

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y
CIVIL

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL



“OPTIMIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE
OBRAS CON LA TÉCNICA DE LA LÍNEA DE BALANCE EN
PROYECTOS DE EDIFICACIÓN”

TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR: DELFÍN ESTEBES YARANGA

ASESOR: ING. CRISTIAN CASTRO PÉREZ

CO-ASESOR: ING. PABLO ORIHUELA ASTUPINARO

AYACUCHO, ABRIL DE 2015

**“OPTIMIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE OBRAS
CON LA TÉCNICA DE LA LÍNEA DE BALANCE EN PROYECTOS DE
EDIFICACIÓN”.**

RECOMENDADO : 17 DE DICIEMBRE DEL 2014

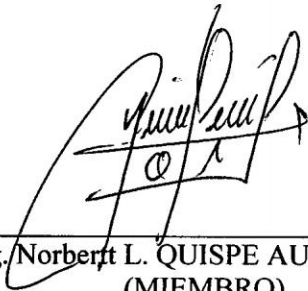
APROBADO : 09 DE ABRIL DEL 2015



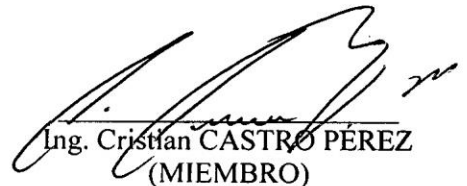
MSc. Ing. Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
(PRESIDENTE (e))



Ing. Rubén A. YACHAPA CONDEÑA
(MIEMBRO)



Ing. Norbert L. QUISPE AUCCAPUCLLA
(MIEMBRO)



Ing. Cristian CASTRO PÉREZ
(MIEMBRO)



Ing. Floro N. YANGALI GUERRA
(SECRETARIO DOCENTE)

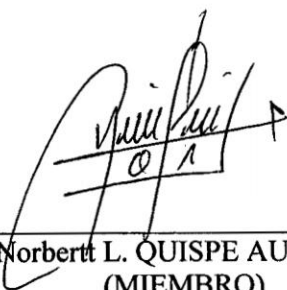
Según el acuerdo constatado en el Acta, levantada el 09 de abril del 2015, en la Sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil Sr. **Delfin ESTEBES YARANGA**, con la Tesis Titulado “**OPTIMIZACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE OBRAS CON LA TÉCNICA DE LA LÍNEA DE BALANCE EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN**”, fue calificada con la nota de DIECISIETE (17) por lo que se da la respectiva APROBACIÓN.



MSc. Ing. Ernesto ESTRADA CÁRDENAS
(PRESIDENTE (e))



Ing. Rubén A. YACHAPA CONDEÑA
(MIEMBRO)



Ing. Norbert L. QUISPE AUCCAPUCLLA
(MIEMBRO)



Ing. Cristian CASTRO PÉREZ
(MIEMBRO)



Ing. Floro N. YANGA ALI GUERRA
(SECRETARIO DOCENTE)

Resumen

La industria de la construcción ha presentado en los últimos años una evolución en cuanto a las filosofías de su producción pasando de enfoques tradicionales a nuevos enfoques como la ofrecida por la filosofía Lean. Sin embargo, existe en nuestro medio gran cantidad de proyectos que tienen problemas en el planeamiento y programación que no llegan a cumplir con su plazo contractual y los métodos de programación tradicionales basados en CPM no han podido ayudar en la solución del problema. Existen en la actualidad Sistemas de Gestión Basados en la Localización (LBMS), que proponen un nuevo enfoque para el planeamiento, programación y control de los proyectos de construcción, que fueron creados específicamente para ésta industria.

La presente tesis está enfocada en el desarrollo de la metodología de la Línea de Balance (Line of Balance), como un método de gestión basado en la localización y propone su implementación práctica en el planeamiento, programación y control de proyectos de edificación. Con este fin, luego del desarrollo del estado del arte y la propuesta metodológica, se muestra la implementación del método en un proyecto de edificación de 15 pisos y 02 sótanos ejecutado en la ciudad de Lima.

A Dios por ser el motor de mi vida.

A mis padres Delfín Estebes y Julia Yarangá, por haberme brindado su apoyo y por haberme formado con los principios de honestidad, responsabilidad y entereza, valores que hoy practico, y por ser para mí un ejemplo de vida.

A mi novia Roxana por todo el apoyo y comprensión que me ha dado durante este tiempo.

Agradecimientos

Deseo agradecer especialmente al Ing. Pablo Orihuela Astupinaro, por su apoyo e inspiración, y por haberme brindado la oportunidad de poder participar en la construcción del proyecto a partir del cual he podido elaborar este trabajo.

Asimismo, quiero agradecer al Ing. Cristian Castro Pérez, por brindarme su apoyo y sugerencias durante la elaboración del presente trabajo y deseo expresar además mi admiración y respeto hacia su persona.

Quiero agradecer también a los amigos que me han dado todas las facilidades y brindado la información que he requerido para poder sustentar el presente trabajo, ya que sin su apoyo no hubiera sido posible.

Índice general

Portada	I
Resumen	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Índice general	IV
Índice de figuras	IX
Índice de cuadros	XII
1. Introducción	1
1.1. Definición del Problema	1
1.1.1. Marco Económico de la Industria de la construcción en el Perú	1
1.1.1.1. Indicadores económicos del Sector construcción . . .	1
1.1.1.2. Proceso de planeamiento, programación y control de edificaciones actual	3
1.2. Formulación del problema	7
1.2.1. Problema Principal	7
1.2.2. Problemas secundarios	7
1.3. Objetivos de la Tesis	8
1.3.1. Objetivo General	8
1.3.2. Objetivos Específicos	8
1.4. Antecedentes	8

1.5. Justificación	9
1.6. Importancia	10
1.7. Hipótesis	10
1.7.1. Hipótesis general	10
1.7.2. Hipótesis específicas	10
1.8. Metodología de la investigación	11
1.8.1. Tipo de Investigación a desarrollar	11
1.8.2. Organización del estudio	11
1.9. Instrumentos de recolección de datos	12
1.10. Herramientas de análisis	13
1.11. Alcance de la tesis	13

2. Estado del arte de la Gestión Basada en la Localización y las Líneas de Balance **14**

2.1. Antecedentes Generales	14
2.2. El Sistema de Gestión Basado en la Localización y el Lean Construction	15
2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)	17
2.3.1. Sistema de Planeamiento Basado en la Localización	17
2.3.1.1. Introducción	17
2.3.1.2. Estructura de división por localización (LBS)	18
2.3.1.3. Determinación de las tareas del programa	20
2.3.1.4. Cantidades basadas en la localización	21
2.3.1.5. Cálculo de las duraciones de las tareas	23
2.3.1.6. Relaciones lógicas entre actividades y localizaciones	24
2.3.1.7. Factibilidad y Gestión del Riesgo	24
2.3.2. Sistema de Control Basado en la Localización	26
2.3.2.1. Introducción	26
2.3.2.2. Componentes del sistema de control basado en la localización	28
2.4. Líneas de Balance	31
2.4.1. Historia	31
2.4.2. Definición	31

2.4.3.	Metodología de la Línea de balance.	33
2.4.4.	Maneras de optimización del programa	33
2.4.5.	Ventajas y desventajas de LoB vs CPM	34
2.4.6.	Control de la producción con Líneas de balance.	37
2.4.6.1.	Seguimiento del progreso de tareas	37
2.4.6.2.	Tabla de control de la producción	38
2.4.6.3.	Tipos de desviaciones del programa	39
2.4.6.4.	Acciones de control	42
2.4.7.	Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS) y el Last Planner System (LPS)	42
2.5.	Buffer de programación	43
2.5.1.	Introducción	43
2.5.2.	Variabilidad en la construcción.	44
2.5.3.	Clasificación de los Buffer	45
2.5.4.	Metodología para el cálculo y la administración de Buffers. . .	45
2.6.	Indicadores de Evaluación	47
2.6.1.	Indicador de costos.	47
2.6.2.	Indicador de cumplimiento temporal.	47
3.	Metodología propuesta para la implementación de LoB	48
3.1.	Planeamiento y programación con Líneas de Balance	48
3.1.1.	Paso 01: Selección de Tareas	49
3.1.2.	Paso 02: Selección del LBS	49
3.1.3.	Paso 03: Cálculo de las cantidades por localización	50
3.1.4.	Paso 04: Cálculo de la duración	51
3.1.5.	Paso 05: Definir relaciones lógicas de dependencia	52
3.1.6.	Paso 06: Graficar las Líneas de Balance	52
3.1.7.	Paso 07: Sincronizar actividades	52
3.1.8.	Paso 08: Calcular e incluir buffer	52
3.1.9.	Paso 09: Simulación de riesgo	53
3.1.10.	Paso 10: Evaluación de factibilidad	54
3.1.11.	Paso 11: Definir Línea de Base	55

3.2.	Sistema de control con Líneas de balance	55
3.2.1.	Paso 01: Determinar el Plan Actual	55
3.2.2.	Paso 02: Seguimiento de progreso de programa	56
3.2.3.	Paso 03: Elaboración de pronósticos de programa	57
3.2.4.	Paso 04: Análisis del tipo de desviación	57
3.2.5.	Paso 05: Acciones de control	57
4.	Implementación piloto en un proyecto de Edificación	58
4.1.	Descripción del proyecto	58
4.2.	Disponibilidad de datos	59
4.3.	Proceso de planeamiento del programa	60
4.3.1.	Estructura de división por localización (LBS)	60
4.3.2.	Definición de tareas del programa.	61
4.3.3.	Cantidades por localización, ratios de productividad y recursos.	62
4.3.4.	Cálculo de los tiempos de duración de las tareas.	62
4.3.5.	Dependencias y retrasos.	62
4.3.6.	Gráfica de las líneas de balance.	64
4.3.7.	Cálculo de Buffer.	66
4.3.8.	Análisis de riesgos	68
4.3.9.	Evaluación de la factibilidad del programa y Línea de Base	69
4.4.	Proceso de control del programa	71
4.4.1.	Proceso de monitoreo y progreso del programa	71
4.4.2.	Elaboración de pronósticos y alarmas	71
5.	Resultados y discusión	74
5.1.	Resultados del análisis estadístico del diagnóstico	74
5.2.	Resultados de la implementación piloto	76
5.2.1.	Problemas y observaciones del proceso de implementación	76
5.2.2.	Tiempos y velocidades de construcción programadas y reales	79
5.2.3.	Evaluación de índices de desempeño	81
5.2.3.1.	Índice de costos	81
5.2.3.2.	Índice de cumplimiento temporal:	81
5.3.	Propuesta de investigaciones futuras	82

6. Conclusiones	83
6.1. Del diagnóstico	83
6.2. De la metodología	83
6.3. Del proceso de implementación	84
Referencias Bibliográficas	85
Apéndices	90
A. Datos de producción de obra para cada tarea por fecha	91
B. Cantidades por localización y rendimientos de cada tarea del programa	92
C. Cálculo de Buffer de WIP	93
D. Programa Maestro con Líneas de Balance	94
E. Control del programa maestro con Líneas de Balance	95
F. Simulación de Riesgo con Montecarlo	96

Índice de figuras

1.1. PBI total global y del sector construcción entre los años 2008 y 2014 ²	2
1.2. PBI Construcción en mill S/. del 2000 al 2013 ²	2
1.3. variación porcentual del PBI mensual para el 2014. ³	3
1.4. Métodos de programación y control en Edificaciones en Lima	4
1.5. Porcentaje de retraso de tiempos de construcción de proyectos de Edificación en Lima	5
1.6. Factores principales que contribuyen a que los proyectos no cumplan con su objetivo de negocio	6
2.1. Planeamiento basado en la localización del Empire State	15
2.2. Tipología para los métodos de programación de proyectos de construcción ¹⁵	17
2.3. Esquema proyecto típico de Edificaciones de tres bloques ¹⁵	19
2.4. LBS para proyecto típico de la figura 2.3 ¹⁵	19
2.5. Ejemplo de Sistema de Localización ¹⁸	21
2.6. Línea de Balance para la tarea pórtico estructural	24
2.7. Tipología del control de la producción	27
2.8. Representación gráfica Línea de Balance.	32
2.9. Variación de los ritmos de la actividad en las diferentes localizaciones.	32
2.10. Metodología del LBMS usando Línea de Balance ⁶	33
2.11. Comparación entre del programa de un proyecto antes y después de la optimización ²⁸	34
2.12. Red de precedencias programa de vivienda unifamiliar ³⁰	36
2.13. Líneas de Balance del ejemplo del cuadro 2.4	36

2.14. Comparación gráfica del progreso vs la línea de base y el pronóstico del programa.	38
2.15. Tabla de control de la producción ¹⁰	38
2.16. Efecto el retraso en el inicio de la tarea en programas sincronizados y no sincronizados ³⁵	39
2.17. Efectos del ratio de producción muy lento en la tarea predecesora en programas sincronizados y no sincronizados ³⁵	40
2.18. Efectos del ratio de producción muy rápida en la tarea sucesora en programas sincronizados y no sincronizados ³⁵	40
2.19. Efectos de la división del trabajo en múltiples localizaciones en programas sincronizados y no sincronizados ³⁵	41
2.20. Efectos de una secuencia de construcción incorrecta en programas sincronizados y no sincronizados ³⁵	41
2.21. Líneas de flujo con el programa planificado, progreso actual, pronóstico y alarmas ⁸	42
2.22. Representación gráfica de Buffer de WIP y Buffer de tiempo	46
3.1. Metodología para el planeamiento y programación con Líneas de Balance	48
3.2. Asignación de niveles de riesgo en Vico Control 2009	54
3.3. Metodología para el seguimiento y control con Líneas de Balance	55
3.4. Ingreso de información de producción en Vico Control 2009	56
4.1. Distribución típica de la estructura y vista panorámica del edificio.	59
4.2. Tren de actividades en Ejército 231	61
4.3. Estructura de división por localización Ejército 231	61
4.4. Cálculo de las duraciones en Vico Control 2009.	63
4.5. Programa maestro con líneas de balance Ejército 231, sin inclusión de buffers	65
4.6. Niveles de riesgo para cada tarea en cada localización.	65
4.7. Riesgo del programa sin inclusión de buffers	66
4.8. Distribución temporal de la probabilidad de la fecha de finalización del proyecto sin inclusión de buffers.	66

4.9. Programa maestro con líneas de balance Ejército 231, con inclusión de buffers.	68
4.10. Riesgo del programa con inclusión de buffers.	68
4.11. Distribución temporal de la probabilidad de la fecha de finalización del proyecto, con inclusión de buffers.	69
4.12. Progreso del programa al 25/04/2013	72
4.13. Estado de progreso actual, pronósticos y alarmas del programa al 28/01/2013.	72
5.1. Métodos de programación y control más empleados en Edificaciones en Lima	75
5.2. Porcentaje de retraso de tiempos de construcción de proyectos de Edificación en Lima	75
5.3. Desviaciones del programa de implementación piloto	78

Índice de cuadros

1.1. Principales antecedentes de la investigación	9
2.1. Cantidades basadas en la localización para la tarea Pórtico Estructural	21
2.2. Cuadrilla unitaria y su ratio de producción estándar asumida para la tarea Pórtico Estructural del ejemplo de la Tabla 2.1	22
2.3. Cálculo de las duraciones para la tarea Pórticos de concreto, para un ritmo de entrega de 01 piso por semana.	24
2.4. Datos ejemplo programación CPM.	36
2.5. Limitaciones y desventajas mencionadas por planificadores y acadé- micos y comentarios del Representante de Vico en cada punto ⁵	37
3.1. Lista de tareas y actividades propuesto para proyectos de edificación a nivel de acabados	50
3.2. Formato para el cálculo de cantidades por localización	51
3.3. Formato para el cálculo de las duraciones de las tareas según la loca- lización	51
3.4. Formato propuesto para el cálculo de buffer.	53
3.5. Formato para la toma de datos para el seguimiento con Líneas de Balance	56
4.1. Datos del proyecto de caso de estudio	59
4.2. Cálculo de la duración por localización.	63
4.3. Relaciones de dependencia de las tareas del programa	64
4.4. Fecha programada, esperada, más temprana y más tardía del final del proyecto, sin buffers	66
4.5. Datos para el cálculo de buffer entre la tarea de Tarrajeo de cielo raso	67

4.6. Fecha programada, esperada, más temprana y más tardía del final del proyecto, con buffers	69
4.7. Descripción de las alarmas generadas.	73
5.1. Acciones de control propuestas para las desviaciones del programa en proyecto piloto	78
5.2. Tiempos de construcción programadas y reales en proyecto piloto . .	80
5.3. Velocidades constructivas logradas en proyecto piloto	80

Capítulo 1

Introducción

1.1. Definición del Problema

1.1.1. Marco Económico de la Industria de la construcción en el Perú

1.1.1.1. Indicadores económicos del Sector construcción

La economía en el Perú ha mostrado un crecimiento sostenido durante los últimos años, mostrando un incremento de 5.8% en el 2013, cifra que le ha permitido al Perú posicionarse como la tercera economía con mayor crecimiento en América Latina en ese año.¹

En este sentido, dentro de los sectores que ha mostrado mayor crecimiento destaca el sector *Construcción* que ha tenido un índice de crecimiento de desarrollo que casi ha sido el doble del crecimiento económico del país, como muestra la figura 1.1, llegando a registrar un porcentaje variacional de 8.9% en el 2013.²

En la última década prácticamente se ha triplicado el PBI del sector construcción, pasando de 10,169 millones de nuevos soles en el 2000 a 31,353 millones de nuevos soles en el 2013 como se puede ver en la figura 1.2.²

Este dinamismo del sector se debe a que se vienen desarrollando importantes

1.1. Definición del Problema

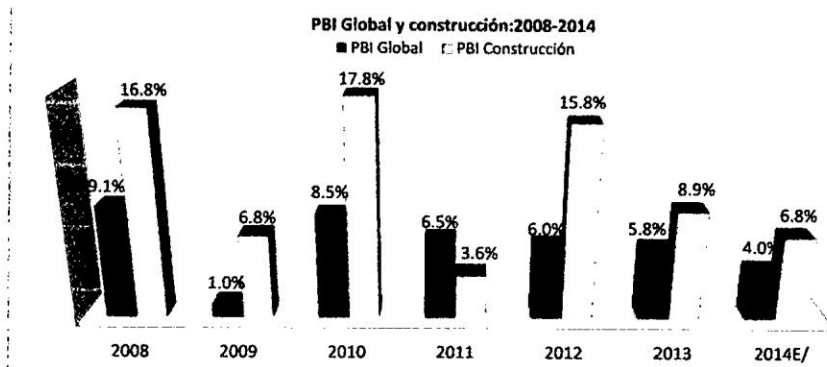


Figura 1.1: PBI total global y del sector construcción entre los años 2008 y 2014²

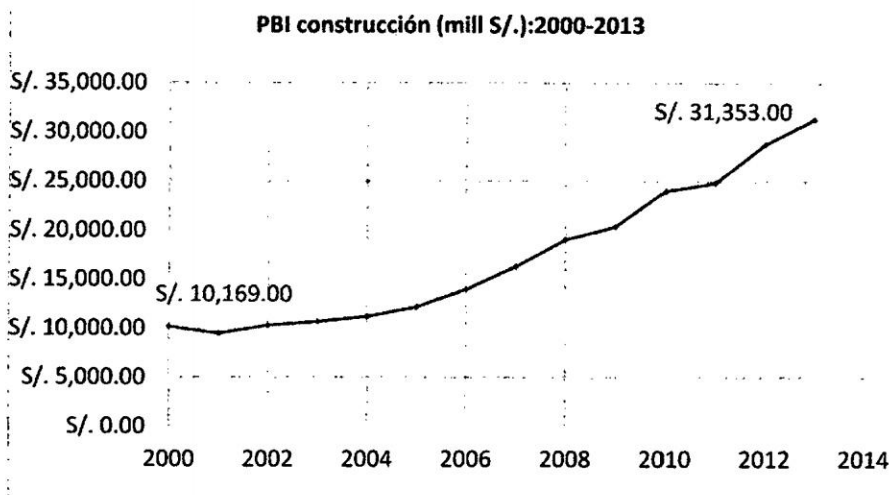


Figura 1.2: PBI Construcción en mill S/. del 2000 al 2013²

proyectos sobretodo en el sector minero, obras industriales, construcción de oficinas, centros comerciales, conjuntos habitacionales y edificaciones multifamiliares.³

Si revisamos las últimas cifras en el sector para el presente año, vemos que aún seguimos creciendo aunque ya no con la velocidad a la que lo veníamos haciendo³ como se puede ver en la figura 1.3.

Sin embargo, pese al crecimiento global de la industria, la rentabilidad del Boom Inmobiliario se ha reducido del 30% al 15%, según afirmaciones hechas por el Presidente del Comité de Provedores de Bienes y Servicios de CAPECO, Enrique Pajuelo, quien indicó que la época a época de márgenes y rentabilidades altas en la construcción ya se acabó. Ahora lo que toca a las constructoras e inmobiliarias es trabajar en altas eficiencias en el manejo de costos. Por otro lado, también afirmó

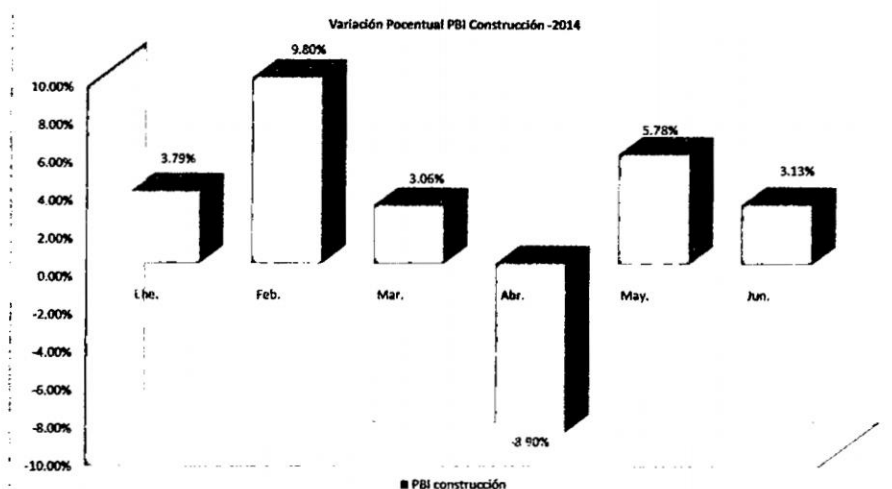


Figura 1.3: variación porcentual del PBI mensual para el 2014.³

sólo aquellas empresas constructoras que sean eficientes serán las que seguirán adelante y se consolidarán.⁴

Estamos entonces ante un panorama de crecimiento del sector construcción, en el que resulta necesario incrementar el uso más eficiente de los recursos, de tal manera de poder optimizar costos y plazos, para poder garantizar calidad de crecimiento económico. Por ello, es necesario plantear estrategias y metodologías de gestión que nos permitan incrementar la productividad del sector y contribuir al fortalecimiento de nuestra economía.

