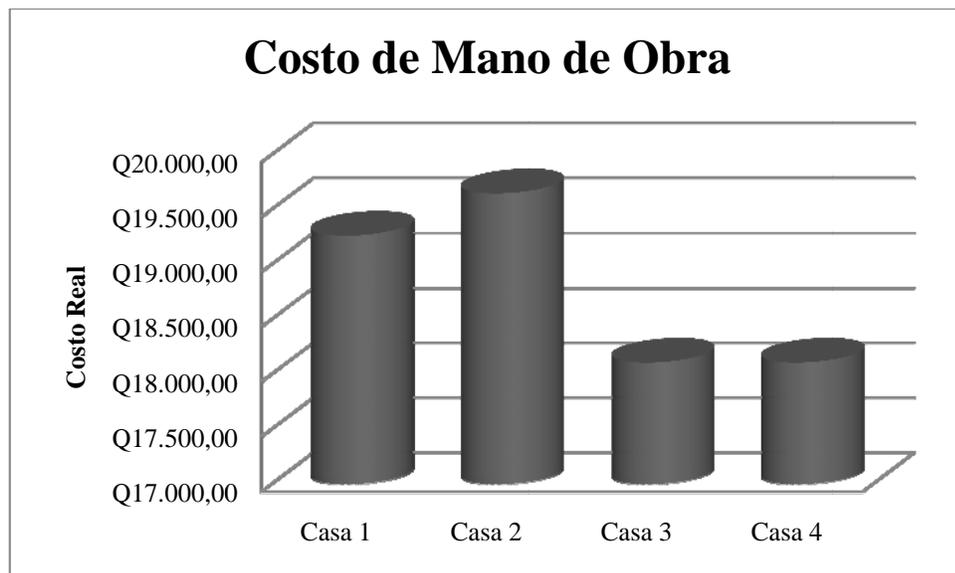


Figura 32. Comparación del costo de mano de obra de cada casa con el sistema tradicional y el sistema del último planificador



Como información complementaria para tener un enfoque global de una mayor parte del proyecto, se presentan las tablas que contienen la comparación del tiempo de ejecución y el costo de la mano de obra, así como el promedio, la moda y la desviación de los mismos.

Tabla LIV. Comparación del tiempo de ejecución, media, moda y desviación estándar con el sistema tradicional y el sistema del último planificador medido en días.

Casa	Tiempo ejecución	
	S.T.	S.U.P
1	100	94
2	102	94
3	105	93
4	100	95
5	102	94
6	104	96
7	105	92
8	99	94
9	100	94
10	98	95
11	105	96
12	101	94
13	102	94
14	104	94
15	105	95
16	100	93
17	98	92
18	99	96
19	100	94
20	104	92
21	106	95
22	99	96
23	98	94
24	97	94
25	104	94

26	102	95
27	103	96
28	101	93
29	101	92
30	103	92
31	102	92
32	100	94
33	100	96
34	100	95
35	102	94
36	101	94
37	98	93
38	99	92
39	100	94
40	101	94
41	101	93
42	101	95
43	102	96
44	103	94
45	99	93
46	98	94
47	102	94
48	103	95
49	103	94
50	103	96

Promedio	101.3	94.08
Moda	100	94
Desv. Est.	2.22	1.23

Lo que muestra la tabla anterior es que con el sistema tradicional se construyó una casa en un promedio de 101.3 días; dentro de la muestra de las 50 casas, la mayoría de casas se hizo en 100 días y que en relación a ese dato, las casas se construyeron con una variación de más menos 2.22 días. En comparación con los 94.08 días en promedio

que se necesitaron con el sistema del último planificador, así como la mayoría de casas se hicieron en 94 días y con una variación de más menos 1.23 días.

Tabla LV. Comparación del costo de la mano de obra, media, moda y desviación estándar con el sistema tradicional y el sistema del último planificador.

Casa	Costo mano obra	
	S.T.	S.U.P
1	Q19,263.18	Q18,107.38
2	Q19,648.44	Q18,107.38
3	Q20,226.33	Q17,914.75
4	Q19,263.18	Q18,300.02
5	Q19,648.44	Q18,107.38
6	Q20,033.70	Q18,492.65
7	Q20,226.33	Q17,722.12
8	Q19,070.54	Q18,107.38
9	Q19,263.18	Q18,107.38
10	Q18,877.91	Q18,300.02
11	Q20,226.33	Q18,492.65
12	Q19,455.81	Q18,107.38
13	Q19,648.44	Q18,107.38
14	Q20,033.70	Q18,107.38
15	Q20,226.33	Q18,300.02
16	Q19,263.18	Q17,914.75
17	Q18,877.91	Q17,722.12
18	Q19,070.54	Q18,492.65
19	Q19,263.18	Q18,107.38
20	Q20,033.70	Q17,722.12
21	Q20,418.97	Q18,300.02
22	Q19,070.54	Q18,492.65
23	Q18,877.91	Q18,107.38
24	Q18,685.28	Q18,107.38
25	Q20,033.70	Q18,107.38
26	Q19,648.44	Q18,300.02
27	Q19,841.07	Q18,492.65

28	Q19,455.81	Q17,914.75
29	Q19,455.81	Q17,722.12
30	Q19,841.07	Q17,722.12
31	Q19,648.44	Q17,722.12
32	Q19,263.18	Q18,107.38
33	Q19,263.18	Q18,492.65
34	Q19,263.18	Q18,300.02
35	Q19,648.44	Q18,107.38
36	Q19,455.81	Q18,107.38
37	Q18,877.91	Q17,914.75
38	Q19,070.54	Q17,722.12
39	Q19,263.18	Q18,107.38
40	Q19,455.81	Q18,107.38
41	Q19,455.81	Q17,914.75
42	Q19,455.81	Q18,300.02
43	Q19,648.44	Q18,492.65
44	Q19,841.07	Q18,107.38
45	Q19,070.54	Q17,914.75
46	Q18,877.91	Q18,107.38
47	Q19,648.44	Q18,107.38
48	Q19,841.07	Q18,300.02
49	Q19,841.07	Q18,107.38
50	Q19,841.07	Q18,492.65