1.1.1.2. Proceso de planeamiento, programación y control de edificaciones actual

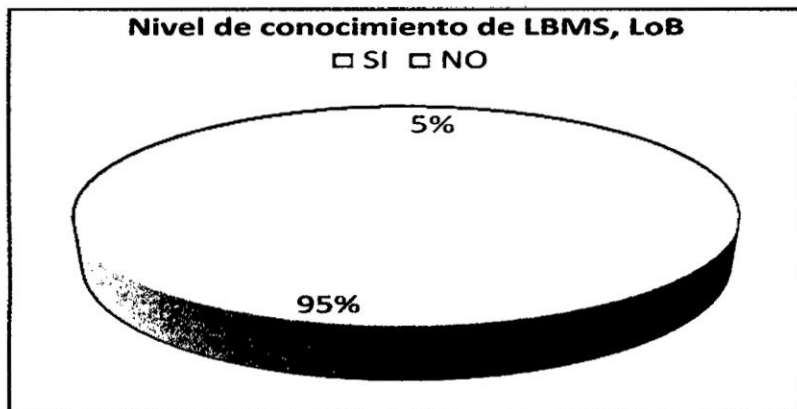
Planificar, programar y controlar un proyecto adecuadamente resulta un factor clave para lograr que el proyecto termine dentro de sus objetivos de plazo y costo. Sin embargo cuando no se planifica nos ubicamos en un contexto de improvisación, en donde se realizan actividades sin considerar los impactos que se tendrán aguas abajo de la cadena productiva, tratando de solucionar los problemas cuando los tenemos encima orientándonos a un control de estilo reactivo, en lugar de un estilo proactivo que es a donde se debería apuntar, lo que finalmente genera mayores tiempos de ejecución y sobrecostos al proyecto.

1.1. Definición del Problema

Con el objetivo de evaluar a nivel local las principales metodologías de programación y control empleados, se ha elaborado una encuesta en 40 proyectos de edificación en Lima Metropolitana arrojando los resultados mostrados en la figura 1.4.



(a) Métodos de programación y control



(b) Conocimiento de LBMS, LoB

Figura 1.4: Métodos de programación y control en Edificaciones en Lima

De acuerdo con esto, el 85% de los proyectos encuestados utilizan como principal metodología de programación los diagramas de Gantt, el 70% usa las metodologías de redes como CPM o PERT. Un 55% emplea las herramientas del Last Planner para el control de la producción. En cuanto al nivel de conocimiento y uso que se tiene de los Sistemas de Gestión Basados en la localización, como la Línea de Balance, se tiene que un 5% de los encuestados conoce el método pero no lo han empleado.

De acuerdo a los resultados vemos que los métodos de barras y redes son las metodologías que más se utilizan dentro de nuestra industria para la programación y control.

1.1. Definición del Problema

Diversos estudios muestran que los métodos de programación y control basados en CPM, no son apropiados para la industria de la construcción pues han sido elaboradas para proyectos basados en la actividad y no en la localización, como es el caso de la industria de la construcción.⁵⁻⁸ Una discusión sobre esto se presenta en la sección 2.4.5.

Por otro lado, también se investigó cuántos proyectos de edificación que se ejecutaron en Lima en los últimos años terminaron fuera del plazo y el excedente de tiempo en %. Con este objetivo se reunió información de los tiempos de planificación programados y reales de 37 proyectos de edificaciones de 06 constructoras diferentes. La figura 1.5 muestra los resultados obtenidos.

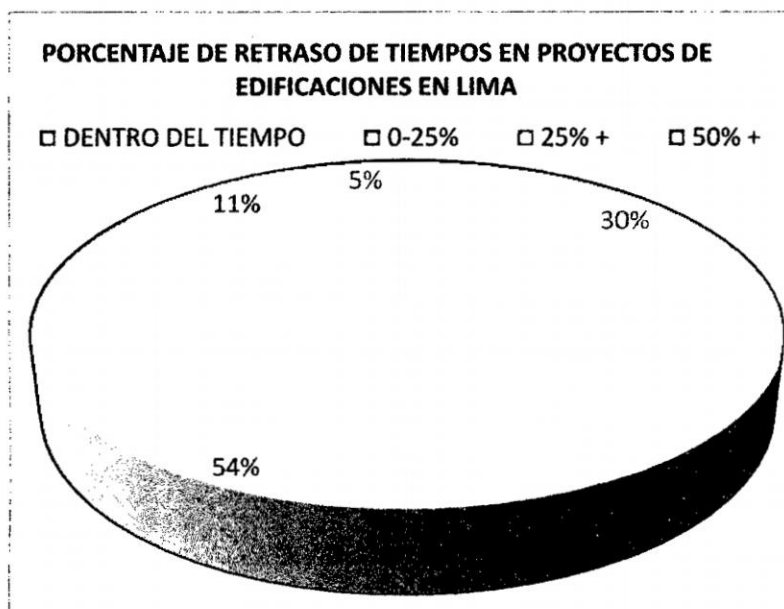


Figura 1.5: Porcentaje de retraso de tiempos de construcción de proyectos de Edificación en Lima

Los resultados muestran que sólo el 30% de los proyectos que se ejecutaron terminaron dentro del plazo programado, lo que implica que el 70% de los proyectos terminan fuera de su plazo.

Pero ¿Cuáles son las causas de los retrasos de los proyectos? Un estudio elaborado

1.1. Definición del Problema

por la firma Price Waterhouse Coopers el 2013⁹ en México sobre las tendencias en proyectos de construcción en el marco de un evento denominado “Hacia la Optimización de Proyectos de Construcción”, revela las principales causas de retrasos, que se muestran en la figura 1.6

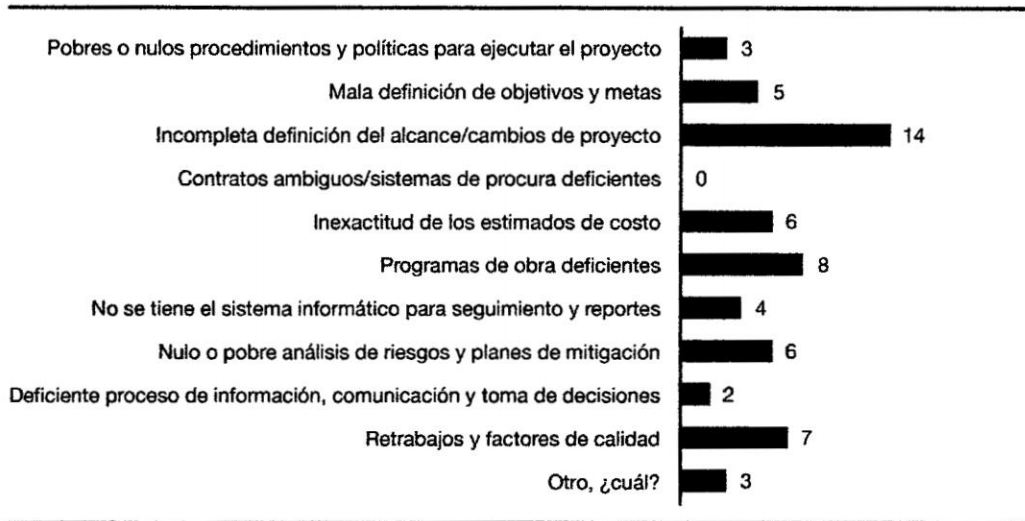


Figura 1.6: Factores principales que contribuyen a que los proyectos no cumplan con su objetivo de negocio

Aunque de acuerdo con los resultados, el principal factor de retraso en los proyectos es el cambio de alcance del mismo, este obedece a una variabilidad externa, que generalmente viene acompañada de un aumento de costos e incremento del plazo contractual aceptados, existiendo en la actualidad algunas herramientas para mitigar este factor y captar la necesidad del cliente de forma más eficiente, como son las matrices QFD o el Lean Project Delivery System. Pero existen también otros factores que originan atrasos en los proyectos, como los que se muestran en la figura 1.6, que podrían ser mitigados a través de un cambio de la herramienta de programación, empleando para ello metodologías que vayan más acorde con el complejo tipo de industria de la construcción, como las Líneas de Balance y los Sistemas de Gestión Basados en la Localización. Algunos de éstos factores podrían ser:

- Programas de obra deficientes.
- Nulos o pobres análisis de riesgos o planes de mitigación.

1.2. Formulación del problema

- No se tiene sistema informático para el seguimiento y reportes.

No es el objetivo de la presente tesis afirmar que se mitigará por completo las razones de los retrasos en los proyectos, pues éstos dependen de muchos factores y sobre todo del tipo de variabilidad a los que se enfrenta cada proyecto. Sin embargo su uso contribuye al incremento de la confiabilidad en el proceso de planeamiento, programación y control.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema Principal

- ¿Será posible que se necesiten nuevos métodos de programación y control de obras que estén más acorde con las características de la industria de la construcción, que permitan incrementar la eficiencia de los programas, mejorar los flujos de producción, reducir la variabilidad y riesgos del mismo?

1.2.2. Problemas secundarios

- ¿La herramienta de programación y control tendrá que ver con el retraso de los proyectos de construcción?
- ¿En que consisten los Sistemas de Gestión Basados en la Localización?
- ¿Que se entiende por variabilidad y cómo puede incluirse para el cálculo y dimensionamiento de buffer del programa?
- ¿La metodología para planeamiento, programación y control que sigue el método de la Línea de Balance será adecuado para proyectos de edificación? Así mismo, ¿Podrá relacionarse con la Filosofía Lean?
- ¿Cuál es el efecto que tendrá la aplicación de este método en la optimización de la gestión del tiempo en un proyecto de edificación?

1.3. Objetivos de la Tesis

1.3.1. Objetivo General

Introducir el método de la Línea de Balance, e implementarlo como un método para la gestión de la programación y control de proyectos de Edificación basado en la localización, que nos permitan incrementar la eficiencia, reducir la variabilidad y mejorar los flujos de los proyectos, entre otros. Así como mostrar la buena co-relación de este método con la filosofía de Lean Construction.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico de la situación actual de la gestión del tiempo en proyectos de Edificación en la ciudad de Lima.
- Mostrar las bondades y características del sistema de gestión basado en localización (LBMS), así como estudiar su origen a partir de las filosofías tradicionales y el planeamiento Lean.
- Plantear una metodología para el cálculo de los buffer de programas entre actividades interdependientes que ayuden a disminuir la alta variabilidad de los proyectos de construcción y por lo tanto disminuir el riesgo del programa.
- Estudiar y aplicar el método de la Línea de Balance (LoB) como una alternativa de programación y control para proyectos de Edificación, así como su relación con el Last Planner System.
- Mostrar como caso de estudio, el desarrollo de la programación de un proyecto inmobiliario empleando las técnicas y herramientas estudiadas, con Vico Control 2009 como herramienta informática de soporte.

1.4. Antecedentes

En el cuadro 1.1 se muestran las principales investigaciones que anteceden a la presente tesis.

Autor	Investigación	País
Rodriguez Martinez N.(2013)	Optimization of Flowline Scheduling vs.Balanced Resources and Task Continuity.	Noruega
Bhushan RS. y Raghavan S.(2013)	Line of Balance- A Contractor Friendly Scheduling Technique.	India
Orihuela P. y Estebes D.(2013)	Aplicación del Método de la Línea de Balance a la Planificación Maestra.	Perú
Botero Botero LF. y Acevedo Agudelo H.(2011)	Simulación de operaciones y línea de balance: Herramientas integradas para la toma de decisiones.	Brasil
Kenley R. y Seppänen O.(2010)	Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control.	EE.UU.
Loria JH.(2010)	Programación de obras con la técnica de la Línea de Balance.	México
Seppänen O,Ballard G. y Pesonen S.(2010)	The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System.	Finlandia
Seppänen O.(2009)	Empirical research on the success of production control in building construction projects	Finlandia

Cuadro 1.1: Principales antecedentes de la investigación

1.5. Justificación

Con el crecimiento de la industria de la construcción a nivel nacional, crecen también los costos de los recursos y las necesidades y exigencias del sector. Para adaptarse a este mercado, es necesario avanzar hacia el uso más eficiente de los recursos, lo cual hace necesario que se implementen nuevas soluciones en los sistemas de gestión, como los métodos de gestión basados en localización (LBMS) y el Lean Construction. El método de Línea de Balance es una herramienta de LBMS que se enmarca dentro de la filosofía Lean, pues parten de los mismos principios de minimizar las pérdidas, incrementar la productividad y disminuir la variabilidad.

Los resultados de la presente investigación están dirigidos a gerentes de proyectos, ingenieros y arquitectos dedicados al planeamiento, programación y control de proyectos de edificaciones.

1.6. Importancia

La importancia de difundir e implementar esta metodología para la gestión del tiempo de los proyectos, radica en sus grandes ventajas respecto de otras técnicas de programación que lo hacen adecuado para los proyectos de edificación, además que nos permite mantenernos a la vanguardia de los nuevos métodos que se vienen implementando a nivel mundial, mejorando así el uso de los recursos tanto públicos como privados en el sector y por lo tanto contribuyendo con el crecimiento de la industria a nivel Nacional.

1.7. Hipótesis

1.7.1. Hipótesis general

La introducción e implementación de sistemas de gestión basados en la localización, como el método de la Línea de Balance, para el planeamiento, programación y control de proyectos mejora la eficiencia de los cronogramas, mejora la visualización, reduce la variabilidad y facilita el planeamiento de los flujos de trabajo.

1.7.2. Hipótesis específicas

- Las herramientas de programación y control son una de las causas para el retraso en los plazos de construcción en edificaciones.
- Los sistemas de gestión basados en la localización tienen muchas características que facilitan el planeamiento y la programación, y se enmarcan dentro de la filosofía Lean.
- Cuantificar objetivamente el tamaño de los buffer de programas entre actividades interdependientes ayudan a disminuir la alta variabilidad de los proyectos de construcción y por lo tanto disminuir el riesgo del programa.
- El método de la Línea de Balance puede integrarse adecuadamente con las características de una Programación Maestra propuesta por sistema Last Planner para el control de los proyectos de edificación.

- Es posible desarrollar la programación y control de un proyecto de edificación empleando Vico Control 2009 con la técnica de la Línea de Balance.

1.8. Metodología de la investigación

1.8.1. Tipo de Investigación a desarrollar

La tipología de investigación para la presente tesis es exploratoria, descriptiva y correlacional.

Es exploratoria, pues se estudia y se propone la implementación de una metodología poco difundida en nuestro medio, pero que está siendo empleado en países como Finlandia y EE.UU. en los que se ha tenido buenos resultados. Es descriptiva, pues se hace un estudio estadístico de los principales métodos de programación empleados en nuestra industria a nivel local, así como el porcentaje de proyectos que terminan fuera del plazo contractual. Es correlacional, pues se formulan relaciones para la determinación del plazo en función de las diferentes variables que influyen en su determinación.

1.8.2. Organización del estudio

La presente investigación estará dividida en cuatro capítulos. En el primer capítulo se hace un diagnóstico de la problemática con respecto al planeamiento, programación y control de proyectos a nivel de Lima. Se investiga los principales métodos de programación de obras utilizados, se hace una investigación descriptiva de los principales problemas o dificultades encontrados durante su uso y se obtiene un índice de proyectos que terminan fuera del plazo. Este proceso se puede ver en el sustento de la problemática de la presente investigación.

En el segundo capítulo, nos centramos en la comprensión a nivel conceptual de los elementos, la teoría, el desarrollo y la metodología prevista en el método de la Línea de Balance. Se muestran las relaciones entre la filosofía de Lean Construction y el sistema de gestión basado en localización (LBMS), se muestra también la

1.9. Instrumentos de recolección de datos

metodología para el cálculo y administración de los buffer de programación como un medio para la reducción de la variabilidad y la disminución del riesgo. Además se hace una descripción de la simulación de riesgos por el método de Montecarlo.

En el tercer capítulo se describe la metodología propuesta en la presente tesis para la aplicación de la Líneas de Balance en el planeamiento, programación y control de proyectos de edificación empleando el Vico Control 2009 como soporte informático.

En el cuarto capítulo se muestra el Caso de estudio práctico del proyecto Ejército 231, con el uso de Vico Control 2009.¹⁰ En esta fase se muestra la aplicación práctica de los fundamentos teóricos de las técnicas y herramientas estudiadas en un escenario de un proyecto real, que nos ayuda a probar su uso dentro de la industria de la construcción. Para esta fase se ha contado con información recogida durante la fase de construcción del proyecto ejecutado por Motiva S.A.

Finalmente, en el capítulo cinco, se establecen las principales conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

1.9. Instrumentos de recolección de datos

Para la elaboración del diagnóstico, se hace uso de encuestas dirigidas a profesionales y empresas constructoras e inmobiliarias dedicados a la construcción de edificaciones.

Para la obtención de rendimientos con fines de elaboración del programa, se emplean valores procedentes de la data histórica y prácticas constructivas de la empresa, empleando con este fin COBRA, que es un software propio para control de obras. Las cantidades por localización son obtenidas de los metrados de obra.

Para el control, los datos de producción son recogidos empleando formatos de reportes de mano de obra, equipos y herramientas que son realizados por los mismos trabajadores que elaboran el trabajo. En cuanto a las cantidades de producción, se hacen mediciones directas en obra, a partir de formatos establecidos.

1.10. Herramientas de análisis

Para el procesamiento de la información recogida y la obtención de los resultados, se emplean las herramientas siguientes:

- Hojas de cálculo de Microsoft Excel.
- Vico Control 2009.
- COBRA. Software para el control de obras.
- AutoCad 2012

1.11. Alcance de la tesis

La presente tesis se enfoca en el proceso de Gestión de Tiempos de un proyecto de Edificación, con el uso de la Técnica de Programación de la Línea de Balance, como herramienta para la elaboración y control del cronograma.

Por otro lado, para la etapa del diagnóstico de la situación actual, el estudio es realizado en la Ciudad de Lima, a nivel de Proyectos de Edificación.

Capítulo 2

Estado del arte de la Gestión Basada en la Localización y las Líneas de Balance

2.1. Antecedentes Generales

Un método de programación basado en la localización apareció por primera vez en una publicación hecha en 1909 por el Ingeniero Polaco Karol Adamiecki, en donde crea un diagrama para representar los programas al que más tarde denominaría en su más conocida publicación de 1931 Harmanogram.¹¹ Por el mismo tiempo, Henry Gantt publica su método de programación de proyectos con características similares (Publicaciones en dos artículos de 1910 y 1915). Karol Adamiecki es considerado uno de los padres de la programación y control de producción y el padre de los Sistemas de Gestión Basados en la Localización.^{11,12}

Posteriormente, ésta técnica de programación fue utilizada para el planeamiento y la construcción del Empire State en New York. Los Starret Brothers construyeron el Edificio Empire State en tiempo record, completando 102 niveles en 18 meses, logrando ciclos de 01 piso por día y dentro de lo presupuestado.¹¹

Tras éste éxito ha habido muchas investigaciones e intentos por difundir y desarrollar

2.2. El Sistema de Gestión Basado en la Localización y el Lean Construction

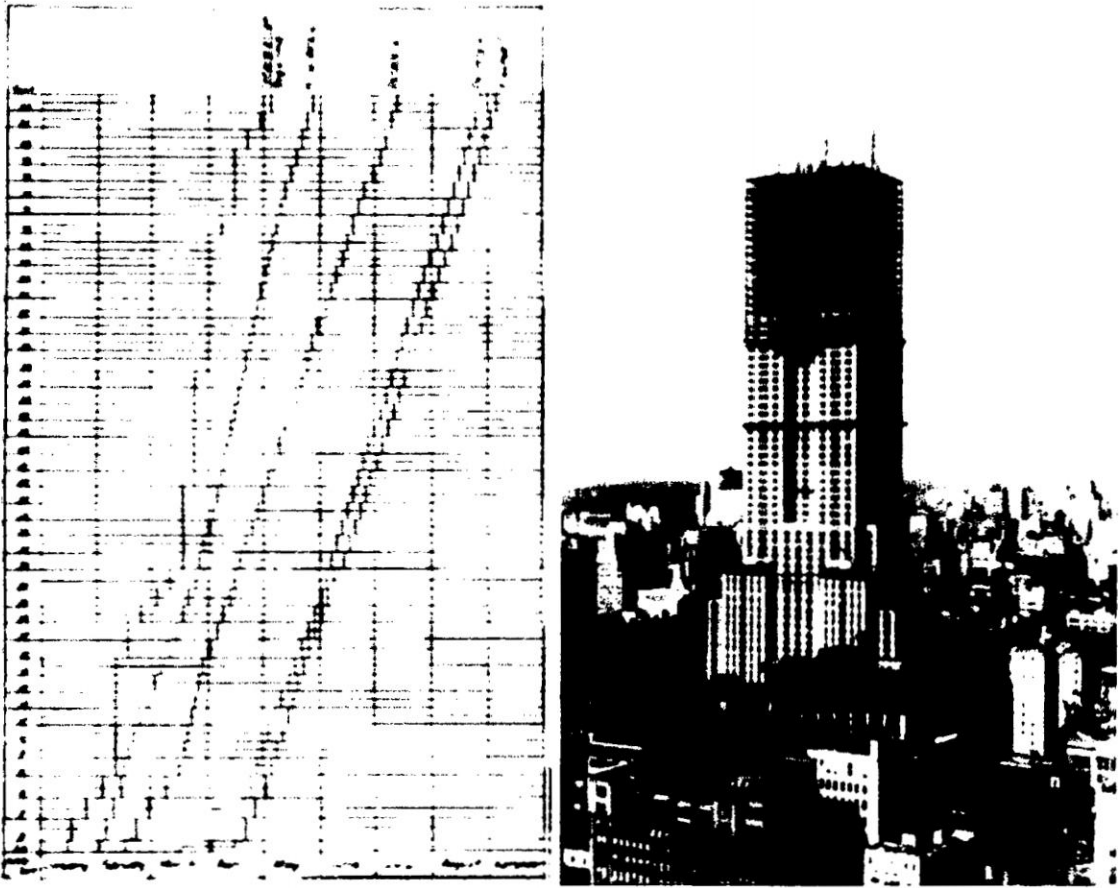


Figura 2.1: Planeamiento basado en la localización del Empire State

ésta metodología, encontrando su máxima expresión en Finlandia. Actualmente, la industria de la construcción Finlandesa utiliza esta técnica para la planificación y control de sus proyectos habiendo reducido el número de proyectos que terminan fuera de fecha al 1%, y permitiendo ahorros económicos del orden de 4 a 5%.¹¹

2.2. El Sistema de Gestión Basado en la Localización y el Lean Construction

Se puede decir que el objetivo principal del LBMS, entre ellos las Líneas de Balance, es lograr el flujo de trabajo, con el que se consiga la disminución de los desperdicios y la mejora de la productividad. Las raíces de este objetivo se pueden encontrar en la filosofía LEAN. Olli Seppanen (2009)⁶ afirma que éstos objetivos se desarrollaron en la Industria de Construcción Finlandesa independientemente al desarrollo del Lean Construction.

2.2. *El Sistema de Gestión Basado en la Localización y el Lean Construction*

Sin embargo, las herramientas para lograr este objetivo son diferentes en ambas filosofías, ya que el Lean Construction se ha sostenido principalmente en métodos de programación y control basados en la actividad.¹³ Esto debido a que los métodos CPM fueron en aquel momento las metodologías top para el planeamiento y control de proyectos.⁶ El uso de los métodos de planeamiento y control basados en la localización, por ejemplo LoB, en combinación con los principios de la filosofía Lean, incrementa la confiabilidad de los programas de construcción, debido a que son modelos más realistas, incluyen buffer de programación y consideran los recursos para el planeamiento.

La comunidad de Lean Construction ha reconocido la importancia de la planificación de flujo continuo.⁶ Por ejemplo, el Lean Project Delivery System es un mecanismo que contiene 05 fases interconectadas del proyecto (Definición del proyecto, Diseño Lean, suministro lean, montaje lean y uso del proyecto) que involucren a todos los actores del proceso de planeamiento¹⁴ cuyo objetivo es generar valor en el proceso e incrementar la confiabilidad del flujo de trabajo.

El enfoque principal del Lean Construction basado en la localización es que los recursos fluyan a través de las localizaciones sin las interrupciones causadas por la falta de requisitos previos.¹¹ El objetivo es lograr un flujo continuo como una línea de montaje en obra. El concepto de flujo, abarca tanto el "flujo de trabajo" propiamente dicho, a través de las diferentes localizaciones, así como el flujo de la mano de obra. De tal manera que no exista trabajo esperando ser realizado, ni trabajadores esperando efectuar un trabajo.⁶

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

2.3.1. Sistema de Planeamiento Basado en la Localización

2.3.1.1. Introducción

En la actualidad existen muchos métodos de programación de proyectos que se han ido desarrollando especialmente en el siglo XX, con el desarrollo de la industria, siendo los métodos de redes como CPM los más utilizados.

En la figura 2.2 se muestran las dos principales categorías para clasificar éstas metodologías: Metodologías basadas en la actividad y basadas en la localización. Dentro de las metodologías basadas en la actividad podemos encontrar métodos determinísticos (CPM) y métodos probabilísticos (PERT). Para las metodologías basadas en la localización, la división es en Unidad de Producción y producción en la localización.¹⁵

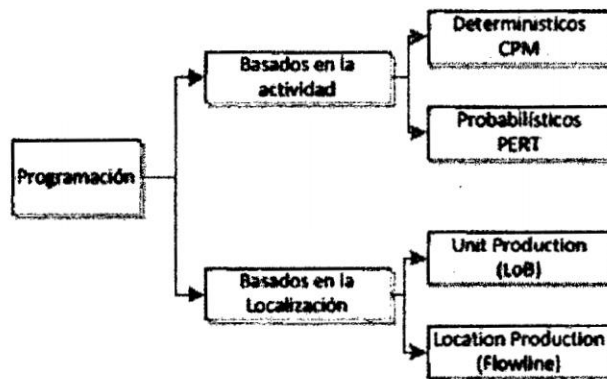


Figura 2.2: Tipología para los métodos de programación de proyectos de construcción¹⁵

Los métodos de programación basados en la actividad como las técnicas CPM, permiten que un proyecto pueda ser modelado exclusivamente con actividades y sus relaciones lógicas. Por tanto el método está enfocado en la actividad como contenedor de los datos del proyecto y la red lógica se construye mediante la vinculación de las actividades.¹⁵

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

Sin embargo los métodos CPM, no son apropiados cuando se tienen restricciones de espacio, donde las metodologías basadas en la localización como las Líneas de Balance (LoB) son más apropiadas para un mejor planeamiento espacial y una mejor distribución de los recursos, por lo tanto más apropiados para proyectos manejados por los recursos.¹⁶

La programación basada en la localización es entonces una buena alternativa y se enfoca en lograr la continuidad del trabajo de las cuadrillas a través de las diferentes localizaciones del proyecto. El término basado en la localización fue acuñado por primera vez por Russell Kenley (2004).¹⁷

Mediante esta metodología de programación, los proyectos pueden ser modelados por la inclusión individual de paquetes de trabajo (actividades) dentro de entidades llamadas Tareas, que representan la agrupación de actividades en diferentes localizaciones. Un modelo topológico puede ser construido mediante la conexión de las tareas a través de una red de relaciones lógicas complejas. El enfoque del método por tanto es en el movimiento de las tareas a través de las unidades de producción y los datos del proyecto se asientan ahora en las actividades y las localizaciones.¹⁵

2.3.1.2. Estructura de división por localización (LBS)

Es una herramienta del LBMS y consiste en dividir el proyecto en regiones o sectores que sean lo más uniformes posibles de tal manera de poder equilibrar el volumen de trabajo por cada sector o región. Esto permitirá determinar apropiadamente un nivel de precisión para poder asignar la información del proyecto como metros o recursos.

El objetivo es poder dividir las localizaciones de forma que todas las operaciones puedan programarse en su localización de forma óptima consiguiendo la mejor secuencia posible y un flujo continuo. El flujo continuo significa que no existen paradas ni arranques de las cuadrillas de trabajo conocido como Start-Stop.¹⁸ Esto en aras a conseguir la máxima economía en el trabajo, al mismo tiempo que la mayor seguridad y satisfacción de los trabajadores.¹⁹

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

Los diferentes niveles de la jerarquía contienen las diferentes unidades físicas del proyecto. Por ejemplo, en un proyecto residencial compuesto por tres bloques (AD, EH e IJ) como se muestra en la figura 2.3, con características físicas similares, el más alto nivel de jerarquía serían los diferentes secciones, un menor nivel de jerarquía quedaría representado por las secciones desde la A hasta la J y el nivel más bajo quedaría representado por los diferentes pisos o niveles de cada sección. La figura 2.4 muestra el LBS de la figura 2.3.

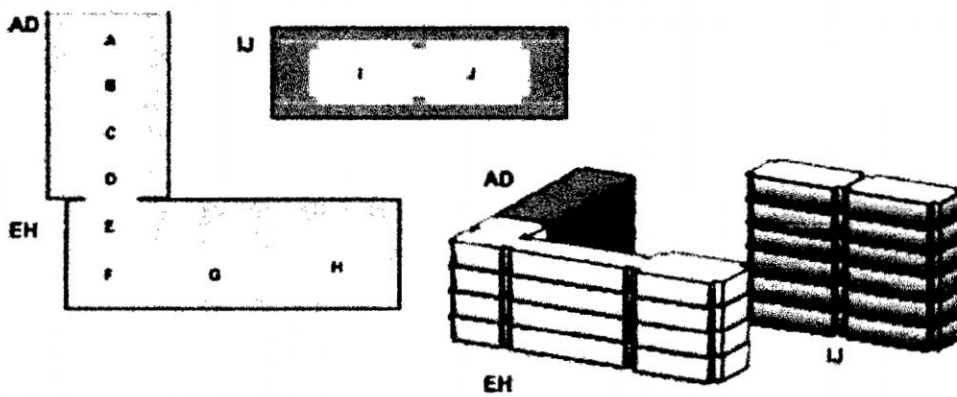


Figura 2.3: Esquema proyecto típico de Edificaciones de tres bloques¹⁵

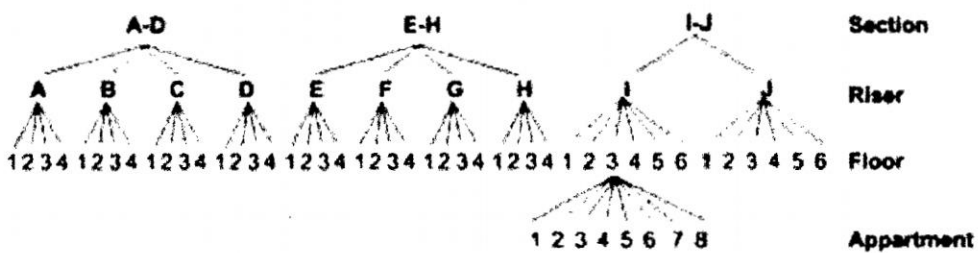


Figura 2.4: LBS para proyecto típico de la figura 2.3¹⁵

El grado de facilidad que ofrezca una determinada distribución arquitectónica y estructural para hacer una buena LBS, se volvería entonces un factor importante a tomar en cuenta durante la evaluación de la Constructabilidad del diseño de un proyecto de construcción.¹⁹

Por otro lado, una vez que los planos de un proyecto ya están definidos, hay que tener la habilidad y destreza para lograr la mejor LBS. Para ello nos podemos apoyar

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

en lo que la ingeniería industrial denomina distribución de planta, la cual puede ser de los siguientes tipos: Distribución por proceso (por función), distribución por producto (en línea) y distribución por posición fija. Las obras de construcción, por naturaleza están obligadas a aplicar la distribución por posición fija porque todos los materiales, obreros, maquinaria y herramientas tienen que trasladarse hacia cada uno de los sectores o lotes de trabajo que son inamovibles.¹⁹

Localización - Unidad de análisis

La localización como unidad de análisis es el corazón del LBMS. Contiene información de todos los datos del proyecto. Cada jerarquía de localización obtenida del LBS, tiene diferentes propósitos. Por ejemplo en la figura 2.4, el más alto nivel es usado para optimizar la secuencia constructiva, debido a que cada sección es independiente de otra, y por tanto es posible construirlos en cualquier secuencia o simultáneamente. Los niveles medios pueden ser usados para planificar los flujos de producción en la estructura de la edificación y los niveles más bajos para planificar los detalles y acabados.¹⁵

Sistema de localización

Cada tarea es definida en diferentes jerarquías de localización. Por ejemplo en la figura 2.5, el pórtico de concreto por su distribución geométrica puede ser definido a nivel de zonas, por tanto la jerarquía de localización es zona. Los acabados, pueden ser definidos a un nivel más bajo, por ejemplo a nivel de Departamentos. Este hecho de poder definir las diferentes tareas del programa en diferentes niveles de localización, es denominado Sistema de Localización.¹⁸

2.3.1.3. Determinación de las tareas del programa

Como se mencionó en la sección 3.1.1, las tareas del programa vienen a ser una agrupación de diferentes actividades del proyecto. Cada tarea contiene cierto tipo de información relevante para la planificación como la composición unitaria de sus cuadrillas, los ratios de producción, los consumos de horas hombre, las cantidades

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

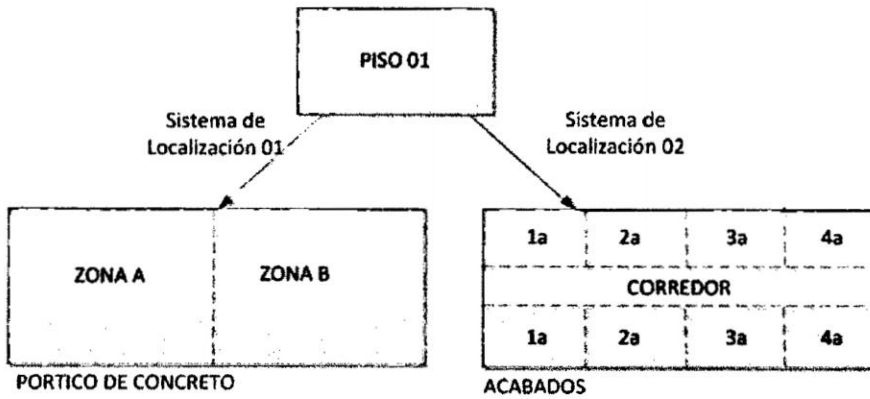


Figura 2.5: Ejemplo de Sistema de Localización¹⁸

de trabajo por cada localización considerada en el LBS; de las que se pueden extrapolar información de tiempo y costo.¹⁵

2.3.1.4. Cantidades basadas en la localización

Las cantidades son una parte integral del LBMS. La lista de cantidades del proyecto define explícitamente el trabajo que se requiere para completar el proyecto. En LBMS, las cantidades deben ser calculadas basadas en la estructura de división por localización (LBS), por tanto las cantidades deben ser calculadas luego de que las localizaciones son definidas.⁶

Tarea	Und	Rend.	Piso01	Piso02	Piso03	Piso04	Piso05
Pórtico Estruct.	m3	14.67	108	108	102	102	90

Cuadro 2.1: Cantidades basadas en la localización para la tarea Pórtico Estructural

En el cuadro 2.1, se muestra un ejemplo de organización de las cantidades por localización que se asignan en el programa para especificar el alcance en las diferentes localizaciones consideradas.

El cálculo del consumo de hh por unidad producida se hace a través de la siguiente formulación:

$$L_u = \frac{Cr_u \times J}{\varphi} \quad (2.3.1)$$

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

Donde:

L_u = Rendimiento (hh/und).

Cr_u = Cuadrilla unitaria (obr).

J = Jornada laboral(h).

φ = Velocidad O ratio de producción(und/jornada).

Los valores para las cuadrillas unitarias y las velocidades de producción son datos obtenidos de ratios estándar que maneja cada empresa constructora dependiendo de sus prácticas constructivas y sus índices de producción, a partir de una base de datos histórica de sus proyectos. Otra forma de obtener estos datos es a través de bases de datos genéricas que se manejan en la industria de construcción de cada país, de la productividad de las diferentes actividades constructivas para diferentes proyectos.

Por ejemplo para la tarea Pórtico Estructural, tenemos los datos asumidos en el cuadro 2.2.

Tarea	Und	φ	Cuadrilla		
			OP	OF	PE
Pórtico Estruct.	m3	1.16	1		1

Cuadro 2.2: Cuadrilla unitaria y su ratio de producción estándar asumida para la tarea Pórtico Estructural del ejemplo de la Tabla 2.1

Con los datos de el cuadro 2.2, podemos calcular los rendimientos que se consideran para el cálculo de las duraciones.

$$L_u = \frac{Cr_u \times J}{\varphi} = \frac{2obr \times 8.5h}{1.16m^3/jor} = 14.67hh/m^3$$

Identificar las diferentes cantidades en las diferentes localizaciones es importante en LBMS, debido a que en muchas tareas se pueden tener diferentes cantidades de trabajo lo cual produce una variación en la duración de la tarea a través de las localizaciones, dependiendo de las cantidades de trabajo por localización.⁶ Este hecho es importante para la optimización del número de cuadrillas de trabajo que interviene en cada localización.

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

2.3.1.5. Cálculo de las duraciones de las tareas

Para el cálculo de las duraciones se sugiere la siguiente expresión.²⁰

$$T_u = \frac{Q \times L_u}{K \times J} \quad (2.3.2)$$

Donde:

T_u = Duración(días)

Q = Cantidad por localización(und)

L_u = Rendimiento(hh/und)

K = Número o tamaño de cuadrillas unitarias (und)

J =Jornada laboral (hh)

La expresión para el cálculo de L_u , se expuso en la sección anterior.

El cálculo de la duración confía en que los ratios o las velocidades de producción, son basados en un tamaño óptimo de las cuadrillas unitarias. La duración de las tareas podrían acelerarse o desacelerarse cambiando el tamaño de las cuadrillas unitarias. Si el tamaño óptimo de las cuadrillas unitarias es modificado, los ratios de consumo deben ser ajustados. La duración calculada en base a un tamaño óptimo de cuadrillas, determinan el ritmo óptimo de la tarea.²¹

La optimización de los tamaños de las cuadrillas se logra a través de lograr duraciones similares para las diferentes tareas predecesoras y sucesoras,⁶ de tal forma de lograr un ritmo estable equivalente para cada tarea del programa según la localización.

El cuadro 2.3 muestra el cálculo de las duraciones para el ejemplo que estamos desarrollando para la tarea "Pórticos de concreto".

En el cuadro 2.3 ,se puede ver como cambia el tamaño de las cuadrillas unitarias (K) en aras a conseguir duraciones similares en las diferentes localizaciones, para obtener el mismo ritmo de entrega de 01 piso por semana. La figura 2.6 grafica lo que sería la línea de programación de la tarea.

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

Pisos	Tarea	Q	Und	φ	Cuadrillas				T_u			L_u
					Op	Of	Pe	k	Ini [día]	Dur. [días]	fin [día]	
0	Pórtico Estruct		m3						0	0	0	
1		108	m3	1.16	1		1	16	0	5.8	5.8	14.7
2		108	m3	1.16	1		1	16	5.8	5.8	11.6	14.7
3		102	m3	1.16	1		1	15	11.6	5.9	17.5	14.7
4		102	m3	1.16	1		1	15	17.5	5.9	23.4	14.7
5		90	m3	1.16	1		1	13	23.4	6	29.3	14.7

Cuadro 2.3: Cálculo de las duraciones para la tarea Pórticos de concreto, para un ritmo de entrega de 01 piso por semana.

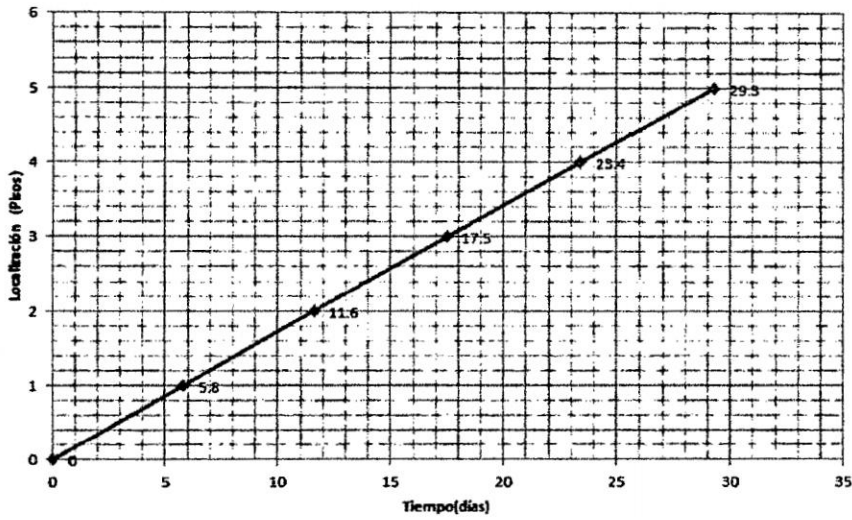


Figura 2.6: Línea de Balance para la tarea pórtico estructural

2.3.1.6. Relaciones lógicas entre actividades y localizaciones

Las relaciones lógicas entre actividades o dependencias en LBMS son las relaciones lógicas del CPM, sólo que además hay que considerar relaciones de dependencia en función de la localización.

2.3.1.7. Factibilidad y Gestión del Riesgo

La gestión del riesgo, involucra la evaluación de la factibilidad del programa y la planificación de buffer basados en el análisis de riesgos. Antiguamente, los buffer eran adicionados en el programa siguiendo técnicas heurísticas.⁶ En proyectos especiales se recomendaba considerar un retraso en el inicio de las tareas sucesoras (Start up delay) de 03 semanas,²² debido a la alta variabilidad. En proyectos normales, los valores recomendados eran de 02 semanas para los start up delay y de

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

02 pisos para los buffer de localización.²⁰

Con la implementación de software para el LBMS, el análisis de riesgos del programa se hace usando la simulación de Montecarlo, y la factibilidad del programa puede ser evaluado a diferentes niveles de riesgo que el planificador acepte.

El LBMS, puede usarse a nivel macro, para elaborar el master plan, y el enfoque básicamente debe ser lograr el flujo de trabajo a través de las diferentes localizaciones minimizando la interferencia. Kenley (2004)¹⁷ denomina a esto “Macro Management”. Sin embargo, considera que a este nivel no se explota adecuadamente todas las bondades del LBMS para lograr el flujo de trabajo, por lo que propone una evaluación a un nivel de detalle más alto que realmente muestre todas las localizaciones a las cuadrillas de trabajo, denomina a esto “Micro Management”. Esto suele utilizarse en la etapa de ejecución.⁶ Este hecho concuerda con los planteamientos de Last Planner, que propone programar con más detalle a medida que la ejecución del trabajo se acerque.

El planeamiento basado en la localización intenta conseguir la factibilidad de programas con niveles de riesgo aceptables, mientras se maximiza la continuidad y se minimiza la duración del proyecto. La factibilidad es lograda basando el cálculo de las duraciones en el alcance explícitamente definido por las cantidades y los ratios de productividad asumidos. Los buffer son adheridos entre tareas para minimizar el riesgo de retraso aguas abajo en la cadena productiva.⁶

Categorías de riesgo

Para la gestión de riesgos en LBMS, se acepta las siguientes categorías de riesgo:¹⁰

- Riesgo de inicio de la tarea.
- Riesgo en la duración de la tarea.
- Riesgo en la disponibilidad de recurso cuando es requerido por el programa.
- Trabajos rehechos por falta de calidad.

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

- Riesgo en los factores de producción. Variabilidad asociada a los ratios de producción logrados por las cuadrillas de trabajo.

Simulación del riesgo con el método de Montecarlo

La simulación del riesgo con el método de Montecarlo es una herramienta para identificar y modelar problemas en el programa. Sus resultados se pueden utilizar para alertar al programador y éste pueda ejecutar decisiones proactivas.¹⁰

La clave de la simulación de MC consiste en crear un modelo matemático de un sistema o proceso que se quiere analizar, en este caso el plazo del proyecto, identificando aquellas variables cuyo comportamiento aleatorio influye directamente en el resultado final del proceso, en este caso la duración de cada tarea. Cuando se identifican estas variables aleatorias, se le asignan valores que siguen una distribución de probabilidad determinada, en este caso una distribución discreta, y se analiza el comportamiento global del sistema ante los valores generados. Este experimento debe de repetirse n veces, con lo que obtendremos n valores probables para el sistema en estudio. Mientras mayor sea el número de repeticiones de la simulación, mejores serán nuestros resultados. Finalmente se realiza un histograma de frecuencias con el resultado obtenido y se toma decisiones siguiendo en función de un valor de probabilidad apropiado. El ejemplo de aplicación de éste método empleando el Vico Control 2009 para la evaluación del riesgo del programa se muestra en en capítulo 03 sección 3.3.6.

2.3.2. Sistema de Control Basado en la Localización

2.3.2.1. Introducción

Obtener un programa óptimo de construcción con un nivel de riesgo aceptable es sólo la mitad de la batalla hoy en día. El reto ahora es lograr ejecutar el programa de acuerdo con la línea de base en obra y poder gestionar adecuadamente los problemas del mundo real que inevitablemente ocurrirán.¹⁸

Controlar significa tomar acciones para hacer que el plan optimizado ocurra, en lugar de sólo monitorear el plan y dirigir por excepción.^{14,22} EL control es dividido

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

en control preventivo (prevenir los problemas antes de que éstos ocurran) y control reactivo (evaluar efectos de la desviación del programa y mitigar éstos efectos).²⁰ El control también involucra la retroalimentación.¹⁴

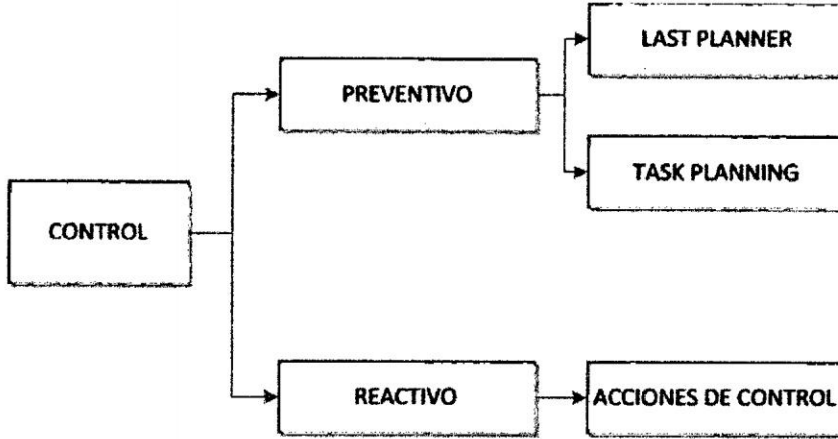


Figura 2.7: Tipología del control de la producción

Como herramienta para el control preventivo, podemos utilizar el Last Planner.¹⁴ Junnonen y Seppänen (2004)²³ proponen una técnica alternativa denominada “Task Planning” que difiere del Lookahead planning, en que la metodología plantea un planeamiento integral de cada tarea del programa, considerando aspectos de tiempo, costo, calidad y seguridad.