Promedio	Q19,513.60	Q18,122.80
Moda	Q19,263.18	Q18,107.38
Desv. Est.	Q428.53	Q236.21

Lo que muestra la tabla anterior es que con el sistema tradicional la mano de obra tuvo un costo promedio de Q19,513.60; dentro de la muestra de las 50 casas, la mayoría tuvo un costo de mano de obra de Q19,263.18 y que en relación a ese dato, la mano de obra varió en Q428.53. En comparación con los Q18,122.80 en promedio que se necesitaron con el sistema del último planificador, así como la mayoría de casas costó Q18,107.38 y tuvieron con una variación de más menos Q236.21.

En resumen, se puede ver que el sistema del último planificador hace más estable el proceso de construcción de las casas, ya que hay menos variación tanto de días de construcción así como de dinero empleado en mano de obra. Se ve también que a pesar de la poca variación que sufre el proceso de construcción, el sistema del último planificador hace más eficaz y eficiente dicho proceso.

CONCLUSIONES

1. Al implementar la calidad en los procesos constructivos y administrativos, se ven mejoras, tanto internas como externas en las empresas, como resultado de los procedimientos y normas de calidad aplicadas, logrando la satisfacción del cliente, que es el objetivo primordial de la empresa.
2. Para evaluar cada área de la empresa y lograr la calidad total, existen métodos enfocados en áreas distintas de los procesos, siendo obligación de la unidad encargada del control de la calidad, integrar y consolidar los resultados.
3. Al mejorar la productividad dentro de los procesos administrativos y constructivos, se obtienen mejores resultados, coadyuvando a reducir recursos financieros, humanos, físicos y materiales.
4. Existen métodos para evaluar y controlar la productividad, siendo éstos el estudio de trabajo, muestreo de actividades, modelo de los factores y como apoyo se tienen los incentivos al personal de dirección y operación. Se debe tomar en cuenta que no a todos los trabajadores se deben dar los mismos incentivos; el que más le produzca a la organización o empresa le corresponde por ende, un incentivo mayor.
5. Al tener claros los conceptos de la filosofía de la construcción sin pérdidas, se lograrán cambios cualitativos en el sector construcción, en calidad y productividad dotando de valor agregado al producto final y si se trata de una obra de infraestructura civil, se mejora la calidad de vida del grupo objetivo, a la vez, que se es más competitivo a nivel nacional, regional y mundial, acorde a las exigencias de la globalización.

6. La filosofía de la construcción sin pérdidas pretende optimizar recursos financieros, humanos, físicos y materiales así como procesos, involucrando a las autoridades superiores, directivos, técnicos y operativos en el trabajo en equipo, para mejores resultados y mantener un ambiente y clima favorables, que repercuta en fortalezas de la organización como factor interno.

7. El sistema del último planificador es la herramienta que emplea la filosofía de la construcción sin pérdidas para obtener los resultados que persigue, siendo estos la optimización de recursos y procesos, llevando como resultado a mejores obras puesto que el sistema persigue la calidad total y productividad de las mismas.

RECOMENDACIONES

1. Para obtener los resultados que persigue el sistema del último planificador, en las reuniones semanales, todos los involucrados deben tener claras sus responsabilidades y obligaciones para presentar la documentación necesaria, para llevar a cabo la reunión de una forma fluida y productiva.
2. Al realizar la planificación de trabajo semanal no debe imponerse las tareas a conveniencia a los últimos planificadores, porque lo que se busca es que cada quien sea responsable de sus atribuciones, y así lograr la fluidez requerida del proyecto, porque sin presiones e imposiciones, los últimos planificadores se sentirán parte del equipo siendo más creativos y comprometidos tanto con la obra como con la empresa.
3. Para lograr implementar adecuada y completamente el sistema del último planificador se necesita estudiar las reglas aquí propuestas, regirse a ellas y ponerlas en práctica, con voluntad de mejorar los procesos constructivos, porque sólo a partir del cambio de paradigmas, se obtendrán las mejoras generales y específicas que se quieren en el sector construcción en Guatemala.
4. A pesar de la existencia de diferentes métodos para evaluar y controlar la calidad y la productividad, se necesita tener bien claros los objetivos que se persiguen en la evaluación y control para escoger el método adecuado para así, la información obtenida de los resultados, sea la requerida para tomar las mejores decisiones, ya sean correctivas o preventivas a corto, mediano y largo plazo para el correcto desarrollo del proyecto.