En el caso del Control reactivo, se pueden utilizar las Acciones de Control, que son parte del Sistema de Control Basados en la Localización, de producirse desviaciones del programa. Incluso desviaciones largas (8 semanas de retraso) han podido ser corregidas con estas acciones.²⁴

En esta sección se describirá las técnicas y herramientas empleadas por el Sistema de Control Basado en la Localización, desde el registro de los datos relevantes para el control, el procesamiento de los mismos para poder evaluar el estado actual y realizar las proyecciones futuras y poder corregir problemas in-situ mediante la planificación de las tareas a corto plazo y tomando acciones de control, antes de que ocurra un retraso generalizado en las tareas sucesoras, y de ésta forma poder mantener el proyecto dentro del plazo y el presupuesto.

2.3.2.2. Componentes del sistema de control basado en la localización

Estados de información

El Sistema de Control Basado en la Localización, considera 04 estados de información: Línea de base, plan actual, Progreso del programa y proyección del programa.¹⁸

Línea de Base Es el programa inicial, planeado y aprobado a través del Planeamiento Basado en la Localización. La línea de base no debería modificarse a menos que sea aprobado por el propietario del proyecto o el retraso sea provocado por él. La línea de base es usada para llegar a acuerdos con los sub contratistas, planificar la procura, contratar proveedores y obtener los hitos del proyecto. Para conseguir éstos objetivos, la línea de base debería ser factible.⁶

Plan Actual El estado del plan actual funciona en forma similar a la línea de base, sin embargo se puede incluir en este estado, información que no estuvo disponible al momento de realizar la línea de base. Este planeamiento incluye más datos aportados por los participantes del proyecto. Refleja la nueva información respecto a la disponibilidad de recursos, pre requisitos de producción, cambios en las cantidades y las relaciones lógicas entre tareas o cambios de secuencia en los trabajos.¹⁸

Progreso del Programa En este estado se monitorea el desempeño actual del proyecto. El progreso de la producción es medido registrando las fechas de inicio y fin de las tareas en las diferentes localizaciones⁶ además de registrar las cuadrillas que realizan el trabajo. Las siguientes formulas se utilizan para calcular los ratios de producción actual (Velocidades de producción) y el consumo de horas hombre.²⁵

$$Y_E = F_A - S_A - T_1 - T_h \quad (2.3.3)$$

Donde:

Y_E = Duración efectiva de la tarea en la localización n

F_A = Fecha de fin de la tarea en la localización n

S_A = Fecha de inicio de la tarea en la localización n

T_1 = Tiempo perdido a través de las interrupciones

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

T_h = Tiempo perdido por feriados y días no trabajados

$$\varphi_A = \frac{Q}{Y_E} \quad (2.3.4)$$

Donde:

φ_A = Ratio de producción actual (und/jor)

Q = cantidad actual

$$L_A = R_A \times J \quad (2.3.5)$$

Donde:

R_A = suma total del número de recursos en la localización(Und)

J = Jornada laboral(h)

$$\chi_A = \frac{L_A}{Q_A} \quad (2.3.6)$$

Donde:

χ_A = Ratio de consumo actual del recurso

La velocidad de producción actual φ_A , puede ser empleado para pronosticar el progreso de la tarea en las localizaciones siguientes. El ratio de consumo actual del recurso χ_A , es una fórmula más poderosa y puede ser empleada para tomar acciones de control (por ejemplo, cuánto sobretiempo se podría trabajar o cuántos recursos podrían ser incorporados). Es también una medida directa de la productividad.⁶

Pronóstico del programa Esta etapa utiliza información del programa actualizado y del progreso del programa registrado, con el propósito de calcular los pronósticos. Si no se toman las acciones de control, se asume que los ratios de producción continuaran siendo idénticos a los conseguidos hasta el momento. Esta información puede ser utilizada por los responsables de producción para tomar acciones de control adecuadas e inmediatas necesarias para restablecer la producción prevista. Esto se hace utilizando alarmas para alertar a la administración antes de que ocurra la interferencia. Este modelo permite reacciones oportunas, en lugar de

2.3. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS)

sólo registrar la desviación y la reprogramación.⁶

En la etapa de pronóstico, las duraciones de las tareas en las diferentes localizaciones son variadas de acuerdo con los ratios de producción alcanzado en obra. Para modificar estas duraciones se emplea un factor denominado “Multiplicador de la duración”, cuyo cálculo es desarrollado a través de la siguiente formulación:²⁵

$$Y_x = \begin{cases} 1 & \text{si se tiene menos de 02 localizaciones concluidas} \\ X \cdot \left(\frac{Y_E^n}{Y_{planeada}^n} \right) + Y \cdot \left(\frac{Y_E^{n-1}}{Y_{planeada}^{n-1}} \right) & \text{si se tiene 02 o más localizaciones concluidas} \end{cases} \quad (2.3.7)$$

Donde:

Y_x = Multiplicador de la duración.

X = Peso de la última localización.

Y = Peso de la penúltima localización.

Y_E^n = Duración actual de la tarea en la localización n .

Y_E^{n-1} = Duración actual de la tarea en la localización $n - 1$.

$Y_{planeada}^n$ = Duración planificada de la tarea en la localización n .

$Y_{planeada}^{n-1}$ = Duración planificada de la tarea en la localización $n - 1$.

De esta forma sólo las dos últimas localizaciones concluidas contribuyen al cálculo de las duraciones en los pronósticos. En caso las localizaciones no hayan sido completadas, las duraciones planeadas son utilizadas. Los pesos X e Y son parámetros que pueden ser cambiados para ajustar el peso relativo de la más reciente localización finalizada. Para propósitos prácticos se asume $X = 3$ e $Y = 1$. La razón para no calcular las duraciones en los pronósticos con la producción inicial es que no se espera que las dificultades encontradas al arranque de la tarea se repitan en todas las localizaciones.⁶

2.4. Líneas de Balance

2.4.1. Historia

El método de la Línea de Balance (LoB) fue fundado por la compañía Goodyear en los años 40, y fue desarrollado posteriormente por la Marina de los EE.UU. en los años 50. Desde entonces la Técnica de LoB ha pasado a un segundo plano y no fue nunca comercializado debido a la explosión de los métodos de programación basados en redes y el Método de Camino Crítico (CPM). Se puede decir que los métodos de redes y CPM nunca reemplazaron realmente al método de la Línea de Balance, sino que más bien fueron más divulgados debido a la falta de disponibilidad de software LoB comercialmente accesible. Una forma modificada del método ha sido la técnica de programación dominante en Finlandia desde 1980.⁷ Actualmente la industria de construcción Finlandesa, ha adoptado la metodología y es una exigencia del cliente para con sus contratistas, que sus planes maestros sean presentados con el uso de esta metodología.²⁶

2.4.2. Definición

Es una técnica para el ensamblaje, selección, interpretación y presentación en forma gráfica de los factores esenciales involucrados en un proceso productivo. Es un tipo de herramienta esencial para la gestión, utilizando los principios de exclusión para mostrar sólo los factores más importantes a los que se les debe prestar atención. Esto significa la integración del flujo de recursos.²⁷

Es un método de programación gráfica que considera la localización explícitamente como una dimensión. Esto facilita la planificación de los recursos, lo cual a su vez permite ahorros en costos y un menor riesgo en la programación así como la permanencia en el sitio de las cuadrillas de trabajo.²⁶

En la figura 2.8, se puede observar una representación gráfica del método. Consiste en graficar las tareas del proyecto como un conjunto de líneas, una línea para cada tarea, en el que en el eje horizontal se grafica el tiempo y en el eje vertical las

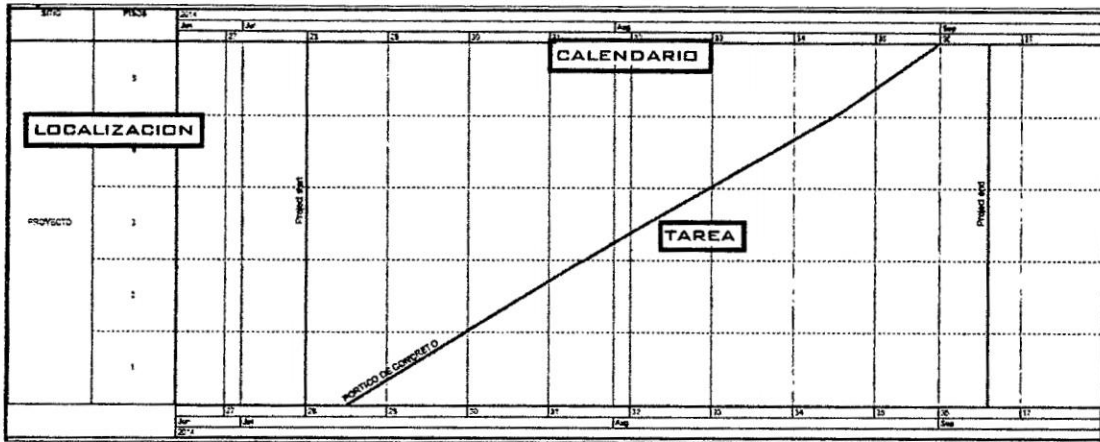


Figura 2.8: Representación gráfica Línea de Balance.

diferentes localizaciones, en este caso los diferentes pisos.

De esta manera, las pendientes de las líneas nos informan sobre la velocidad o ritmo de trabajo de cada actividad en cada localización considerada, si una línea corresponde a una actividad planificada, ella nos indicará la velocidad a la cual debemos trabajar.¹⁹ La figura 2.9 muestra esquemáticamente lo indicado.

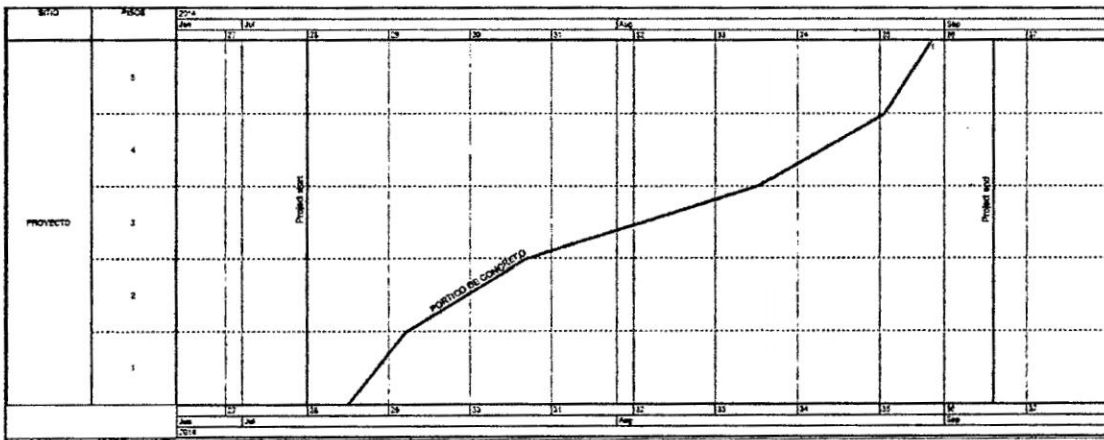


Figura 2.9: Variación de los ritmos de la actividad en las diferentes localizaciones.

Para calcular el Ritmo, se suele emplear la siguiente formulación:

$$RITMO = \tan(\Phi) \quad (2.4.1)$$

$$RITMO = \frac{N_n - N_{n-1}}{T_u^n} \quad (2.4.2)$$

Donde:

Φ = Ángulo formado por la línea de la tarea y la horizontal en cada localización.

N_n = Número de localización n .

N_{n-1} = Número de localización $n - 1$.

T_u^n = Duración de la tarea en la localización n .

El objetivo es conseguir que el ritmo de cada tarea sea lo más uniforme posible a lo largo de las diferentes localizaciones, y que las tareas subsiguientes mantengan el mismo ritmo de ejecución. Para conseguir esto existen técnicas que describiremos más adelante.

2.4.3. Metodología de la Línea de balance.

Para la aplicación de la metodología, existen muchas variantes y no hay una sola forma de aplicación. Sin embargo, la más completa es la que establece Olli Seppanen en 2009.

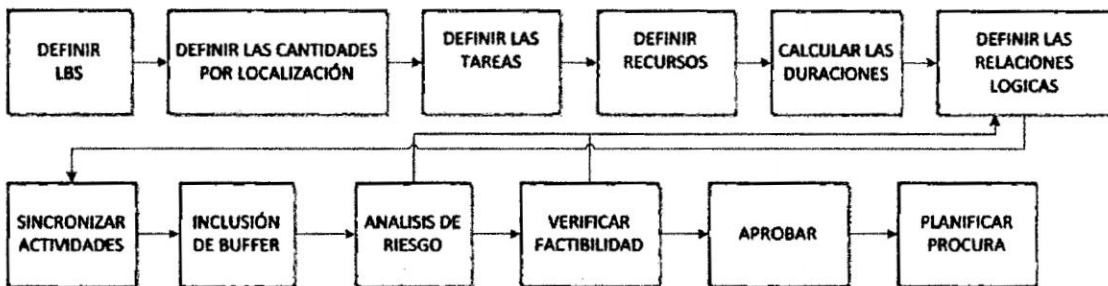


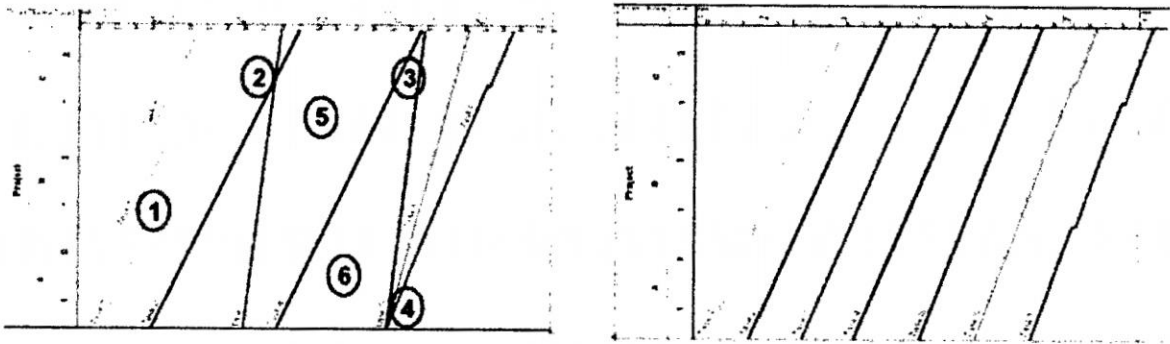
Figura 2.10: Metodología del LBMS usando Línea de Balance⁶

2.4.4. Maneras de optimización del programa

En el proceso de Planeamiento Basado en la Localización, utilizando la línea de balance, nos podemos encontrar con los siguientes problemas.²⁸

En la figura 2.11 se muestra las ineficiencias que se deben de evitar al planificar los proyectos, mediante un análisis gráfico. Esta optimización incrementa la confiabilidad del programa. Las medidas que se pueden tomar para evitar las interferencias de la figura 2.11 pueden ser:²⁹

- Considerar Buffer de espacio, que son espacios de trabajo libres entre tareas.



1. Muchas actividades en la misma localización al mismo tiempo.
2. Cruce de actividades
3. Falta de buffer de tiempo y espacio.
4. Muchas actividades inician el mismo día
- 5 y 6. Ineficiente uso del tiempo

- Continuidad en las tareas con igual duración.
- Ratios de producción estándar.
- Las actividades tienen Buffer de espacio y tiempo.
- Flexibilidad de comienzo y final.
- Trabajo uniformemente dividido en el tiempo de construcción.

Figura 2.11: Comparación entre del programa de un proyecto antes y después de la optimización²⁸

- Ajustar el diseño de las cuadrillas aumentando o substrayendo elementos de las cuadrillas para lograr las tasas de trabajo deseadas.
- Ajustar el número total de las cuadrillas involucradas en las diferentes tareas.
- Dividir las tareas, de tal manera de poderlos realizar de forma continua o de forma discontinua (“Paced” o “As Soon As Possible”).

2.4.5. Ventajas y desventajas de LoB vs CPM

La diferencia principal entre ambas metodologías es que parten de diferentes enfoques. La programación de CPM se basa en una red de actividades discretas unidas entre sí por relaciones lógicas. Las relaciones lógicas definen la secuencia u orden en el que las actividades pueden llevarse a cabo. La duración de cada actividad define la cantidad de tiempo requerido para completar el trabajo especificado. Las duraciones de las actividades y relaciones lógicas permiten el cálculo de la ruta más larga, o camino crítico, a través de la red, que determina la duración total del

2.4. Líneas de Balance

proyecto. La programación CPM hace hincapié en la ruta crítica y la reducción al mínimo de la duración total del proyecto.⁸

La técnica de LoB se centra en la gestión de los recursos. En LoB, el trabajo se divide por tareas, y las tareas se identifican aún más por la localización (zona). Las tareas para cada lugar son similares a las actividades en CPM. Sin embargo, el LBS se basa en la planificación de flujo de trabajo continuo, a través de las localizaciones para cada tarea en un esfuerzo de ganar eficiencia de la mano de obra. Como resultado de ello, la obra no está prevista para comenzar lo antes posible, sino con el fin de asegurar la continuidad de flujo de trabajo para las distintas cuadrillas.⁸

Se podría pensar que los algoritmos CPM podrían lograr un flujo de trabajo adecuado, siempre que se logre que las actividades consideradas en la red sean de duraciones similares (Método de programación rítmica), pues de esta forma se conseguiría un ritmo uniforme de entrega. Sin embargo, las duraciones a lo largo de todas las localizaciones del proyecto pueden diferir. Esto debido a que las cantidades de trabajo en cada localización considerada también difieren, sin considerar el hecho de la variabilidad de los rendimientos. Si quisiéramos dividir una red CPM para cada localización considerada de tal forma de levantar esta restricción, la red sería muy grande y dificultaría la comprensión y el control. Por todo lo anterior, la técnica LoB, tiene ventajas intrínsecas en proyectos dominados por los recursos, y basados en la localización.

A través de un ejemplo, mostraremos las diferencias entre las técnicas CPM y LoB, para lo cual tomamos un programa elaborado con técnicas CPM,³⁰ para una vivienda unifamiliar con las actividades mostradas en el cuadro 2.4.

La red de precedencias con el cálculo de los tiempos y holguras del ejemplo, se muestran en la figura 2.12 mientras que el gráfico de Líneas de Balance para este ejemplo, se muestra en la figura 2.13

Como vemos tenemos algunos problemas que muestran la inviabilidad del programa para su ejecución. En la figura 2.13, los puntos 1 y 3 muestran ineficiencias del uso del tiempo, mientras el punto 2 muestra que muchas tareas inician al mismo

Act.	Descripción	Predecesor	Duración (semanas)
A	Cimientos y muros	-	4
B	Inst. Eléctricas y sanitarias	A	2
C	Techos	A	3
D	Pintura exterior	A	1
E	Pintura interior	B, C	5

Cuadro 2.4: Datos ejemplo programación CPM.

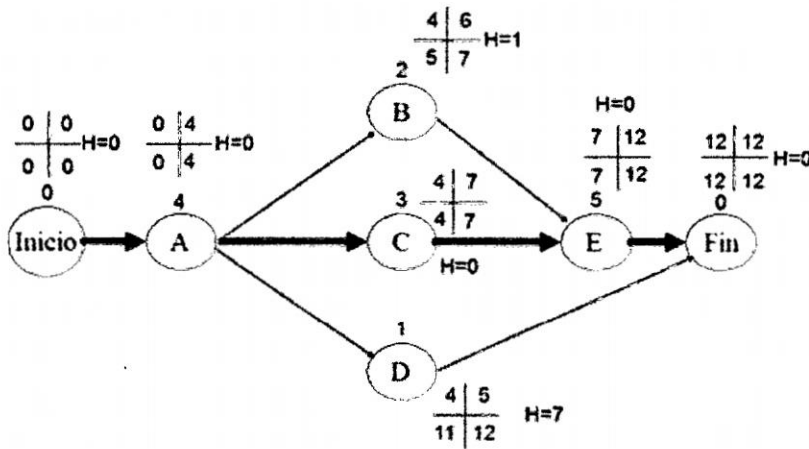


Figura 2.12: Red de precedencias programa de vivienda unifamiliar³⁰

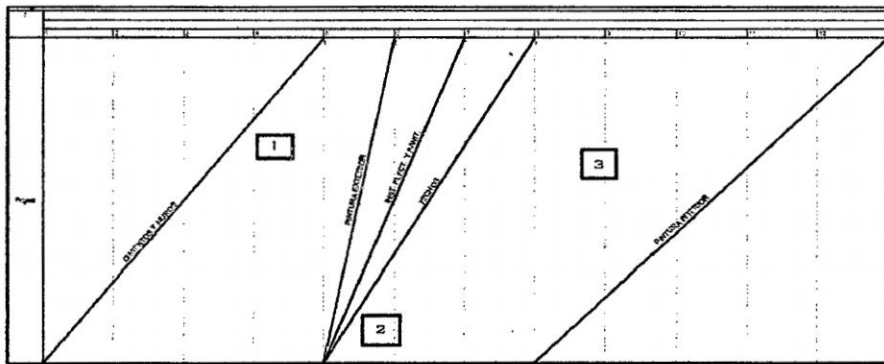


Figura 2.13: Líneas de Balance del ejemplo del cuadro 2.4

tiempo y en la misma localización. Cuestiones de éste tipo no pueden ser evaluados fácilmente con las técnicas de redes lógicas CPM, y por tanto se establecen programas de trabajo inviable, que no favorecen al flujo de trabajo continuo. Además para el proceso de planificación con las técnicas CPM, no se toma en consideración los recursos empleados para el planeamiento, mientras que la Línea de Balance, sincroniza la ejecución de las tareas del programa, a través del dimensionamiento adecuado de las cuadrillas de trabajo.

Algunas desventajas del método de la LoB se muestran en el cuadro 2.5.

Limitaciones y Desventajas del LoB	Comentarios Representante Vico
Incapacidad para generar un camino crítico claro para el programa del proyecto, en relación con el proveído por el método CPM.	El método del camino crítico puede ser producido en un Gantt, en Vico Control. Además, el camino crítico es un concepto no aplicable a LoB porque es una metodología completamente diferente.
Podría ser dividido sólo en localizaciones	Los proyectos pueden ser divididos en tareas, sistemas y operaciones además de las localizaciones. El software permite a los usuarios configurar la estructura de división para que sean compatibles con esta división.
En CPM el usuario puede dividir el proyecto en localizaciones, y otros sistemas y operaciones, en LoB sólo en localizaciones	Aunque la programación CPM puede alcanzar el objetivo de dividir el proyecto en localizaciones, sería más difícil de visualizar debido a la gran cantidad de páginas. Tratar de manejar los recursos que utilicen la técnica Gantt, sería largo y difícil. Y si el usuario usa un filtro, se pierde información respecto a las dependencias.
Los ratios de productividad en LoB, no incluye los efectos de la curva de aprendizaje o si las personas que trabajan en los equipos cambian	Con la información de previsión del programa, el usuario puede identificar fácilmente donde se subestima o se sobrestima la tasa de producción y los recursos asignados a la actividad.

Cuadro 2.5: Limitaciones y desventajas mencionadas por planificadores y académicos y comentarios del Representante de Vico en cada punto⁵

2.4.6. Control de la producción con Líneas de balance.

2.4.6.1. Seguimiento del progreso de tareas

Para hacer seguimiento a las tareas del programa actual, es necesario registrar los siguientes datos: Tarea, Localización, Fecha de registro, trabajo ejecutado en el día (en cantidad o porcentaje) y cuadrillas que intervienen en la producción.