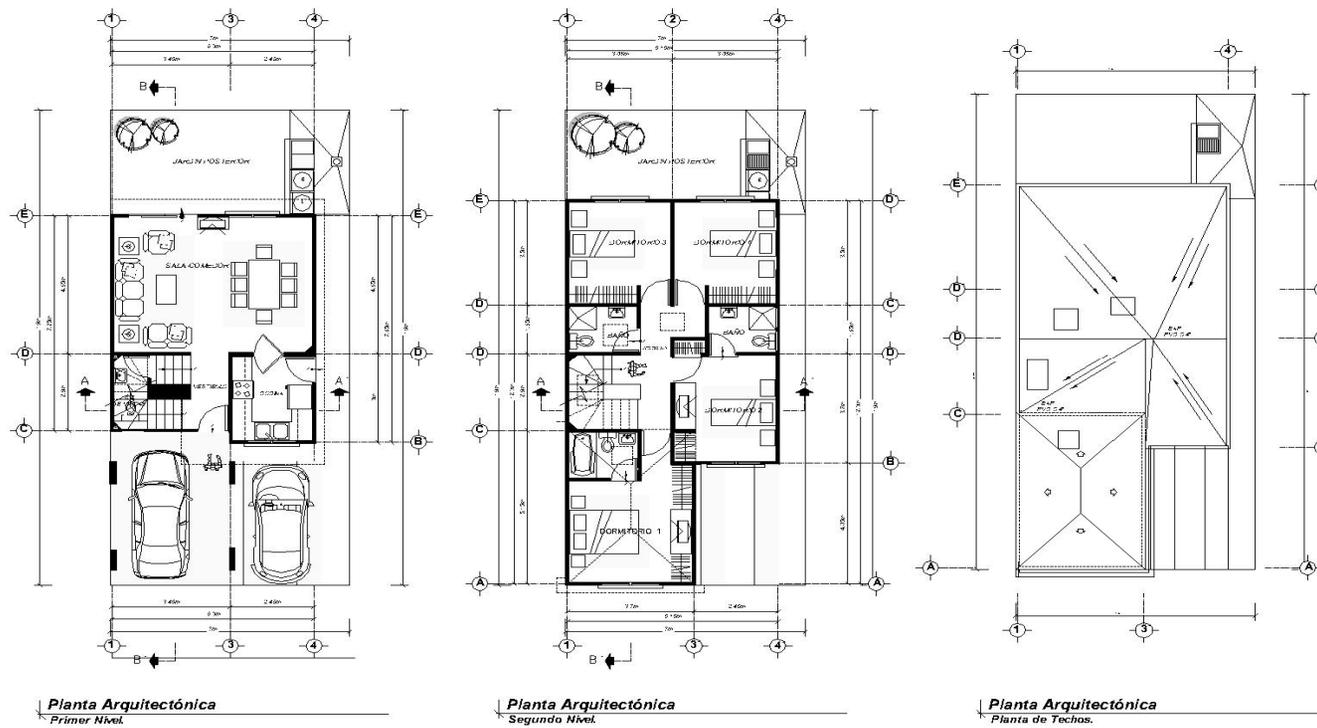
BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, Iliana. **La calidad total aplicada a una empresa de servicio.** Monografía, Instituto Tecnológico de Mérida, 1999.
2. Antill, James M. y Ronald Woodhead. **Método de la ruta crítica y sus aplicaciones a la construcción.** México: Editorial Limusa, 2002.
3. Código de Ética del Sector Construcción. Cámara Guatemalteca de la Construcción, Guatemala 2007.
4. Erossa, Victoria. **Proyectos de inversión en ingeniería, su metodología.** México: Editorial Limusa, 1993.
5. García Criollo, Roberto. **Estudio del trabajo.** 2ª. Edición. México: Editorial Mc-Graw Hill, 2005.
6. García de León, Nery William. **Construcción de viviendas, sistemas constructivos, procesos y supervisión básica.** Edición actualizada. Guatemala: Editorial Expresión Gráfica.
7. Gutiérrez Garza, Gustavo. **Justo a tiempo y calidad total, principios y aplicaciones.** 5ª. Edición. México: Ediciones Castillo S.A. de C.V, 2000.
8. Gutiérrez Pulido, Humberto. **Calidad Total y Productividad.** Segunda edición. México: Editorial McGraw Hill, 2005.

9. Harris, F y R. McCaffer. **Construction Management (Manual de gestión de proyecto y dirección de obra)**. Barcelona: Gustavo Gili, S. A., 1999.
10. Koontz y Weihrich. **Administración una perspectiva global**. México: Mc Graw Hill, 1998.
11. Kotler, Philip. **Dirección de mercadotecnia, análisis, planeación, implementación y control**, Prentice Hall, México, 1997.
12. Krick, Edward V. **Ingeniería de métodos**. México: Editorial Limusa, 1982.
13. Loría, José. **Principios de Construcción Lean y desarrollo sustentable**. Reporte inédito de investigación. Mérida: FIUADY, 1999.
14. Meyers, Fred E. **Estudio de tiempos y movimientos, manufactura ágil**. 2ª. Edición. Editorial Pearson Educación, 2000.
15. Niebel, Benjamín W. y Andris Freivalds. **Ingeniería Industrial, métodos, estándares y diseño del trabajo**. 11ª edición. México: Editorial Alfaomega, 2001.
16. Papalla, Diane y Sally Wendkos. **Desarrollo Humano**. México: Mc. Graw Hill, 1992.
17. Sadgrove, Kit. **Cómo hacer que funcione la calidad total**. México: Panorama Editorial, 1997.
18. Suárez Salazar, Carlos. **Administración de empresas constructoras**. Segunda edición. México: Editorial Limusa, 2005.