Hacer seguimiento al control de la producción utilizando LBMS es de gran utilidad, pues el usuario puede ver en forma muy visual el progreso actual de las tareas, el pronóstico de la misma y compararlo con la línea de base, para poder tomar acciones correctivas de ocurrir alguna desviación del programa. La figura 2.14 muestra de manera gráfica lo expuesto.

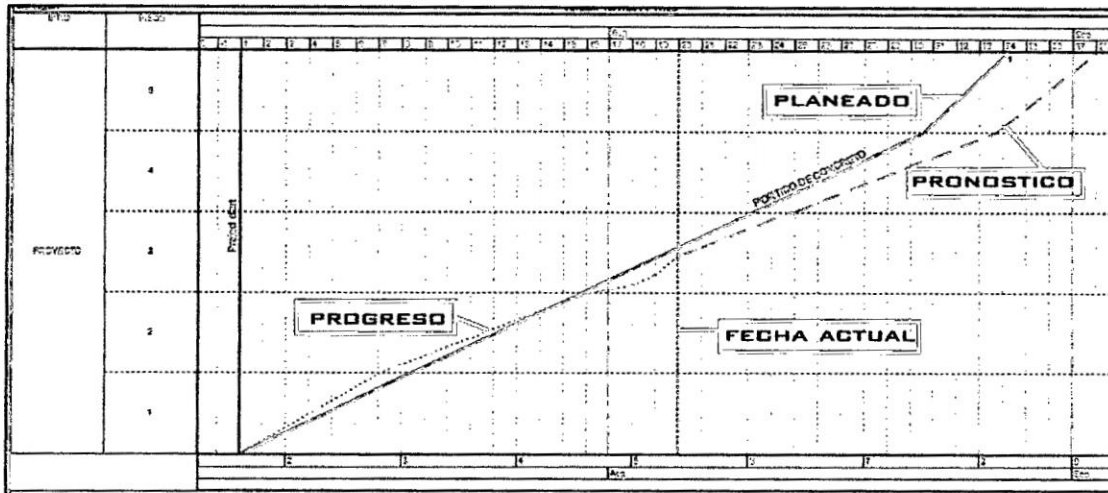


Figura 2.14: Comparación gráfica del progreso vs la línea de base y el pronóstico del programa.

2.4.6.2. Tabla de control de la producción

Esta herramienta de control es una matriz de tareas y localizaciones que representa todo el estado del proyecto en una sola tabla. En el eje x se representa la tarea y en el eje Y se representa la localización. Cada celda de la matriz representa el estado actual de una tarea en cada localización. Este estado es caracterizado por fechas y colores.⁶

B	3RO				
	2DO				
	1RO	48% 3 2010			
A	3RO	✓			
	2DO	✓	! Retrasado		
	1RO	✓	✓	! Tarde	
					EMPASTADO

Inicio Retrasado
Atrasado
A tiempo
Completado

Figura 2.15: Tabla de control de la producción¹⁰

2.4.6.3. Tipos de desviaciones del programa

Las desviaciones típicas en proyectos de construcción con Líneas de balance han sido objeto de una investigación empírica realizada por Seppanen y Kankainen (2004³⁵). Ellos clasifican las desviaciones típicas en cuatro grandes grupos:

Retraso en el inicio de la tarea

Con tareas que han sido sincronizadas, este tipo de desviación no causaría problemas, porque los buffer considerados absorberían la desviación. Sin embargo en caso las tareas no hayan sido sincronizadas se producirá una interrupción de la tarea con su predecesora, generando una alarma y haciendo necesario generar acciones de control. En caso la tarea predecesora empiece antes de lo programado ocurrirá la misma interrupción. La figura 2.16 muestra el este efecto.

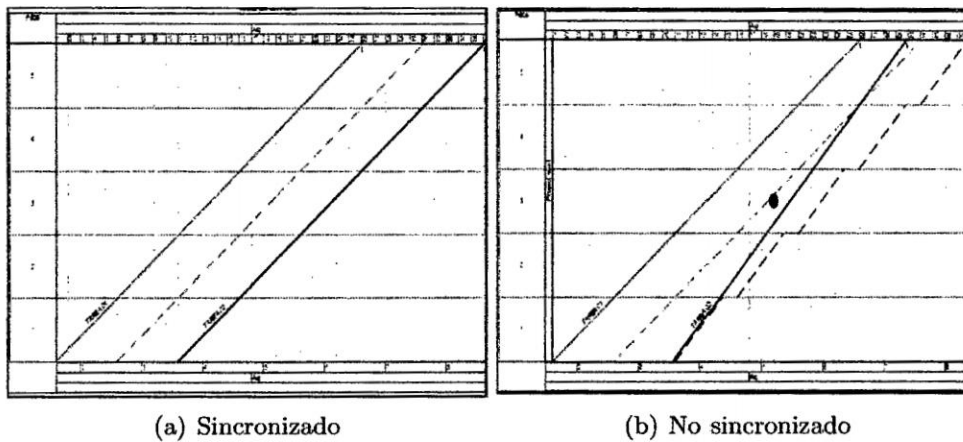


Figura 2.16: Efecto el retraso en el inicio de la tarea en programas sincronizados y no sincronizados³⁵

Desviación de los ratios de producción

Ratios de producción muy lentos de la tarea predecesora o ratios demasiado rápidos en la tarea sucesora, causará la pérdida de la continuidad de la tarea sucesora en el futuro. El efecto se ve más pronunciado en programas que no están sincronizados, tal como se muestra en las figuras 2.17 y 2.18

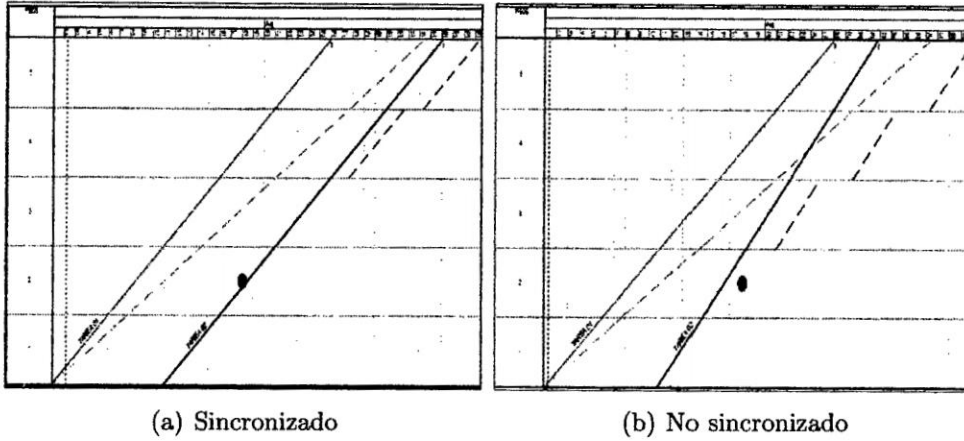


Figura 2.17: Efectos del ratio de producción muy lento en la tarea predecesora en programas sincronizados y no sincronizados³⁵

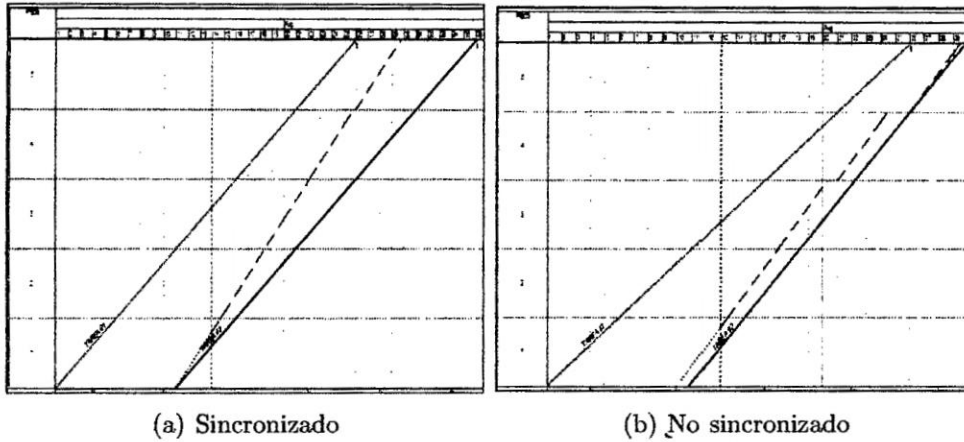


Figura 2.18: Efectos del ratio de producción muy rápida en la tarea sucesora en programas sincronizados y no sincronizados³⁵

Muchas tareas en la misma localización al mismo tiempo

Este tipo de desviación se produce cuando se inician trabajos en localizaciones paralelas, aumentando la duración de la tarea en cada localización, debido a que los recursos se dividen en las localizaciones consideradas. Esto retrasa el inicio de las tareas sucesoras y rompe la continuidad del flujo de trabajo, lo que puede verse en la figura 2.19

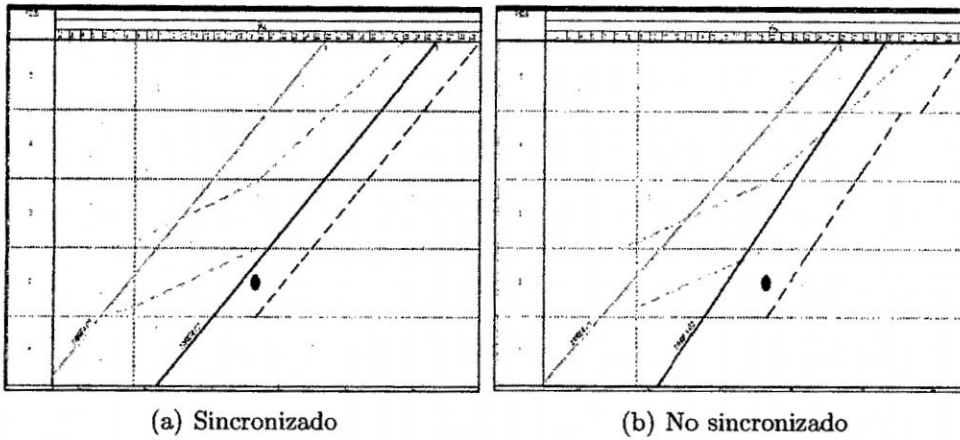


Figura 2.19: Efectos de la división del trabajo en múltiples localizaciones en programas sincronizados y no sincronizados³⁵

Secuencia de construcción incorrecta

Se produce cuando se altera el orden constructivo planificado, esto podría originar una desorganización en el orden de construcción de las siguientes tareas. Esto se muestra en la figura 2.20

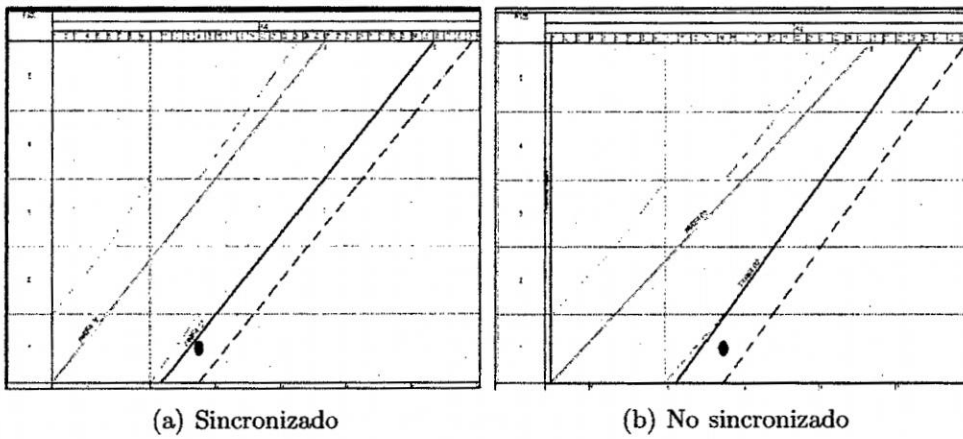


Figura 2.20: Efectos de una secuencia de construcción incorrecta en programas sincronizados y no sincronizados³⁵

De existir el riesgo de producirse una de éstas desviaciones, es necesario tener las alarmas necesarias para poder tomar acciones de control inmediatas.

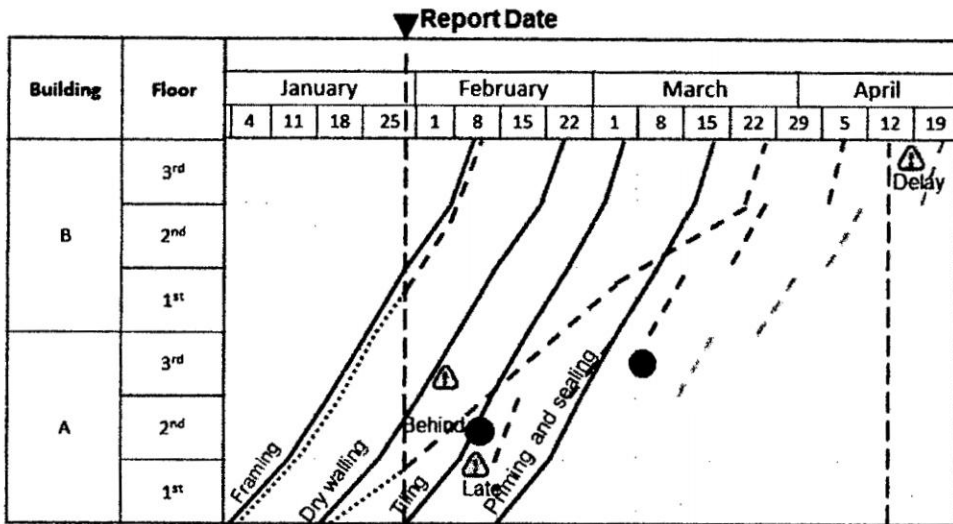


Figura 2.21: Líneas de flujo con el programa planificado, progreso actual, pronóstico y alarmas⁸

2.4.6.4. Acciones de control

Las acciones de control para prevenir las interferencias y desviaciones del programa, son:¹⁰

- Ajustar la cantidad de los recursos de las tareas en la localización.
- Cambiar la jornada de trabajo.
- Cambiar la estructura de división por localización.
- Dividir la tarea para permitir trabajos paralelos, con cuadrillas de trabajo adicionales.
- Cambiar las dependencias de localización de las tareas.
- Incrementar la productividad.
- Forzar la continuidad del flujo de trabajo.

2.4.7. Sistema de Gestión Basado en la Localización (LBMS) y el Last Planner System (LPS)

El sistema Last Planner (LPS) y el Sistema de Gestión Basados en la Localización (LBMS) tienen el propósito de lograr los objetivos Lean de disminuir el desperdicio,

incrementar la productividad y disminuir la variabilidad³⁶

La principal diferencia entre el LPS y el LBMS, es que el LBMS, entre ellos LoB, principalmente es un sistema técnico de manejo de datos para proveer de información para la toma de decisiones. El LPS es principalmente un sistema de control enfocado en la mejora de la ejecución de las asignaciones pero incluye un componente de planeamiento: La planificación intermedia. El LPS se concentra más en el proceso social de la mejora continua, la planificación colaborativa, y la mejora de la confiabilidad de los compromisos más que proveer una herramienta específica para la implementación de estas acciones de planificación³⁶

Resultados de investigaciones muestran que ambos sistemas pueden llegar a ser complementarios, e incluso se proponen metodologías de implementación utilizando ambas técnicas para el planeamiento y control.³⁶ Las propuestas en resumen consideran el uso de los conceptos y herramientas del LBMS dentro de las diferentes etapas de LPS, con el propósito de obtener mejores resultados.

2.5. Buffer de programación

2.5.1. Introducción

Los programas de construcción en un proyecto son claves para su éxito, pues determinan la secuencia de los procesos de producción o actividades del proyecto, definen su ritmo o tasas de producción, y además determinan la duración completa del proyecto. Por lo tanto, estos perfilan el trabajo que se debe desarrollar y sirven de base para las estimaciones de recursos en un proyecto³⁷

La experiencia nos muestra la naturaleza variable de los procesos constructivos, pues es un proceso dinámico y sujeto a una gran cantidad de restricciones, que conllevan al incremento de la variabilidad. Existen métodos actuales de control de la producción como el Last Planner, que intenta medir y controlar esta variabilidad a través del PPC.

Los buffer independizan a los procesos de su medio ambiente y los procesos de los que dependen,³⁸ permitiendo amortiguar el impacto negativo de la variabilidad sobre una cadena de procesos de producción³⁷

En esta sección analizaremos el impacto de la variabilidad en la construcción, y se planteará una metodología para el cálculo de buffer como estrategia para la reducción de la misma.

2.5.2. Variabilidad en la construcción.

La variabilidad es la calidad de no uniformidad de una clase de entidades, relacionada con la aleatoriedad de un fenómeno³⁷

El PPC es un índice que mide la variabilidad de los procesos productivos respecto del planeamiento a corto plazo. El grado de dispersión de éstos índices a lo largo del tiempo nos dará idea de la confiabilidad de nuestro proceso de planificación y de nuestros programas. Mientras menos dispersos sean nuestros resultados más confiables será nuestro proceso de planeamiento. Por tanto para poder incrementar el PPC en nuestros proyectos, debemos controlar primero la dispersión de nuestros resultados, y después tomar acciones para incrementar el PPC y por tanto reducir la variabilidad.

Existen 02 tipos de variabilidad: En los tiempos de proceso y en el flujo.³⁸ La variabilidad en los tiempos de proceso se refiere al tiempo requerido para procesar una tarea en una estación de trabajo. Consiste en la fluctuación debido a diferencias entre operadores, máquinas y material, detenciones aleatorias, preparaciones, disponibilidad de operadores y trabajo rehecho. La variabilidad en el flujo significa variabilidad en la llegada de trabajos a una estación de trabajo³⁷

Para controlar en parte la variabilidad en los tiempos de proceso se puede emplear buffer de tiempo que absorba la incertidumbre. El método de la Línea de Balance

(LoB) nos permite controlar la variabilidad de flujo, desde el planeamiento y durante la construcción.

2.5.3. Clasificación de los Buffer

Se clasifican los buffer como sigue:³⁷

- Buffer de contingencias: Cantidades en tiempo o en costo que permiten manejar imprevistos.
- Buffer de inventarios: Stock de elementos en exceso, Stock de seguridad, WIP (Inventario de trabajo en proceso), e inventarios de bienes terminados.
- Buffer de Tiempo: Colas, lotes, deliberadas pausas de construcción, flujos reguladores y holguras en el programa.
- Buffer de capacidad operacional: Implica utilización flexible de mano de obra, de plantas y equipos de modo que se ajusten a la demanda actual.
- Buffer de planes: Representados por los ITE del último planificador.

2.5.4. Metodología para el cálculo y la administración de Buffers.

Con la finalidad de lograr un flujo adecuado de trabajo de las diferentes tareas a través de las diferentes localizaciones, es necesario considerar Buffer de inventario de trabajo en proceso (WIP).³⁷ Se propone la siguiente formulación para el cálculo de Buffer de WIP.

$$B_{WIPmin} = \frac{K_a \cdot \varphi_a}{Q_{Ta}} \quad (2.5.1)$$

$$B_{WIP} = f \cdot B_{WIPmin} \quad (2.5.2)$$

$$B_{tiempo} = \frac{B_{WIP}}{\tan(\Phi)} = \frac{B_{WIP}}{RITMO_P} = \frac{B_{WIP} \cdot Q_{TP}}{K_P \cdot \varphi_P} \quad (2.5.3)$$

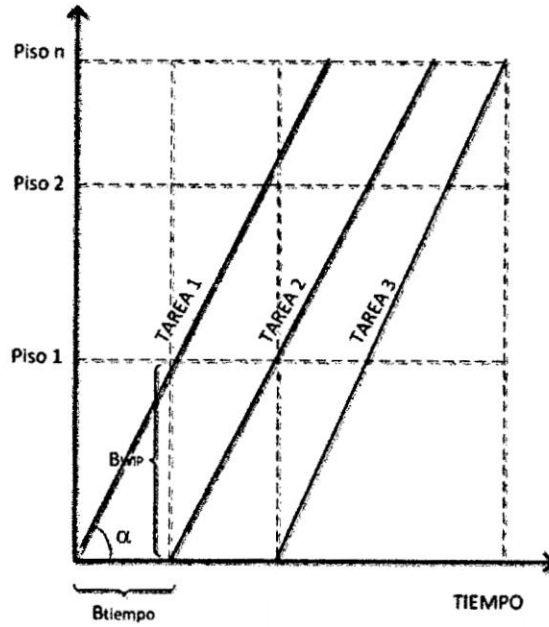


Figura 2.22: Representación gráfica de Buffer de WIP y Buffer de tiempo

$$f = \frac{1}{PPC(\%)} \quad (2.5.4)$$

Donde:

$B_{WIP_{min}}$ = Buffer de inventario de trabajo mínimo.

K_a = Número de cuadrillas de la tarea por iniciar en la localización n .

K_P = Número de cuadrillas de la tarea predecesora en la localización n .

φ_a = Velocidad de producción de la tarea por iniciar en la localización n .

φ_a = Velocidad de producción de la tarea por iniciar en la localización n .

φ_P = Velocidad de producción de la tarea predecesora en la localización n .

Q_{T_a} = Cantidad total de trabajo en la localización n de la tarea por iniciar.

Q_{T_P} = Cantidad total de trabajo en la localización n de la tarea predecesora.

B_{WIP} = Buffer de inventario de trabajo de la tarea predecesora.

$RITMO_P$ = Ritmo de la actividad predecesora.

f = Factor de seguridad, inversamente proporcional a la variabilidad.

PPC = Porcentaje de partidas cumplidas globales (%).

Con esta formulación propuesta, se puede transformar los Buffer de inventarios de trabajo en Buffer de tiempo. Este cálculo debe hacerse sólo en puntos potenciales en los que pueda ocurrir interferencia, rompiendo la continuidad del trabajo.

2.6. Indicadores de Evaluación

En el desarrollo de un proyecto hay dos parámetros muy importantes que hablan de la eficiencia de la planeación y desempeño del mismo, el cumplimiento de los plazos de entrega y de los costos presupuestados. Es importante que ambos se cumplan, y mejor aún sin tanto el tiempo como los costos se recortan sin afectar la calidad del producto³⁹

2.6.1. Indicador de costos.

Diferencia porcentual entre los presupuestos previstos inicialmente y los desembolsos realmente contabilizados para la ejecución del proyecto⁴⁰

$$IC = \frac{GASTOSREALES}{GASTOSPREVISTOS} - 1 \quad (2.6.1)$$

Si $IC = 0$, Significa que el programa de desembolsos para el proyecto estuvo bien concebido.

Si $IC < 0$, Indica sub costo.

Si $IC > 0$, Indica sobre costo.

2.6.2. Indicador de cumplimiento temporal.

Se trata de establecer la diferencia porcentual entre el plazo programado inicialmente para la ejecución del proyecto y el tiempo que finalmente se empleó⁴⁰

$$ICT = \frac{PLAZOREAL}{PLAZOPROGRAMADO} - 1 \quad (2.6.2)$$

Si $ICT = 0$, El proyecto fue bien programado.

Si $ICT < 0$, Se adelantó la programación.

Si $ICT > 0$, Hay un retraso respecto de la programación.

Capítulo 3

Metodología propuesta para la implementación de LoB

3.1. Planeamiento y programación con Líneas de Balance

La figura 3.1 describe adecuadamente el proceso a seguir para desarrollar el planeamiento y programación con Líneas de Balance que se propone en el presente trabajo, que básicamente es una variante del método propuesto por Olli Sepannen,⁶ a los que se le ha hecho las modificaciones en función de la experiencia obtenida durante la implementación del proyecto piloto.