ANEXOS

Figura 33. Planta amueblada



Fuente: Planos de obra

Figura 35. Instalaciones: Drenajes sanitario y pluvial

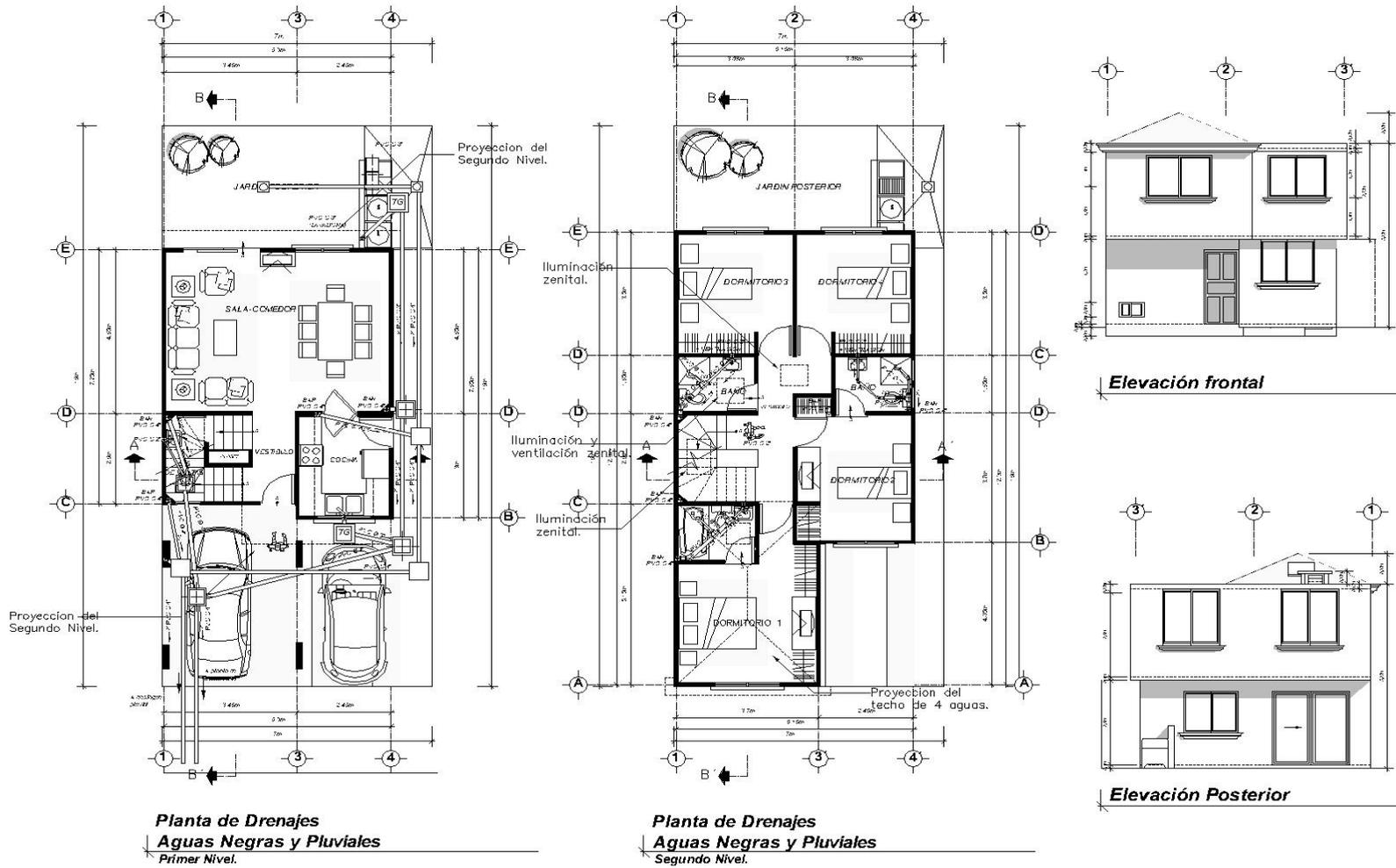


Figura 36. Instalaciones eléctricas: Iluminación

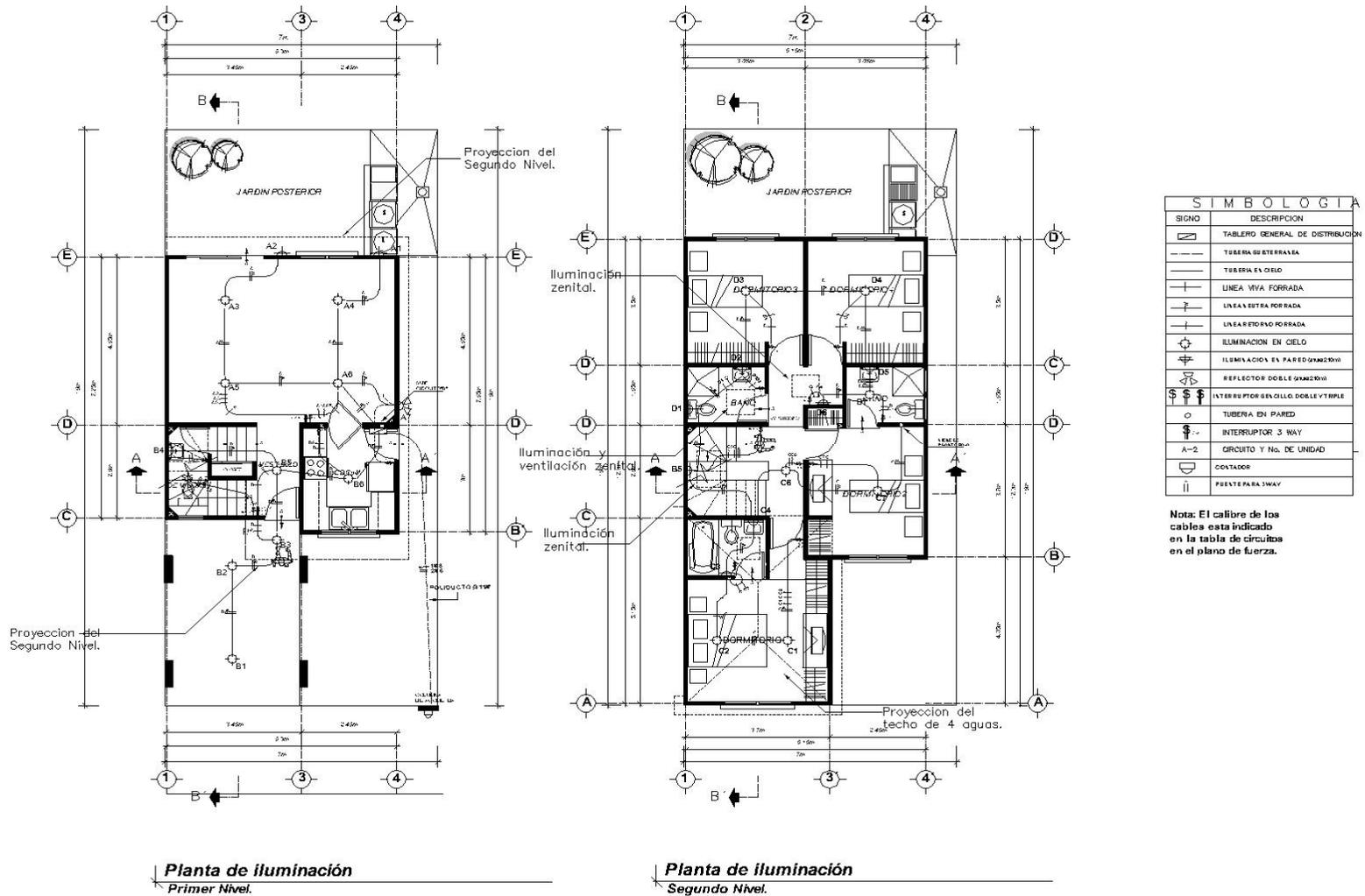


Figura 37. Instalaciones eléctricas: Fuerza