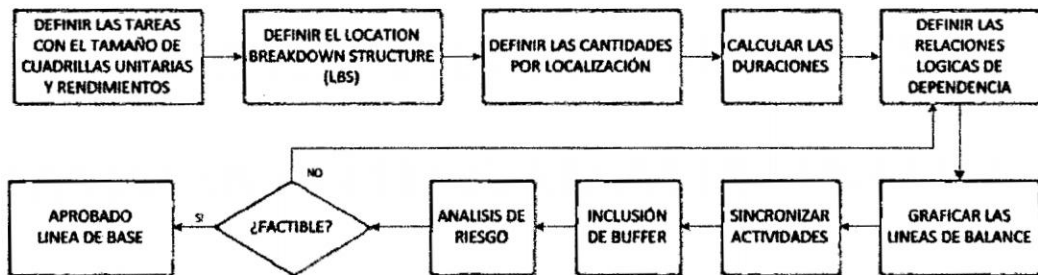


Figura 3.1: Metodología para el planeamiento y programación con Líneas de Balance

3.1.1. Paso 01: Selección de Tareas

Es el primer paso para el desarrollo del programa maestro con Líneas de Balance.

Como criterios para su selección se proponen:

- Actividades deben pertenecer a la misma fase y etapa constructiva.
- La agrupación de actividades en las tareas del programa, deben de representar adecuadamente el alcance del proyecto y el proceso constructivo a través de las diferentes localizaciones consideradas en el LBS.
- Deben de permitir un control adecuado, para poder evaluar la evolución del programa durante la ejecución y evaluar además su performance.
- Considerar el tiempo de duración de las actividades, cada vez que este tiempo se vuelve más pequeño, se perfila inestable para el control de la actividad, por tanto incrementa el riesgo debido a la sensibilidad a cambios, por lo que no conviene tener actividades de corta duración. Sin embargo, esto dependerá del grado de dispersión y control que cada empresa constructora tenga sobre sus índices de producción y la confiabilidad de sus programas, que pueden ser monitoreados a través de las curvas de producción y el PPC respectivamente.

Para el caso de Edificaciones convencionales, se proponen las actividades del cuadro 3.1 como hitos de partida para la elaboración de los planes maestros.

3.1.2. Paso 02: Selección del LBS

Elegir una adecuada estructura de división por localización, en función de la regularidad de la planta, volúmenes de trabajo similares, número de bloques, número de pisos, sectores, etc. Se recomienda la siguiente jerarquía para la elección de un adecuado LBS.

- Bloques.
- Edificio.
- Niveles o pisos.

3.1. Planeamiento y programación con Líneas de Balance

Tareas	Actividades
Muros Anclados	Excavación masiva de sótanos y cisterna, Anclaje de muros de contención, acero, encofrado y vaciado de muros de concreto.
Pórtico	Acero, encofrado y vaciado de cimentaciones, placas y columnas, losas, vigas y escaleras.
Tarrajo cieloraso y vigas	Colocación de puntos en cieloraso y vigas, tarrajeo de cieloraso y vigas.
Tabiques	Trazo y emplantillado de muros, Tabiquería, encofrado y vaciado de columnetas
Inst. Elect. y Sanit.	Trazo de niveles, picado de muros e instalaciones eléctricas y sanitarias,
Tarrajeo interior y derrames	Colocación de puntos, tarrajeo interior, derrames
Contrapiso	Colocación de puntos, Contrapiso.
Enchape con cerámico	Pisos, zócalos y contrazócalos de cerámico y porcelanatos en baños, cocinas y áreas comunes.
Empaste pintura 1ra mano	Blanqueado, empaste primera mano
Carpintería de aluminio, madera y metal	Puertas de madera, reposteros altos y bajos, pasamanos escaleras, puertas, ventanas y rejillas metálicas.
Aparatos sanitarios y griferías	Instalación de griferías, inodoros, lavatorios, mezcladoras de duchas, pruebas sanitarias.
Vidrios y mamparas	Colocación de marcos de aluminio, instalación de ventanas y mamparas.
Pisos	Colocación de pisos de madera, contrazócalos de madera.
Pintura 2da mano	Pintura acabado final, remates de pintura entrega final.

Cuadro 3.1: Lista de tareas y actividades propuesto para proyectos de edificación a nivel de acabados

- Sectores.

Seleccionar el nivel más bajo de LBS de acuerdo con:

- En edificios regulares, independientemente del alcance, seleccionar como nivel de LBS, la sectorización del tren de actividades.
- En edificios irregulares, seleccionar como mínimo LBS los pisos, pues será en este nivel el mínimo donde los volúmenes de trabajo se igualen, para la mayoría de las tareas del programa.

3.1.3. Paso 03: Cálculo de las cantidades por localización

En función del LBS escogido y las tareas del programa asignados, se determinan las cantidades por localización. Para este fin, puede emplearse el formato del cuadro 3.2

3.1. Planeamiento y programación con Líneas de Balance

Tarea	Und	Rend.	Piso01	Piso02	Piso03	...	Piso n
Tarea 01	Und.					...	
Tarea 02	Und.					...	
Tarea n	Und.					...	

Cuadro 3.2: Formato para el cálculo de cantidades por localización

Los datos de rendimientos de mano de obra y composición de cuadrillas para las tareas, se obtienen de una data histórica de proyectos similares desarrollados por el planificador, o de lo contrario, información de ratios globales difundidos en catálogos constructivos de cada país. Por ejemplo para el caso del Perú, datos de ratios globales de revistas como el Constructivo, Costos, CAPECO, etc.

3.1.4. Paso 04: Cálculo de la duración

Para el cálculo de la duración de cada tarea según la localización, emplear la ecuación:

$$T_u = \frac{Q}{K \times \varphi} \quad (3.1.1)$$

Donde:

φ = velocidad de producción (und/jor)

Q = Cantidad por localización(und)

K = Número o tamaño de cuadrillas unitarias (und)

Se propone emplear el formato del cuadro 3.3

LBS	Tarea	Q	Und	φ	Cuadrillas				T_u			L_u
					Op	Of	Pe	k	Ini [día]	Dur. [días]	fin [día]	

Cuadro 3.3: Formato para el cálculo de las duraciones de las tareas según la localización

Para el cálculo de las duraciones empleando Vico Control 2009, será suficiente con ingresar la información del paso 03 en el programa y las duraciones se calcularán de forma automática.

3.1.5. Paso 05: Definir relaciones lógicas de dependencia

Establecer las relaciones lógicas de dependencia para las tareas seleccionadas. Éstas relaciones de dependencia pueden ser: Inicio-Inicio, Fin-Inicio, Fin-Fin, Inicio-Fin. Las relaciones más empleadas son las dos primeras.

3.1.6. Paso 06: Graficar las Líneas de Balance

Con la información hasta ahora obtenida, Graficar la Línea de Balance, ubicando en el eje de las ordenadas los niveles del LBS escogido y en el eje de las abcisas las duraciones calculadas según cada localización.

3.1.7. Paso 07: Sincronizar actividades

En el análisis de las gráficas de las Líneas de Balance, la intención es lograr un flujo global de la cadena productiva, por lo que el ritmo global de todas las tareas se debe de igualar al de la tarea restrictiva según cada localización. Existen diferentes acciones descritas en la sección 2.4.4 del capítulo 02 para este fin.

3.1.8. Paso 08: Calcular e incluir buffer

Los Buffer deben de ser calculados e incluidos en el programa con el fin de absorber la variabilidad que se pueda presentar durante la ejecución del proyecto.

Las formulaciones propuesta para el cálculo de buffer son:

$$B_{WIPmin} = \frac{K_a \times \varphi_a}{Q_{Ta}}$$

$$B_{WIP} = f B_{WIPmin}$$

$$B_{tiempo} = \frac{B_{WIP} \times Q_{TP}}{K_P \times \varphi_P}$$

Éstas ecuaciones han sido descritas en la sección 2.5.4. Además se recomienda emplear para este efecto el formato establecido en el cuadro 3.4

Los buffer se calculan en las localizaciones más críticas, que son aquellas en las que ocurrirá un probable cruce entre tareas dependientes si alguna de ellas tuviera una

3.1. Plancamiento y programación con Líneas de Balanceo

Cod.	Tarea	Und	Ratio Prod.	Cuadrilla			k	Loc. Buffer	Met.
				Op	of	Pe			

Cuadro 3.4: Formato propuesto para el cálculo de buffer.

desviación.

3.1.9. Paso 09: Simulación de riesgo

Vico Control 2009 posee una herramienta para la simulación de riesgos del programa, siendo necesario asignar 04 niveles de riesgo en 05 categorías que originan la variación de las duraciones con este fin.

Niveles de riesgo

- Alto (High)
- Intermedio (Intermediate)
- Bajo (Low)
- Cero (Zero)

Categorías de riesgo

- Inicio de la tarea.
- Duración de la tarea.
- Disponibilidad de recurso.
- Trabajos rehechos.
- Factores de producción.

En la figura 3.2 se muestra la asignación de niveles de riesgo, para 03 tareas en las 05 categorías, dentro de Vico Control 2009.

3.1. Planificación y programación con Líneas de Balance

Hierarchy	Name	Start of schedule task	Schedule task duration (%)	Start risk	Come-back delay	Production factor distribution
+1	TAREA 01	High	Zero	High	Intermediate	Intermediate
+2	TAREA 02	Intermediate	High	High	Low	Intermediate
+3	TAREA 03	Zero	Intermediate	Low	Intermediate	Low

Figura 3.2: Asignación de niveles de riesgo en Vico Control 2009

La variable que modifica su valor es el de la duración. Los niveles de riesgo asignado están asociados a una distribución probabilística uniforme.

Una vez asignado los niveles, corresponde realizar la simulación con Vico Control 2009, para lo cual se recomienda emplear 1000 iteraciones como mínimo, pues en función de ello se obtendrá la precisión de resultados. La salida de la simulación es un histograma de frecuencias con la curva de probabilidad acumulada en el que se traza una línea vertical por la fecha de fin de proyecto. La intersección entre la curva de probabilidad y la fecha de fin, dan la probabilidad de terminar el proyecto en la fecha indicada, con lo que quedaría determinado el plazo.

3.1.10. Paso 10: Evaluación de factibilidad

La factibilidad se debe evaluar en tres aspectos:

1. **Flujo**, De un análisis gráfico de las Líneas de Balance, se tiene total certeza de que se logrará un flujo de trabajo sin interrupciones cuando se haya conseguido ritmos uniformes y las Líneas de flujo de cada tarea sean paralelas a lo largo de las diferentes localizaciones.
2. **Riesgo**, De la simulación anterior se determina un plazo de ejecución con una probabilidad de finalización en el tiempo determinada. De ser muy baja, se tendrá que incrementar los tamaños de buffer en partidas y localizaciones críticas, hasta que en la simulación se consiga una probabilidad de finalización aceptable, a criterio del planificador. Una probabilidad por encima del 80 %, resultaría normalmente adecuado.
3. **Plazo**, El plazo del proyecto puede ser determinado de varias formas, por ejemplo puede ser determinado contractualmente, es decir plazo impuesto por el propietario; otra forma es el plazo determinado a través de cálculos en

3.2. Sistema de control con Líneas de balance

función de rendimientos de recursos y cantidades por localización; por último, otra forma puede ser el plazo determinado por ratios globales de construcción, en base a experiencias pasadas de una edificación de características similares.¹⁹ Es importante que el plazo obtenido durante este proceso de programación, cumpla con las necesidades del cliente, es decir, quien determina si se cumple o no con este requisito es el cliente.

3.1.11. Paso 11: Definir Línea de Base

Una vez evaluada la factibilidad del programa, se determina aprobado el plazo, que se convertirá en el plazo contractual para finalmente establecer la línea de base del proyecto que representa el Plan Maestro de la obra.

3.2. Sistema de control con Líneas de balance

La figura 3.3 describe el procedimiento a seguir para realizar el control de la producción con Líneas de Balance.

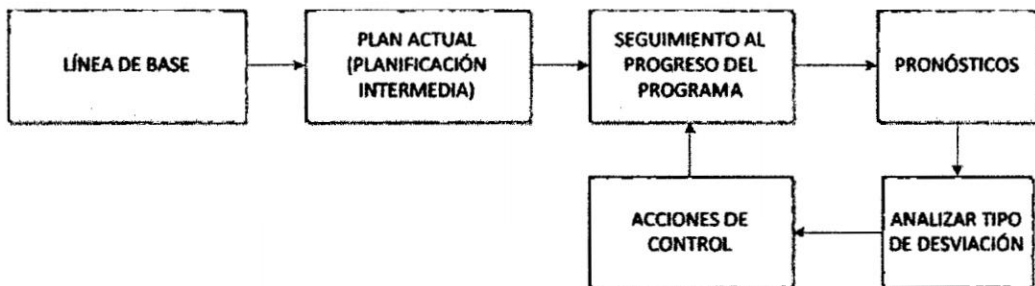


Figura 3.3: Metodología para el seguimiento y control con Líneas de Balance

3.2.1. Paso 01: Determinar el Plan Actual

El plan actual es el mismo que la línea de base, a menos que se haya modificado algún alcance del proyecto después de haber sido determinada la línea de base. En esta etapa se deberá actualizar cualquier cambio o información del proyecto que no ha estado disponible al momento de la elaboración de la línea de base. Es similar al "Phase Scheduling de Last Planner".

3.2.2. Paso 02: Seguimiento de progreso de programa

Es necesario hacer un seguimiento al programa, con el fin de evaluar si los rendimientos y velocidades asumidos se están cumpliendo. Con este fin se propone el registro de información a partir del formato del cuadro

FECHA	LBS		CANTIDAD		CUADRILLA		
	NIVEL	SECTOR	UND	%	OP	OF	PE
Fecha 1							
Fecha 2							
Fecha n							

Cuadro 3.5: Formato para la toma de datos para el seguimiento con Líneas de Balance

Las cantidades y cuadrillas deberán ser ingresadas en Vico Control 2009 y con la información ingresada se podrá dibujar las líneas de flujo real del programa, de tal manera que se podrá comparar gráfica y analíticamente las velocidades de producción reales y programadas, para poder tomar acciones correctivas de detectarse alguna desviación. La figura 3.4 muestra la forma de ingreso de datos en Vico Control 2009

Location Completions: APARATOS SANITARIOS Y GRIFERIAS-PISO 06

Actual dates:
 Unit started: 8/4/2013 0
 Unit finished: 10/4/2013 9

1: Events | 2: Resources | 3: Costs | 4: Quality | 5: Prerequisites | 6: Diary

Event history

Event	Period	Hour	Code	Name	Completed	Planned total	Consulative, related remaining and by Progress
+1	Start	8/4/2013	0		0 NO.	0 NO.	0%
+2	Progress	8/4/2013	9		10 NO.	10 NO.	31.3%
+3	Progress	9/4/2013	9		11 NO.	21 NO.	43.8%
+4	Ending	10/4/2013	9		11 NO.	32 NO.	100%

Comment:

Actual in Location	Planned in Location	Task
Actual start date: 8/4/2013	Target start date: 4/4/2013	Planned total: 437.0 NO.
Actual end date: 10/4/2013	Target end date: 8/4/2013	Total completed quantity: 437.0 NO.
Total completed quantity: 32.0 NO.	Planned total: 32.0 NO.	Quantity completed: 100.0%

Figura 3.4: Ingreso de información de producción en Vico Control 2009

3.2.3. Paso 03: Elaboración de pronósticos de programa

Vico Control 2009 calcula en base a las formulaciones detalladas en el capítulo 02 sección 2.3.2.2 los tiempos de duración proyectados de cada tarea en función de información de producción en las dos últimas localizaciones. En base a esto se generan alarmas en caso ocurriese el riesgo del corte de flujo de trabajo aguas abajo de la cadena productiva, en cuyo caso se deben de tomar acciones de control correctivas.

3.2.4. Paso 04: Análisis del tipo de desviación

Los tipos de desviación del programa fueron descritos en el Capítulo 02 secciones 2.4.6.3. Con el tipo de desviación identificado, se procede a tomar acciones de control.

3.2.5. Paso 05: Acciones de control

Tomar decisiones para poder nivelar la producción de acuerdo al tipo de desviación en el programa. Las acciones de control posibles fueron descritas en el capítulo 02 sección 2.4.6.4.

Capítulo 4

Implementación piloto en un proyecto de Edificación

4.1. Descripción del proyecto

El edificio multifamiliar Ejército 231, es una edificación que tiene 5600 m² de área construida distribuida en 02 torres de 15 y de 13 pisos que albergan 40 departamentos, 02 sótanos con capacidad para 35 estacionamientos, tiene una altura de 43m. El sistema estructural corresponde a un sistema dual (pórticos de concreto y muros estructurales), y la tabiquería utilizada son de muros de ladrillos confinado mediante columnetas con acabados generales convencionales. Los sótanos se han construido mediante el sistema de muros anclados. La construcción de esta edificación se inició en Junio del 2012 y concluyó en Junio 2013. El plazo contractual fue establecido entre el contratista y el propietario por experiencias en construcciones similares anteriores, en 14 meses.

La figura 4.1 muestra la distribución de la estructura del piso típico y una vista panorámica del edificio.

El cuadro 4.1 muestra los datos más relevantes del proyecto:

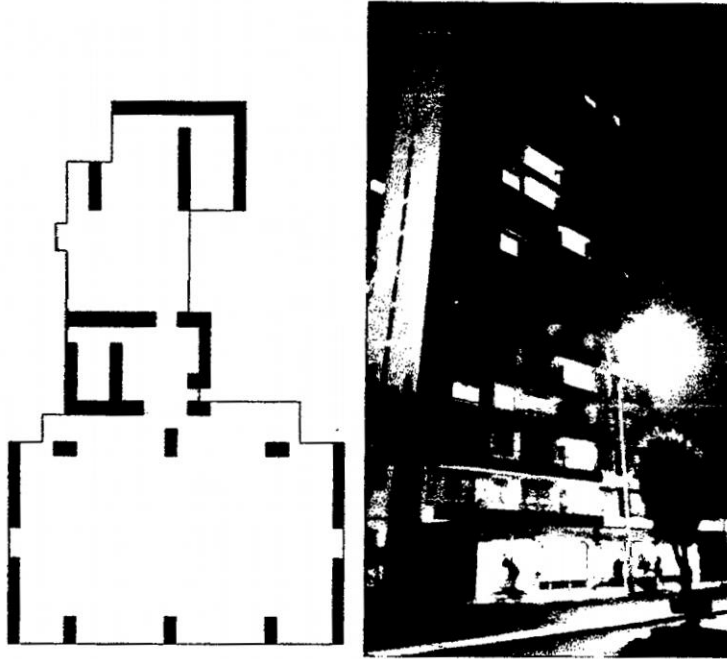


Figura 4.1: Distribución típica de la estructura y vista panorámica del edificio.

Tipo de proyecto	Inmobiliario de vivienda multifamiliar
Área construida	5600 m ²
Plazo contractual	14 meses
Contratista	Motiva S.A.
Propietario	Bélgica Edificaciones S.A.
Estructura	Dual
Acabados	Si

Cuadro 4.1: Datos del proyecto de caso de estudio

4.2. Disponibilidad de datos

Para la elaboración del plan maestro que establecería la línea de base del proyecto, se ha utilizado la línea de balance como herramienta de planeamiento. Como soporte informático para esta etapa se utilizó una hoja de cálculo de Excel. Este proyecto representa el primer esfuerzo de la empresa contratista por implementar una programación basada en la localización para la elaboración del plan maestro. Para la fase de planeamiento también se dispone de información relacionada con los ratios de producción (Excepto tareas subcontratadas), planos contractuales que limitan el alcance del proyecto, hojas de metrados por localización de la mayoría de actividades consideradas en el presupuesto. Para las tareas subcontratadas, se

4.3. *Proceso de planeamiento del programa*

ha asumido ratios globales en función de la información alcanzada por los mismos subcontratistas.

En la etapa de control, se dispone de datos de producción diaria recogida para cada actividad del presupuesto y cada tarea del programa, con los que se pueden llevar el control de costos y plazos respectivamente. El control de costos se ha realizado utilizando software propio de la Empresa Motiva S.A., el sistema COBRA, que utiliza la metodología del valor ganado.

En la presente tesis empleamos el Vico Control, para modelar el proceso de producción de esta edificación en base a los datos recogidos.

En el Apéndice A, se pueden observar los datos recogidos del proyecto.

4.3. Proceso de planeamiento del programa

4.3.1. Estructura de división por localización (LBS)

El primer problema con el que nos encontramos durante el proceso de implementación, fue el de escoger un LBS adecuado. En primera instancia se quiso establecer como nivel de LBS más bajo la sectorización del tren de actividades. Sin embargo, ni siquiera en la tarea pórticos se pudo equilibrar el volumen de trabajo en elementos horizontales y verticales debido a la irregularidad de planta y elementos estructurales. Finalmente se estableció una sectorización para el tren, pero con volúmenes diferentes de trabajo, la figura ?? muestra la sectorización del tren con la que se trabajo en este proyecto.

Al tratar de establecer la sectorización del tren como LBS de las tareas de acabados, por la naturaleza del procedimiento constructivo, se perdía continuidad en las Líneas de balance, por lo que finalmente se determinó como mínimo nivel de LBS para la programación maestra el de “pisos”.

4.3. Proceso de planeamiento del programa

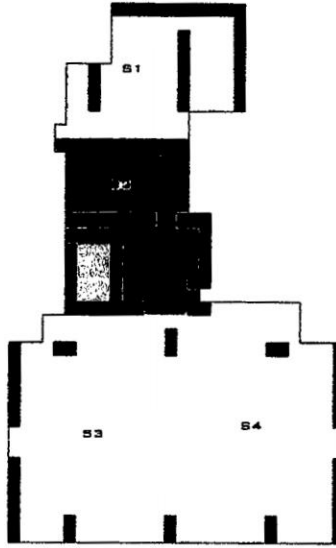


Figura 4.2: Tren de actividades en Ejercito 231

SITE	FLOOR
EJERCITO	AZOTEA
	PISO 15
	PISO 14
	PISO 13
	PISO 12
	PISO 11
	PISO 10
	PISO 09
	PISO 08
	PISO 07
	PISO 06
	PISO 05
	PISO 04
	PISO 03
	PISO 02
	PISO 01
	SOTANO 01
	SOTANO 02
CIMENTACIONES	

Figura 4.3: Estructura de división por localización Ejercito 231

4.3.2. Definición de tareas del programa.

Para la selección de las tareas del programa se han seguido los criterios mencionados en la sección 3.1.1 del capítulo 03. Las tareas seleccionadas son las que se muestran en el cuadro 3.1 del capítulo 03.

4.3. Proceso de planeamiento del programa

Por otro lado se necesita información de los rendimientos de la M.O. para cada tarea asignada y la composición de cuadrillas. Esta información en este caso, se ha obtenido de una data histórica de la constructora Motiva S.A.

4.3.3. Cantidades por localización, ratios de productividad y recursos.

Con las tareas del programa y el LBS establecido, se procede a calcular las cantidades para cada nivel de jerarquía considerado en el LBS, en este caso, "Pisos". En el Apéndice B se muestran los datos de las cantidades por localización considerados para el planeamiento, junto con información relevante como los rendimientos de la mano de obra y la composición de las cuadrillas unitarias.

4.3.4. Cálculo de los tiempos de duración de las tareas.

El cálculo de la duración se ha realizado utilizando la ecuación descrita en la sección 2.3.1.5 del capítulo 02:

$$T_u = \frac{Q}{K \times \varphi}$$

El cuadro 4.2 muestra un ejemplo del cálculo para la tarea tarrajeo de cielo raso, en todas sus localizaciones.