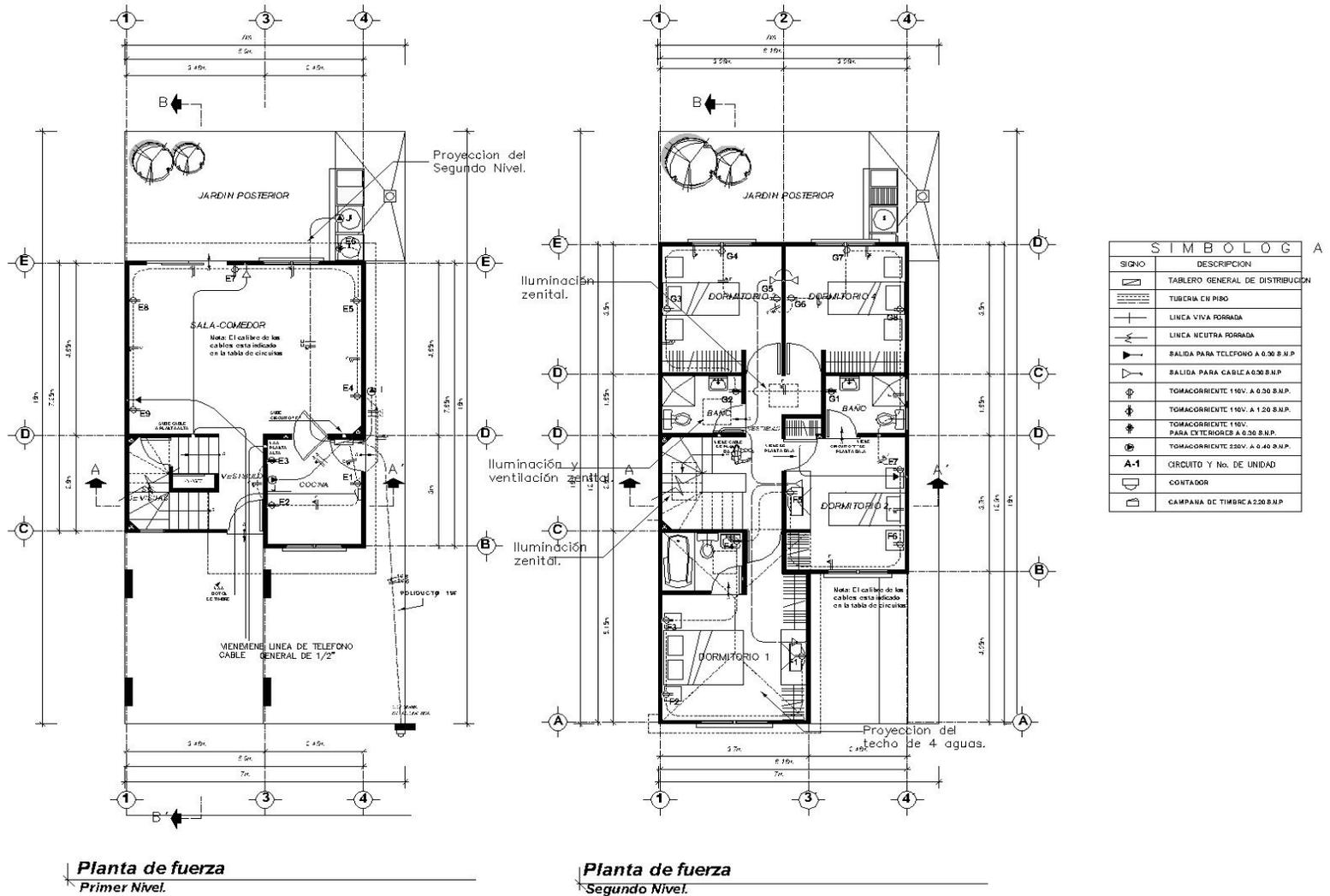
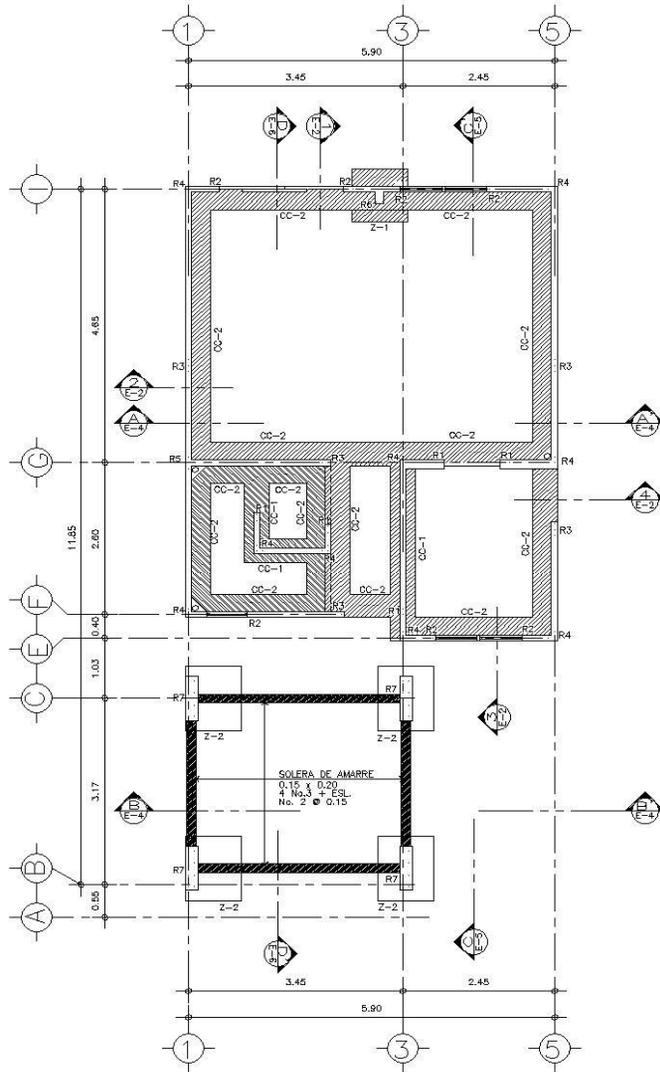
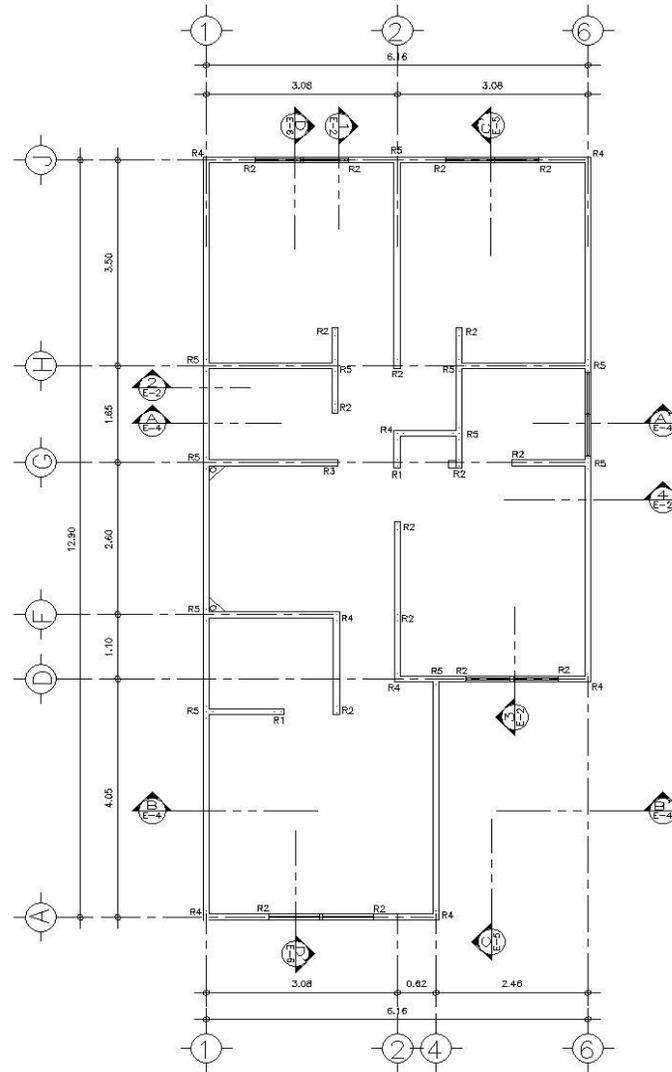