Sin embargo si utilizamos el Vico Control 2009 para la planificación, el cálculo manual del tiempo es innecesario pues el software calcula este tiempo automáticamente, tal como lo muestra la figura 4.4.

4.3.5. Dependencias y retrasos.

El cuadro 4.3 describe las relaciones de precedencia entre las tareas consideradas para el programa, así como los retrasos técnicos que serán tomados en cuenta para

4.3. Proceso de planeamiento del programa

LBS	Descripción	Met.	Und.	φ [m2/día]	Cuadrilla			Duración [días]	Ritmo [Und/día]	HH Req.
					Op	Of	Pc k			
0	Tarrajeo Cicloraso y Vigas		m2	9.56	1	0.5				
PISO 01		344.66		9.56	1	0.5	7	5.15	0.19	459.7
PISO 02		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 03		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 04		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 05		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 06		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 07		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 08		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 09		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 10		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 11		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 12		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 13		315.37		9.56	1	0.5	6	5.50	0.18	420.6
PISO 14		227.45		9.56	1	0.5	5	4.76	0.21	303.3
PISO 15		217.57		9.56	1	0.5	4	5.69	0.18	290.2
Azotea		27.71		9.56	1	0.5	1	2.90	0.35	37

Cuadro 4.2: Cálculo de la duración por localización.

Edít mínima task: TARRAJEO DE CIELORASO Y VIGAS (Total controlled quantity: 4601.8 M2, Target production rate: 54.6 M2/day)

Task Part: TARRAJEO DE CIELORASO Spk...

1: General | 2: Resources | 3: Dependancies | 4: Quantities | 5: Durations | 6: Quality | 7: Prerequisites | 8: Customisation | 9: Diary

	Location	Production facts	Start	Durston	End	Workgroup count
1	PISO 01	1	22/10/2012	5.1	27/10/2012	7
2	PISO 02	1	27/10/2012	5.5	31/11/2012	6
3	PISO 03	1	31/11/2012	5.5	10/11/2012	6
4	PISO 04	1	10/11/2012	5.5	16/11/2012	6
5	PISO 05	1	16/11/2012	5.5	23/11/2012	6
6	PISO 06	1	23/11/2012	5.5	29/11/2012	6
7	PISO 07	1	29/11/2012	5.5	6/12/2012	6
8	PISO 08	1	6/12/2012	5.5	13/12/2012	6
9	PISO 09	1	13/12/2012	5.5	20/12/2012	6
10	PISO 10	1	20/12/2012	5.5	28/12/2012	6
11	PISO 11	1	28/12/2012	5.5	7/1/2013	6
12	PISO 12	1	7/1/2013	5.5	12/1/2013	6
13	PISO 13	1	12/1/2013	5.5	19/1/2013	6
14	PISO 14	1	19/1/2013	4.7	25/1/2013	5
15	PISO 15	1	25/1/2013	5.7	31/1/2013	4
16	AZOTEA	1	31/1/2013	2.9	4/2/2013	1

Use dependency order << OK and previous OK and next >> OK Cancel

Figura 4.4: Cálculo de las duraciones en Vico Control 2009.

la programación.

Algunas tareas a veces requieren de un tiempo de retraso determinado por las especificaciones técnicas y buenas prácticas constructivas. Por ejemplo, para poder realizar la tarea “Tarrajeo de cielo raso y vigas” se necesita esperar 14 días para poder desencofrar las vigas (para concreto normal). Ocurre lo mismo con la tarea “Empaste pintura 1ra mano”, pues para dar inicio a esta tarea, se debe de esperar el tiempo suficiente para que el tarrajeo interior pueda secar; las buenas prácticas constructivas le asignan a este tiempo 30 días.

4.3. Proceso de planeamiento del programa

COD.	Tarea	Predecesor
1	Muros Anclados	
2	Pórtico	FC 01 + 00
3	Tarrajeo de cieloraso y vigas	FC 02 + 14
4	Tabiques	FC 03 + 00
5	Inst. Elect. y Sanit.	CC 04 + 04
6	Tarrajeo interior y derrames	FC 05 + 00
7	Contrapiso	FC 06 + 00
8	Enchape con cerámico	FC 07 + 00
9	Empaste pintura 1ra mano	FC 08 + 00, FC 06 + 30
10	Carpintería de aluminio, madera y metal	FC 09 + 00
11	Aparatos sanitarios y griferías	FC 10 + 00
12	Vidrios y mamparas	FC 11 + 00
13	Pisos	FC 12 + 00
14	Pintura 2da mano	FC 13 + 00

Cuadro 4.3: Relaciones de dependencia de las tareas del programa

Todas las relaciones de dependencia entre localizaciones para una misma tarea son de Fin-Comienzo.

4.3.6. Gráfica de las líneas de balance.

Con la información de las duraciones de las actividades y las relaciones de dependencia, se puede ahora dibujar las líneas de balance. Durante este proceso es necesario sincronizar las tareas, para que tengan un ritmo de entrega similar. En este caso se han alineado las tareas para que en promedio puedan entregar 01 piso por semana en los pisos típicos y los recursos han sido nivelados para que se pueda cumplir con este objetivo. La figura 4.5 muestra la gráfica de la línea de balance elaborada.

En este programa aún no se han incluido los buffer, cuyo cálculo se hará en la sección siguiente. El plazo obtenido es 275 días.

Antes de la inclusión de buffers en el programa, analizaremos el riesgo asociado, para lo cual asignamos niveles de riesgo en las 05 categorías consideradas para este análisis, descrito en la sección 3.1.8 del Capítulo 02 (Figura 4.6).

Para cada categoría de riesgo, se ha asignado niveles de riesgo bajo, intermedio y alto en cada tarea y en cada localización. Este paso es necesario para poder realizar

4.3. Proceso de planeamiento del programa

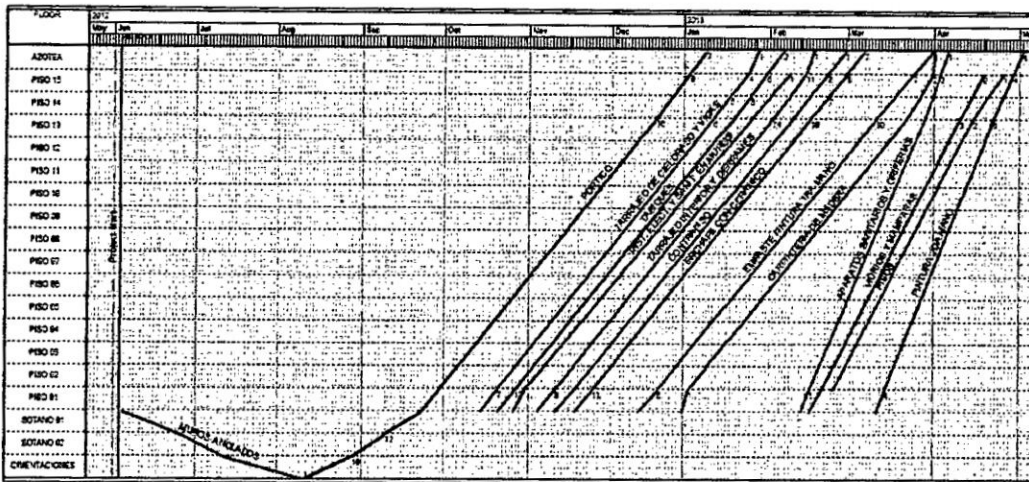


Figura 4.5: Programa maestro con líneas de balance Ejército 231, sin inclusión de buffers

Hierarchy	Name	Start of schedule task	Schedule task duration (%)	Start risk	Come-back delay	Production factor distribution
+1	MUROS ANCLADOS	Low	High	High	Intermediate	Intermediate
+2	PORTICO	High	High	High	Low	Intermediate
+3	TARRAJEO DE CIELORASO Y VIGAS	Intermediate	Intermediate	Low	Intermediate	Low
+4	TABQUES	Intermediate	Intermediate	High	Intermediate	Low
+5	INST. ELÉCT. Y SANIT. EN MUROS	Intermediate	Intermediate	Low	Low	Low
+6	TARRAJEO INTERIOR Y DERRAMES	Intermediate	Intermediate	Low	Low	Low
+7	CONTRAPISO	Intermediate	High	High	High	Intermediate
+8	ENCHAPE CON CERÁMICO	Intermediate	High	Low	Intermediate	Intermediate
+9	EMPASTE PINTURA 1RA MANO	Intermediate	Intermediate	Low	Low	Low
+10	CARPINTERIA DE MADERA	Intermediate	High	Intermediate	Low	Low
+11	APARATOS SANITARIOS Y GRIFERIAS	Intermediate	Intermediate	Low	Intermediate	Low
+12	VIDRIOS Y MAMPARAS	Intermediate	Intermediate	Low	Low	Low
+13	PISOS	Intermediate	High	Low	Low	Low
+14	PINTURA 2DA MANO	Intermediate	Intermediate		High	

Figura 4.6: Niveles de riesgo para cada tarea en cada localización.

la simulación por el método de Montecarlo.

Luego de realizada la simulación, analizamos el riesgo del programa sin la inclusión de buffers entre tareas interdependientes, obtenemos valores de riesgo elevados sobretodo en el arranque de las tareas. En las demás localizaciones el riesgo es intermedio y bajo, como se puede ver en la figura 4.7.

En la figura 4.8, se muestra la distribución temporal de la probabilidad de la fecha de finalización del proyecto. La probabilidad de finalización del proyecto se calcula intersectando la fecha de finalización obtenida por el programa con la curva de probabilidad acumulada. En este caso el valor de dicha probabilidad es 0%. Es decir no existe de ninguna forma la probabilidad de terminar el proyecto en la fecha indicada por el programa. Los resultados se muestran en el cuadro 4.4.

La simulación se calculó con 1000 iteraciones. Procederemos ahora a incluir buffers

4.3. Proceso de planeamiento del programa

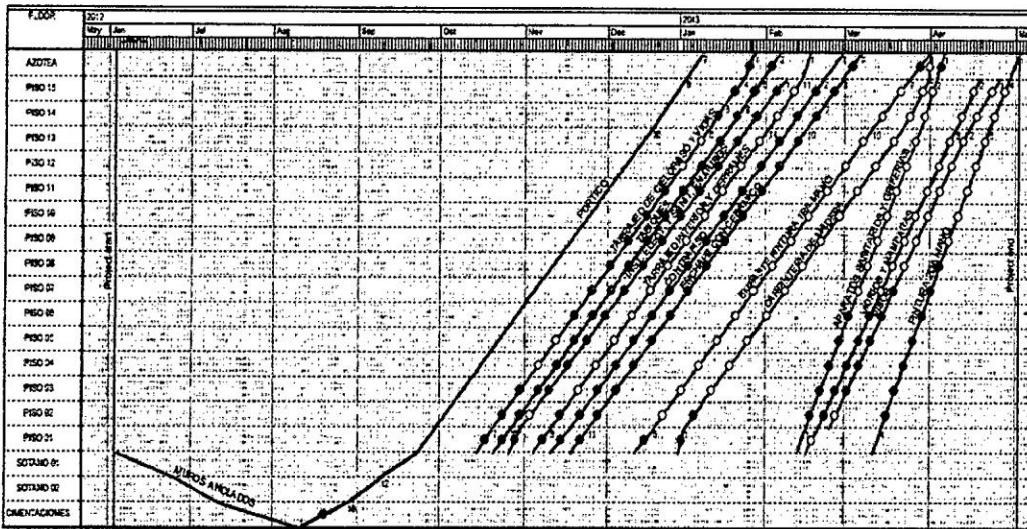


Figura 4.7: Riesgo del programa sin inclusión de buffers

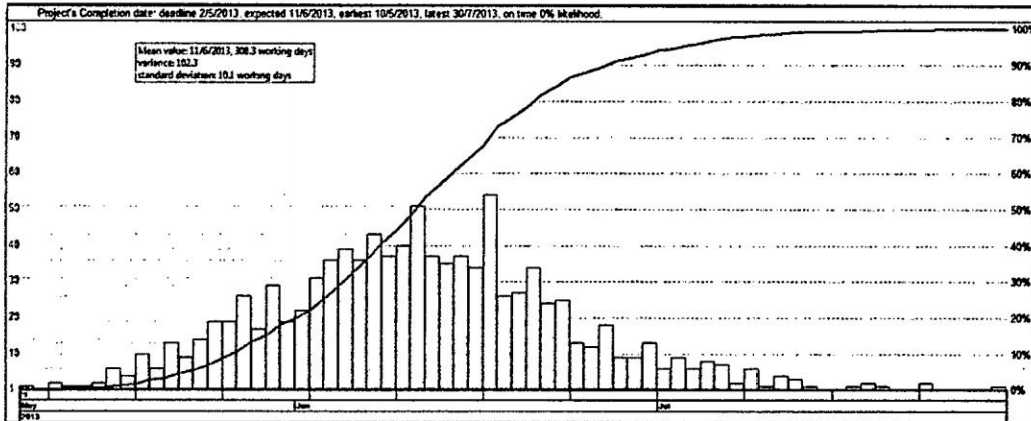


Figura 4.8: Distribución temporal de la probabilidad de la fecha de finalización del proyecto sin inclusión de buffers.

Fecha final programa	Fecha esperada	Fecha mas temprana	Fecha mas tardía	Probabilidad de terminar a tiempo
02/05/2013	11/06/2013	10/05/2013	30/07/2013	0%

Cuadro 4.4: Fecha programada, esperada, más temprana y más tardía del final del proyecto, sin buffers

dentro del programa para que puedan absorber la variabilidad.

4.3.7. Cálculo de Buffer.

La formulación matemática propuesta para el cálculo de buffer, se puede ver en la sección 2.5.4 del capítulo 02.

4.3. Proceso de planeamiento del programa

Se presenta el cálculo manual del buffer para la tarea *Tarrajeo de cielo raso*, en función de la tarea sucesora *Tabiques*. Los datos para el cálculo se muestran en el cuadro 4.5.

Cod.	Tarea	Und	Ratio Prod.	Cuadrilla			k	Loc. Buffer	Met.
				Op	of	Pe			
3	Tarrajeo de cielo raso	M2	9.56	1	0.5	6	PISO 02	315.37	
4	Tabiques	M2	8.64	1	0.5	8	PISO 02	380.04	

Cuadro 4.5: Datos para el cálculo de buffer entre la tarea de Tarrajeo de cielo raso

$$B_{WIPmin} = \frac{K_a \times \varphi_a}{Q_{Ta}} = \frac{8 \times 8.64}{380.04} = 0.18 \quad f = \frac{100}{40} = 2.5$$

$$B_{WIP} = f B_{WIPmin} = 2.5 \times 0.18 = 0.45$$

$$B_{tiempo} = \frac{B_{WIP} \times Q_{TP}}{K_P \times \varphi_P} = \frac{0.45 \times 315.37}{6 \times 9.56} = 2.5 \approx 3 \text{ días}$$

Luego el Buffer de la tarea *Tarrajeo de cielo raso* es de 3 días, que habría que incluir en el programa, con el objeto de reducir el riesgo y la variabilidad. Para el cálculo se ha asumido un PPC de 40%. Los metrados seleccionados corresponden a la localización del piso 02, pues es esta zona la más propensa a presentar interrupciones para éstas dos tareas dependientes.

En el Apéndice C, se muestra el cálculo de los buffers para todas las tareas del programa.

Luego de la inclusión de buffers al programa, el nuevo programa maestro queda como muestra la figura 4.9.

Este programa ahora tiene un plazo total de 317 días. Una ampliación de éste programa maestro a una escala adecuada, se muestra en el Apéndice D.

4.3. Proceso de planeamiento del programa

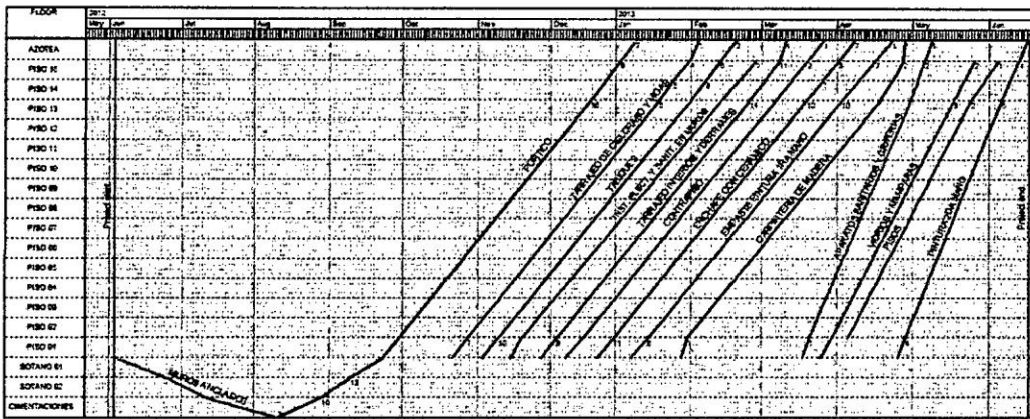


Figura 4.9: Programa maestro con líneas de balance Ejército 231, con inclusión de buffers.

4.3.8. Análisis de riesgos

Con la inclusión de los buffers calculados anteriormente en el programa, se realiza nuevamente la simulación de Montecarlo, para evaluar el riesgo. La figura 4.10 muestra los resultados obtenidos.

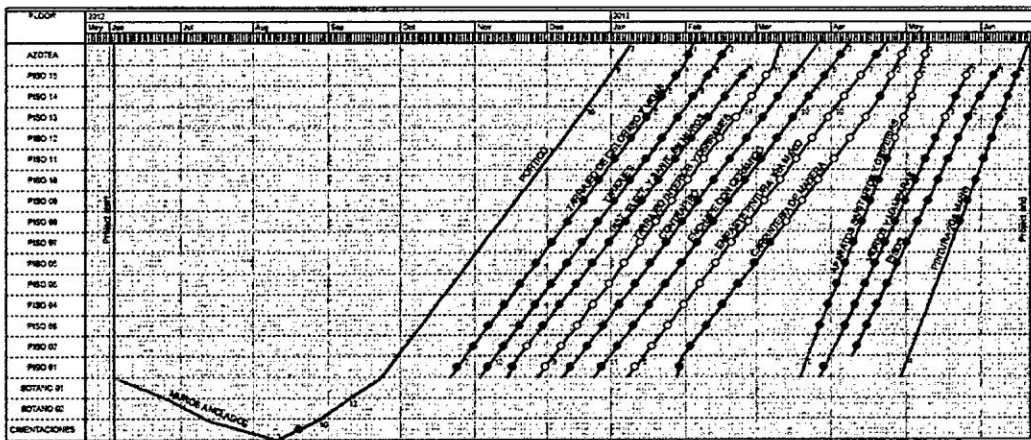


Figura 4.10: Riesgo del programa con inclusión de buffers.

Como se puede apreciar, el riesgo ha disminuido en la mayoría de las localizaciones. Aceptar o no los niveles de riesgo obtenidos, dependerán de la experiencia del programador y del plazo contractual pactado, de ser necesario se deberán incluir tamaños más grandes de buffer, pero no deberían ser menores a los calculados en la sección anterior.

La distribución temporal de la probabilidad de finalización del proyecto (Figura

4.3. Proceso de planeamiento del programa

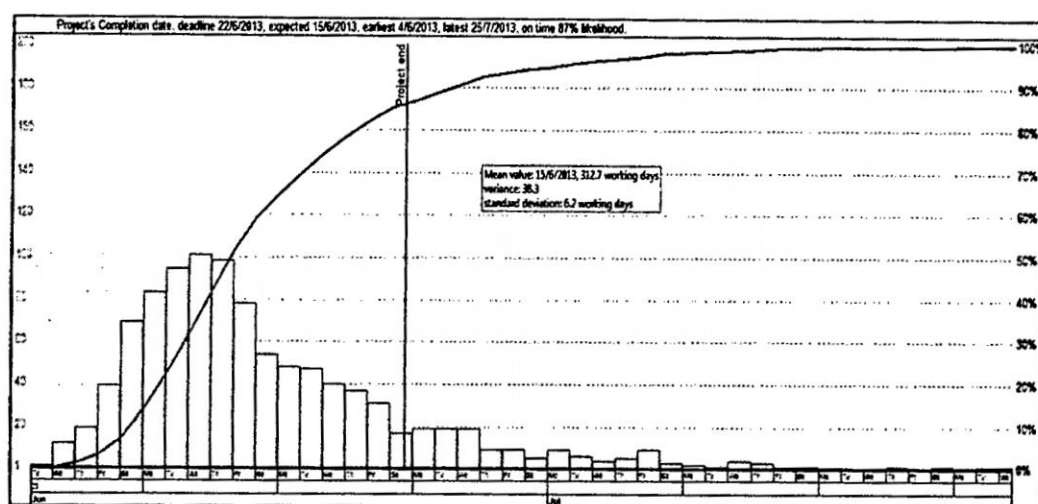


Figura 4.11: Distribución temporal de la probabilidad de la fecha de finalización del proyecto, con inclusión de buffers.

4.11), arroja una probabilidad del 87% para la fecha indicada ahora por el programa. Esta probabilidad de finalización ya es de por sí más confiable. El cuadro 4.6 muestra los resultados de la simulación, para el fin del proyecto.

Fecha final programa	Fecha esperada	Fecha mas temprana	Fecha mas tardía	Probabilidad de terminar a tiempo
22/06/2013	15/06/2013	04/06/2013	25/07/2013	87%

Cuadro 4.6: Fecha programada, esperada, más temprana y más tardía del final del proyecto, con buffers

4.3.9. Evaluación de la factibilidad del programa y Línea de Base

Para considerar un master plan factible, se deben de evaluar 03 factores: Flujo, riesgo y plazo.

Flujo

La evaluación del flujo de trabajo a través de las localizaciones, se logra minimizando las interferencias entre tareas dependientes, y se evalúa en el gráfico de las líneas de balance. Además las tareas deben de tener un ritmo de ejecución similar en la

4.3. *Proceso de planeamiento del programa*

medida de lo posible en todas las localizaciones. En este caso, como no existen interrupciones, el flujo es adecuado por lo que se acepta que el programa cumple con esta condición.

Naturalmente las tareas seleccionadas representan adecuadamente el alcance del proyecto a un nivel macro.

Riesgo

Como vimos, la inclusión de buffers en el programa ha disminuido el riesgo a niveles aceptables, y la probabilidad de finalización en la fecha indicada por el programa se incrementó al 87%. En función a lo anterior, diremos que el programa cumple con esta condición.

Plazo

El plazo contractual en este caso, se acordó en función a la experiencia obtenida anteriormente por la empresa constructora en la construcción de un edificio de características similares y se estableció en 14 meses.

La obtención del tiempo mínimo, en condiciones normales de ejecución, se logra a través del cálculo de las duraciones con ratios obtenidas de una data histórica, el cálculo de los buffers considerando la variabilidad, la evaluación del flujo y el riesgo. Este tiempo debe ser menor o igual al plazo contractual. En este caso 354 días (14 meses), y el plazo obtenido por el método de programación es de 317 días (13 meses), por lo que podemos decir que se cumple con este requisito.

Se define condiciones normales como situaciones habituales, métodos eficientes y un nivel normal de recursos⁴¹

Como se han cumplido con los requisitos, podemos ahora afirmar que el programa es factible y en función de ello establecer la línea de base del proyecto.