Figura 38. Estructuras: Cimentación y refuerzo vertical



PLANTA DE CIMENTACION + REFUERZO VERTICAL
PLANTA BAJA



PLANTA REFUERZO VERTICAL
PLANTA ALTA

Fuente: Planos de obra

Figura 39. Estructuras: Detalle de cimentación y refuerzo vertical

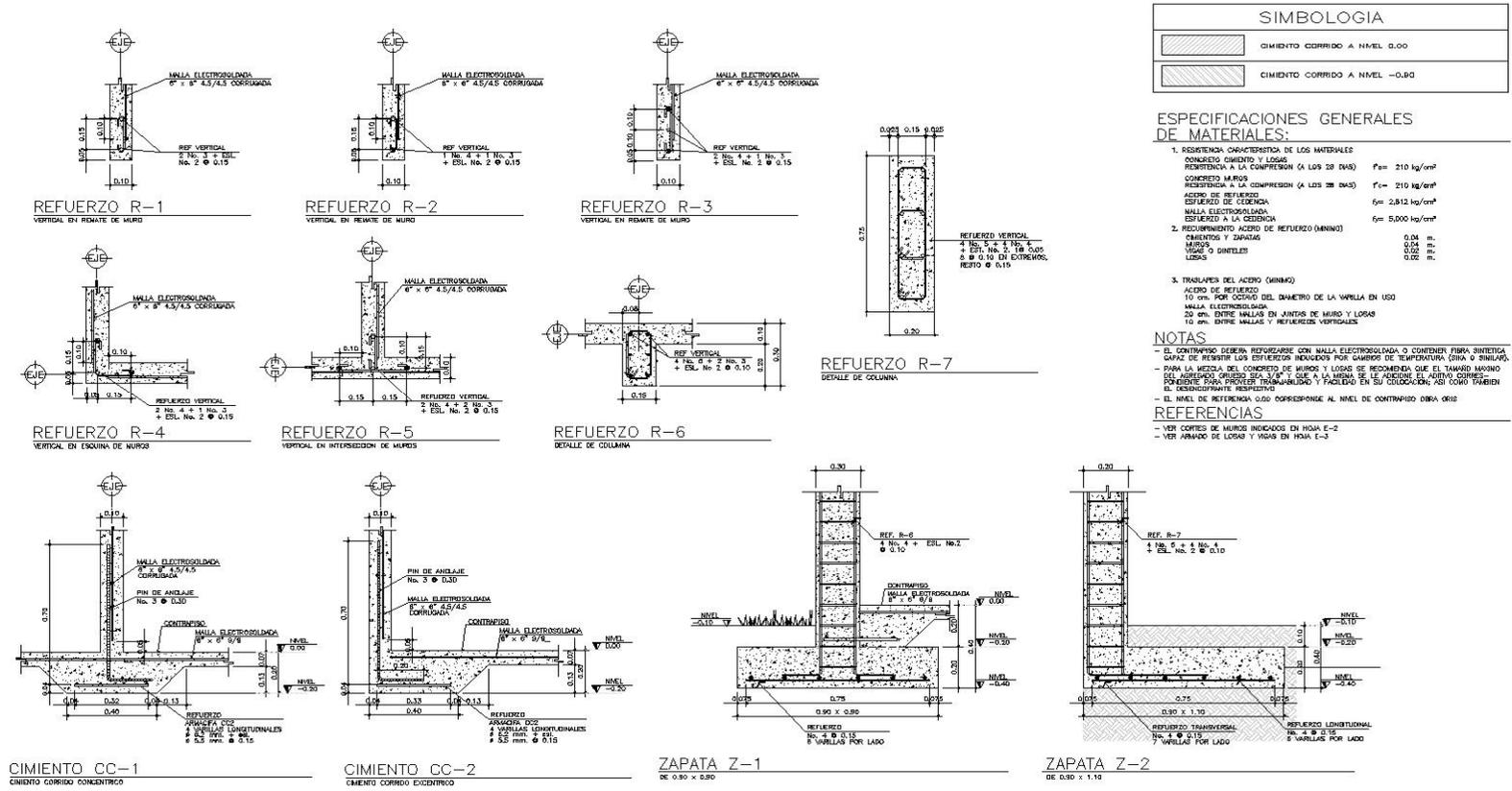


Figura 41. Estructuras: Losas

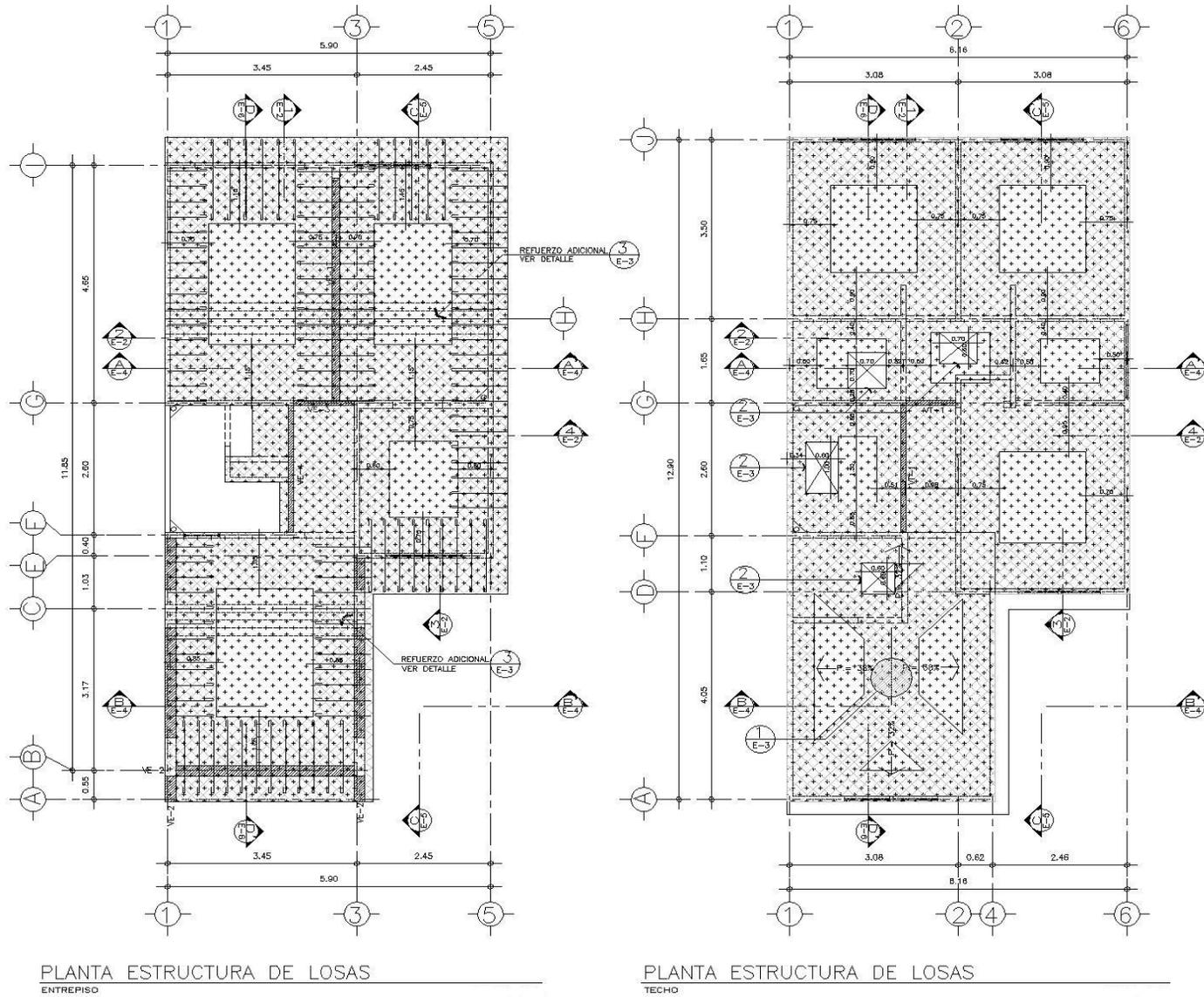


Figura 42. Estructuras: Detalle de losas

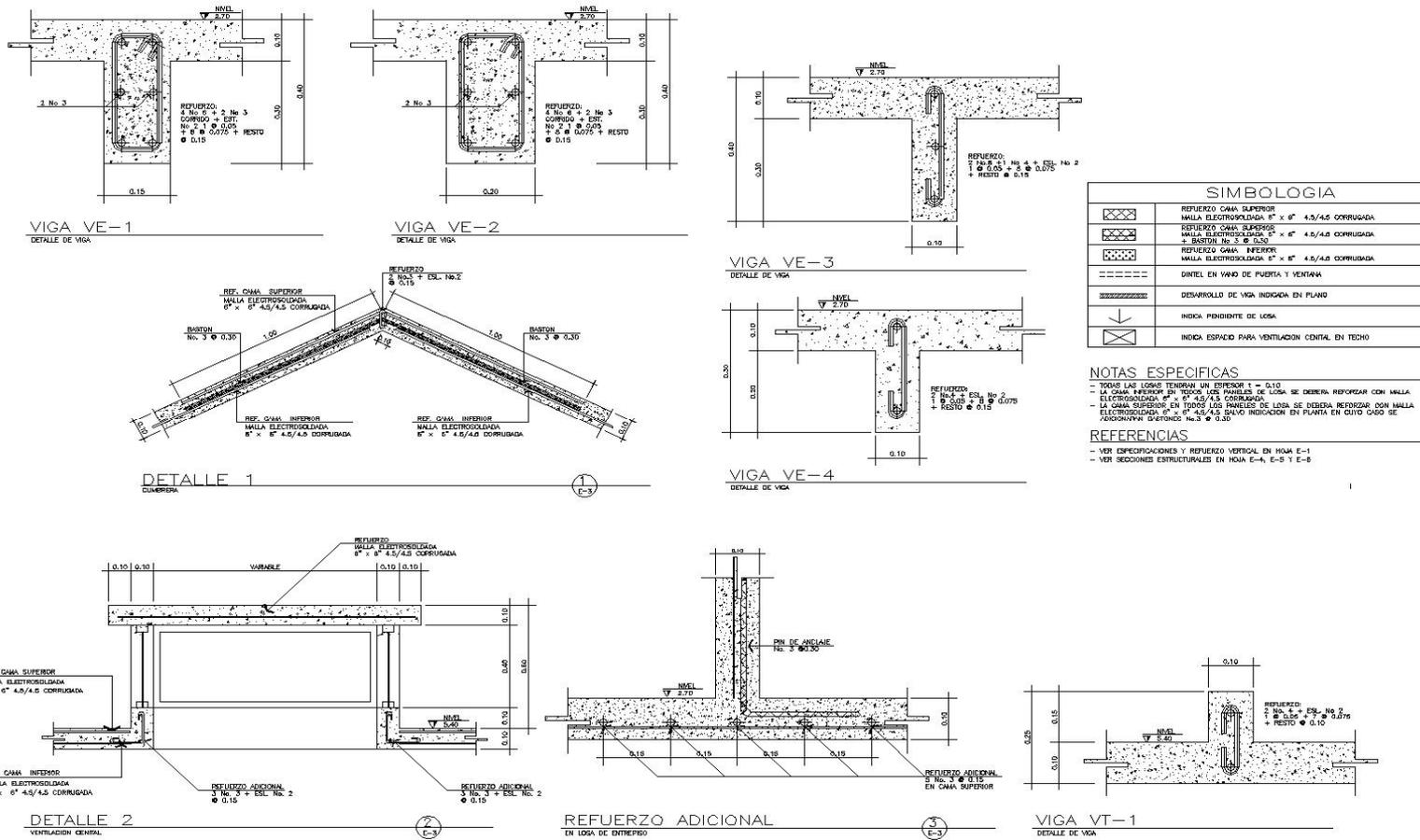


Figura 43. Trabajos preliminares



Fuente: Trabajos en obra

Figura 44. Trabajos de cimentación



Fuente: Trabajos en obra

Figura 45. Fundición de cimentación



Fuente: Trabajos en obra

Figura 46. Obra gris del primer nivel



Fuente: Trabajos en obra

Figura 47. Obra gris del segundo nivel



Fuente: Trabajos en obra

Figura 48. Obra gris de techos



Fuente: Trabajos en obra

Figura 49. Fundición del segundo nivel y techos



Fuente: Trabajos en obra

Figura 50. Resane grueso y fino



Fuente: Trabajos en obra