4.4. Proceso de control del programa

4.4.1. Proceso de monitoreo y progreso del programa

El estado del programa fue monitoreado semanalmente, por el equipo técnico del proyecto con colaboración de los subcontratistas. La administración de la constructora, recogió sus datos diarios de la producción de las tareas realizadas en el día para el control de costos y plazos. Con esta información, el equipo técnico prepara informes del estado de avance físico y económico con una frecuencia quincenal.

Sin embargo el avance físico y económico, fue siempre preocupación de la residencia del proyecto, por lo que se hacían evaluaciones constantes de ambos factores. De encontrarse algún problema o detectarse una desviación del programa o del presupuesto en alguna tarea, se realizan reuniones de producción con los contratistas involucrados y jefes de cuadrilla, con el objetivo de corregir las desviaciones.

La figura 4.12 muestra el desarrollo histórico del programa en el mes de abril del 2013. El color verde indica que la tarea ha sido terminada en la localización, el color azul indica que la tarea está a tiempo y progreso, el color ámbar indica que la tarea está en progreso pero fuera de tiempo, mientras que el color rojo indica que la tarea está retrasada y aún sin iniciar.

Éste gráfico, permite un control reactivo del estado del programa, tomando acciones de control para solucionar los problemas presentados, con un corto espacio de tiempo. Asimismo, es obtenido de los datos de producción de cada tarea, registrados adecuadamente, para poder incluso dibujar el estado de avance en el gráfico de la Línea de Balance.

4.4.2. Elaboración de pronósticos y alarmas

Esta etapa pertenece al control preventivo, pues en base a la información registrada de la producción diaria, se pueden graficar con las Líneas de Balance el estado actual del programa y el pronóstico de las tareas, que nos daría información para poder

4.4. Proceso de control del programa

FLOOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
PISO 13	21/3	24/3	11/4	11/4	27/4	2/5	15/5	23/5	24/5	25/5	7/6	10/6
PISO 12	22/3	24/3	12/4	11/4	24/4	21/4	11/5	16/5	21/5	24/5	4/6	7/6
PISO 11	14/3	21/3	23/3	4/4	22/4	24/4	6/5	11/5	15/5	21/5	31/5	4/6
PISO 10	13/3	14/3	22/3	25/3	13/4	22/4	3/5	8/5	13/5	16/5	25/5	31/5
PISO 09	11/3	11/3	14/3	22/3	12/4	13/4	25/4	11/5	8/5	13/5	25/5	23/5
PISO 08	22/3	23/3	14/3	21/3	11/4	13/4	25/4	11/5	4/5	8/5	22/5	25/5
PISO 07	14/3	22/3	8/3	12/3	11/4	12/4	24/4	25/4	22/4	21/4	18/5	22/5
PISO 06	11/3	12/3	12/3	21/3	11/4	12/4	25/4	25/4	25/4	25/4	15/5	18/5
PISO 05	4/2	11/2	12/2	21/2	11/4	12/4	20/4	25/4	20/4	25/4	13/5	15/5
	EMPASTE PINTURA IRA MANO	CARPINTERIA DE MADERA	APARATOS SANITARIOS Y CRIFERIAS	VIDRIOS Y MANIPARAS	PISOS	PINTURA 2DA MANO						

Figura 4.12: Progreso del programa al 25/04/2013

prever futuros problemas, y tomar acciones de control necesarias para corregir el problema, mucho antes de que ocurra. Esto nos da más flexibilidad en la evaluación de alternativas al menor costo posible.

La figura 4.13 muestra el progreso del estado actual, el pronóstico y las alarmas generadas en las etapas iniciales del proyecto al mes de enero del 2013.

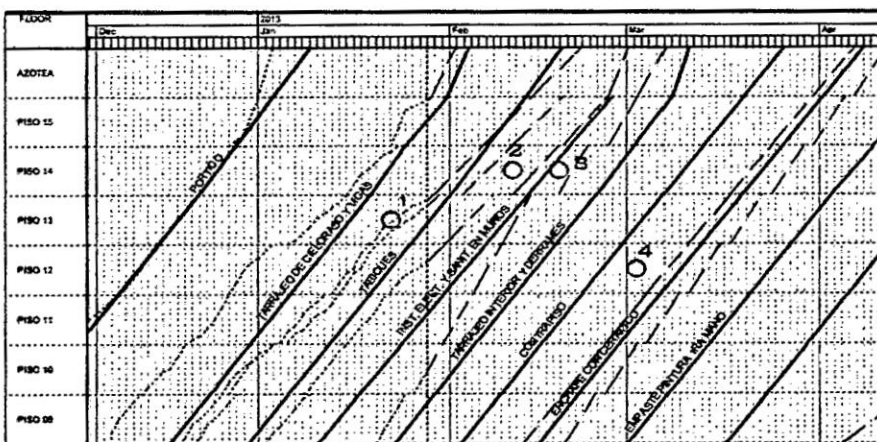


Figura 4.13: Estado de progreso actual, pronósticos y alarmas del programa al 28/01/2013.

El cuadro 4.7 describe potenciales problemas futuros alertados, sobre los cuales se

4.4. Proceso de control del programa

ALARMA	DESCRIPCIÓN
1	Alerta la posibilidad de choque entre las tareas de tabiques e instalaciones, ya que el ratio de producción de la tarea predecesora es baja mientras que la tarea sucesora inició antes de tiempo y va a una velocidad de producción mayor.
2	Alerta el inicio antes de lo programado de la tarea sucesora, en este caso de la tarea Tarrajeo interior y derrames.
3	Alerta la alta velocidad de producción de la tarea Contrapiso, y de la posibilidad de originar una división de la tarea a lo largo de las localizaciones siguientes.
4	Alerta la posibilidad de la pérdida de continuidad del flujo de trabajo entre las tareas Enchape con cerámico y Empaste 1ra mano, pues la primera tiene un ratio de producción lento, mientras que la segunda un ratio de producción mayor y empezó antes de lo programado.

Cuadro 4.7: Descripción de las alarmas generadas.

ha de tomar acciones correctivas para prever su ocurrencia.

En el Apéndice E se muestra el gráfico de las Líneas de Balance con el progreso real del programa a una escala adecuada. En este gráfico se muestra que el tiempo total de ejecución fue de 317 díashábiles para todo el proyecto.

Capítulo 5

Resultados y discusión

Respecto a los resultados de la presente investigación, se tienen resultados de carácter cuantitativo, como los resultados del análisis estadístico del diagnóstico de la problemática, las velocidades de construcción alcanzadas que son indicadores de eficiencia y los índices de desempeño. Respecto a los resultados cualitativos, se tienen las observaciones, problemas encontrados soluciones planteadas durante el proceso de implementación.

5.1. Resultados del análisis estadístico del diagnóstico

En el capítulo 01 se mostraron los resultados de las encuestas realizadas respecto de las metodologías de programación y control más empleados por las constructoras en proyectos de edificación a nivel de Lima y el porcentaje de proyectos que terminan fuera de su plazo contractual, como se muestra en las figuras 5.1 y 5.2 respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, del 70 % al 85 % de los encuestados emplea métodos basados en CPM como principal herramienta para la gestión del cronograma de sus proyectos. Sin embargo, en la situación actual, el 70 % de los proyectos que se ejecutan termina fuera del plazo contractual. Como se mostró en el capítulo 01, se reconoce los inadecuados sistemas de programación y métodos ineficientes para el seguimiento y control de los proyectos como una de las causas más importantes

5.1. Resultados del análisis estadístico del diagnóstico



Figura 5.1: Métodos de programación y control más empleados en Edificaciones en Lima

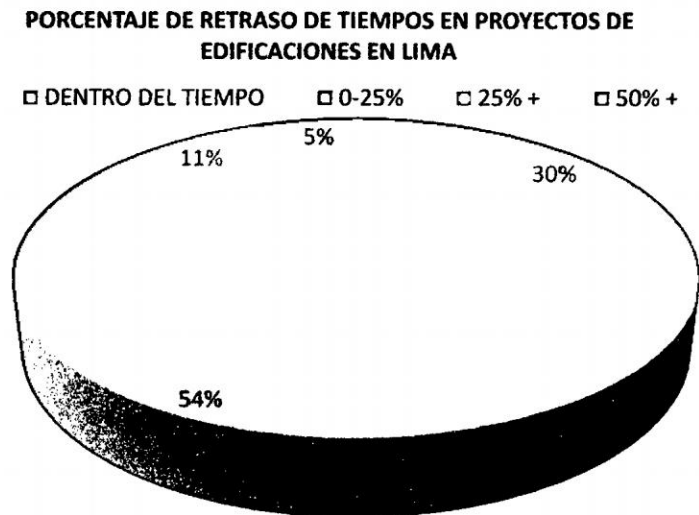


Figura 5.2: Porcentaje de retraso de tiempos de construcción de proyectos de Edificación en Lima

para el retraso de los proyectos. Este hecho demuestra una de las hipótesis de la presente investigación, en relación a que no se cuentan con adecuados sistemas de programación y control específicos para la industria de la construcción en proyectos de edificaciones.

5.2. Resultados de la implementación piloto

5.2.1. Problemas y observaciones del proceso de implementación

Durante la implementación, se han encontrado muchas dificultades, tanto en el proceso de programación como en el control. A continuación se describen las más determinantes.

Durante la programación

1. **Tareas del programa.** La metodología no especifica concretamente como seleccionar las tareas involucradas en el programa. De hecho, en el Perú se trabaja con partidas, que son actividades que describen a detalle los trabajos a realizar. Éstas partidas establecen demasiado nivel de detalle para los fines de elaboración del plan maestro. En efecto, si aplicamos conceptos de Last Planner al plan maestro, no es necesario llegar a mucho nivel de detalle en su elaboración, inclusive resulta contraproducente. Por ello, en la presente tesis se propone una selección de las tareas que marcan los hitos importantes de avance del proyecto en edificaciones y criterios de selección que complementen la definición propuesta por la metodología, las cuales se han indicado en la sección 3.1.1 del Capítulo 03.

Una desventaja de esta metodología es que no determina ruta crítica. Por ello, las tareas propuestas para el plan maestro son todas críticas, y en todo caso las que determinan el plazo del proyecto.

2. **Determinación del LBS.** De acuerdo a lo comentado en la sección 4.3.1 del capítulo 04, se muestra la dificultad que se tiene para determinar el LBS en proyectos con planta irregular. Complementando entonces el concepto de “Sistemas de localización” propuesto en la metodología, diremos que sólo es aplicable cuando se tienen edificios con regularidad en planta y distribución de los elementos estructurales, pues de lo contrario se corre el riesgo de perder continuidad en las líneas de balance. Basado en esto, se proponen los criterios de selección del LBS especificados en la sección 3.1.2. del capítulo 03.

3. **Curvas de aprendizaje.** Muchos de los creadores del método de Líneas de Balance consideran apropiado la inclusión del efecto de las curvas de aprendizaje en la determinación de la duración de las tareas. Sin embargo, por nuestra experiencia durante la implementación de la metodología, observamos que realmente no se puede hablar de desarrollo de curvas de aprendizaje, pues en nuestra industria de la construcción, el personal operativo es itinerante, lo que quiere decir que hay un movimiento constante de personal obrero para las diferentes actividades. Por lo anterior, se sugiere que para la elaboración del plan maestro, no se considere la inclusión de curvas de aprendizaje.
4. **Dimensionamiento de buffer.** Para la disminución del riesgo asociado a un programa la metodología propone la asignación de buffer de programación y la elaboración del análisis de riesgos con esta consideración, lo cual absorberá la variabilidad. Sin embargo, la metodología no indica cual es el tamaño de los buffer ni en que localización deben ser asignados. En la presente tesis, se propone una formulación que considera la variabilidad para el dimensionamiento adecuado de los Buffer y la localización de su asignación, las que se describen en la sección 2.5.4 del capítulo 01.
5. **Factibilidad.** La metodología propuesta defiende la evaluación de la factibilidad del programa, a través de la determinación de las duraciones de las tareas, en base a información real de recursos y cantidades, y al evaluación del riesgo. En esta tesis adicionalmente se propone, la evaluación del flujo de tareas interdependientes y restricciones de plazo, que deben de cumplir con las expectativas del cliente. Las consideraciones se describen en la sección 2.3.1.7. del capítulo 02.

Durante el control

1. La figura 5.3 describe cuales son las desviaciones que se han presentado. Siguiendo la Ley de Pareto, debemos de preocuparnos por el 80 % de los problemas mas significativos. En el siguiente cuadro se describe las acciones de control empleadas para la gestión del cronograma de la línea base en las desviaciones más importantes.

5.2. Resultados de la implementación piloto

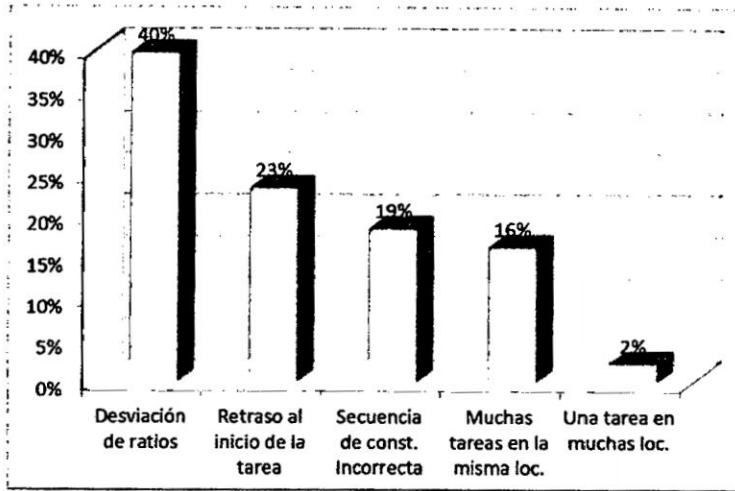


Figura 5.3: Desviaciones del programa de implementación piloto

Desviación	%	Comentarios
Desviación de ratios	40%	Incremento de mano de obra en actividades de casco terminado, pues se han tenido restricciones de horario lo que impedía el empleo de horas extra. En actividades de acabados, se ha empleado el uso de horas extra.
Retraso al inicio de la tarea	23%	El retraso de inicio de tareas en las diferentes localizaciones se dio en un 98 % de las veces en las tareas de acabados, que frecuentemente se subcontratan, por lo que para el manejo de esta desviación se propone establecer compromisos confiables y realistas con los subcontratistas, lo que se levantaría empleando herramientas del Last Planner.
Secuencia de const. Incorrecta	19%	Esta desviación se origina cuando se inician actividades en una localización, sin haber concluido con la localización anterior. Lo que ocurre es que frecuentemente al iniciar trabajos en una localización determinada se trata de avanzar los elementos que permitan desarrollar mayor velocidad de producción, dejando los elementos más restrictivos para los remates. Este comportamiento es habitual sobretudo en subcontratos, que tratan de avanzar los más posible. Se propone para la levantar esta desviación, manejar las valorizaciones con los subcontratos, no valorizando ningún avance en localizaciones donde aún haya trabajos pendientes.

Cuadro 5.1: Acciones de control propuestas para las desviaciones del programa en proyecto piloto

5.2. Resultados de la implementación piloto

2. Se ha observado durante el control, que al tener la posibilidad de discretizar la distribución de recursos por localizaciones, nos ha facilitado la gestión logística y abastecimiento con los proveedores, generando cronogramas de entrega de los recursos más importantes de forma anticipada, superando inclusive el Lead Time de cada producto.
3. Una falencia de la metodología es que si bien se puede saber el flujo global de obra a nivel de las tareas que marcan los hitos importantes, no establece cual es el porcentaje de avance físico de obra. Por lo que para esta determinación, proponemos la utilización del SPI de la teoría del valor ganado, pues al tener todas las tareas diferentes unidades, la única forma de uniformizar el avance físico es respecto del valor ganado por cada fecha de corte.
4. Para un adecuado control de obra, en lo que gestión del tiempo refiere, no es suficiente el empleo de las Líneas de Balance. Si bien es cierto que la herramienta permite tener un control reactivo y proactivo de las tareas del programa a nivel global, se requiere además una programación a corto plazo a detalle, medir la variabilidad y analizar las restricciones que se pueda tener para la elaboración de los trabajos, que son herramientas propias de Last Planner. Por lo ello, como solución se propone el uso del Last Planner en combinación con las Líneas de Balance.

5.2.2. Tiempos y velocidades de construcción programadas y reales

El cuadro 5.2 muestra los tiempos de construcción programados y reales, que han sido obtenidos luego de la implementación de las Líneas de Balance como herramienta para la programación y control del cronograma.

Como se puede ver, el tiempo de ejecución total programado y real coinciden en 57 semanas. El plazo contractual, establecido siguiendo métodos tradicionales antes de la implementación, se estableció en 62 semanas. Respecto de este plazo se logrado reducir el tiempo de ejecución en 8%. Los creadores del software Vico Office afirman que esta optimización respecto de los métodos basados en CPM logran llegar al 10%

5.2. Resultados de la implementación piloto

Etapa	Prog.	Real	UND
Sub-estructura	17	16	sem
Super-estructura	16	15	sem
Muros y Tarrajeos	12	8	sem
Acabados	13	18	sem
Tiempo total (redond.)	57	57	sem
Tiempo total (redond.)	13	13	meses

Cuadro 5.2: Tiempos de construcción programadas y reales en proyecto piloto

en promedio¹⁰

El cuadro 5.3 muestra las velocidades constructivas programadas y reales, para las diferentes etapas del proyecto.

Velocidades constructivas	Área m2	Programado		Real	
		sem	m2/sem.	sem	m2/sem.
Casco	5,600	32	173	31	178
Casco terminado	5,600	44	128	39	143
Acabados	5,600	57	98	57	98

Cuadro 5.3: Velocidades constructivas logradas en proyecto piloto

Como se puede ver a tanto a nivel de casco como a nivel de casco terminado las velocidades constructivas reales superaron las velocidades programadas llegando a conseguir 178 m2/sem y 143 m2/sem respectivamente. Sin embargo la velocidad final del proyecto con acabados fue de 98 m2/sem, lo que nos indica, que las velocidades de construcción se redujeron durante la etapa de acabados.

Las velocidades constructivas promedio logradas por la empresa constructora en proyectos similares fueron de 120 m2/sem para casco terminado y de 90 m2/semana para el proyecto con acabados. Durante la programación y ejecución del proyecto piloto, se ha podido conseguir velocidades más optimistas y mejores resultados a los esperados.

5.2.3. Evaluación de índices de desempeño

5.2.3.1. Índice de costos

$$IC = \frac{\text{Gastos reales}}{\text{Gastos previstos}} - 1$$

$$IC = \frac{4,735,247}{6,404,099} - 1 = -0.26$$

De acuerdo con el IC, el gasto real estuvo 26 % debajo de lo presupuestado.

5.2.3.2. Índice de cumplimiento temporal:

$$ICT = \frac{\text{Plazo real}}{\text{Plazo programado}} - 1$$

$$ICT = \frac{57 \text{ sem}}{57 \text{ sem}} - 1 = 0$$

De acuerdo al índice de cumplimiento temporal se puede decir que el proyecto fue bien programado, lo que nos habla de un buen desempeño del método de programación y control.

Tomar en cuenta que para el cálculo del índice se toma el plazo establecido por el método de programación y no el plazo contractual.

El índice de cumplimiento temporal respecto del plazo contractual sería:

$$ICT = \frac{57 \text{ sem}}{62 \text{ sem}} - 1 = -0.08$$

Lo cual indica que hubo un ahorro del tiempo respecto del plazo contractual del 8%. Los resultados obtenidos luego de la implementación del método de programación y control en el proyecto piloto, nos habla de la eficiencia que ha tenido el método de programación y control y la precisión de la metodología empleada para conseguir un plazo de ejecución menor a la esperada. Tomar en cuenta que el plazo de ejecución se estableció en función de un análisis probabilístico de las duraciones de las diferentes tareas y en las diferentes localizaciones, por lo que el plazo establecido estaba

asociado a una probabilidad de excedencia del 13 %.

5.3. Propuesta de investigaciones futuras

- Existe un proceso del LBMS denominado Task Planning, que consiste en detallar las tareas del programa conforme la fecha de ejecución se acerca equivalente a la fase de Planificación Intermedia del Last Planner, sólo que la herramienta para la programación son las Líneas de Balance. Combinar el Task Planning y el Last Planner, en la ejecución de un proyecto de edificación, podría lograr mayor eficiencia y eficacia en la programación y control. Evaluar este desempeño en términos de plazos y costos de forma objetiva, podría representar una investigación futura.
- Determinar un indicador que permita a los proyectistas establecer un índice de constructabilidad referido a la determinación del LBS, que les informe sobre el grado de dificultad constructiva que van a tener sus diseños, sería una propuesta de investigación futura.
- Implementar modelos de simulación 5D con el uso de tecnologías como el Last Planner y Las Líneas de Balance en la construcción de proyectos, nos permitirán evaluar los beneficios de diferentes alternativas de solución que podamos plantear para los problemas a los que nos enfrentemos. Obtener datos objetivos de los beneficios de ésta implementación, podrían representar una oportunidad de investigación futura.

Capítulo 6

Conclusiones

6.1. Del diagnóstico

- Se demuestra que actualmente el 70 % de los proyectos de Edificaciones encuestados en Lima (37 proyectos de 06 constructoras diferentes) terminan fuera del plazo y que cerca del 85 % de éstas edificaciones han empleado métodos de barras y CPM para sus procesos de planeamiento y control, y además que sólo el 5 % conoce la metodología de la Línea de Balance.
- Se ha visto que en promedio los proyectos tienen un desfase de 13 % respecto de su plazo y que la desviación estándar es de 28 %.

6.2. De la metodología

- Las tareas hito propuestas para el plan maestro, son necesarias y suficientes para establecer el plazo total de obra.
- No es aplicable el concepto de "Curvas de aprendizaje" pues no se desarrolla debido al carácter itinerante del personal obrero.
- Las formulaciones propuestas para el dimensionamiento objetivo de buffers han mostrado un comportamiento adecuado y suficiente para controlar la variabilidad interna de flujo y proceso.

6.3. *Del proceso de implementación*

- Usar el SPI del valor ganado, para medir el avance físico global es apropiado pues la metodología de Líneas de Balance no cuenta con un indicador de ésta característica.
- Para control de obras a corto plazo no es suficiente la metodología de Líneas de Balance, es necesario complementarlo con otra herramienta como el Last Planner.

6.3. Del proceso de implementación

- Se demuestra objetivamente que es posible la reducción de riesgos por medio de la inclusión de buffers, llegando a obtener una confiabilidad del programa del 87 %.
- Se ha obtenido una velocidad de producción de 178 m²/sem para casco, 128 m²/sem para casco tarrajado y 98 m²/sem para acabados superando las velocidades de producción esperadas.
- El ICT fue 0 contra el plazo programado por la metodología, lo que indica que el proyecto terminó dentro de su plazo. El ICT obtenido comparado contra el plazo contractual fue de -0,08 lo que indica que se terminó por debajo del plazo contractual.
- el IC fue -0.26, lo que indica que hubo un ahorro del 26 % del costo directo al final del proyecto.

Referencias Bibliográficas

1. Fondo Monetario Internacional (FMI). Crecimiento moderado en América Latina en 2014 [homepage]. Washintong,DC.: FMI; 2014 [actualizada en Octubre del 2014; consultado en Agosto del 2014]. Disponible en: <http://www.imf.org/external/spanish/pubs/ft/survey/so/2014/car042414bs.htm>.
2. Banco Central de Reserva del Perú [homepage]. Lima: BCRP; 2014 [actualizada en Octubre del 2014; consultado en Agosto del 2014]. Disponible en: <http://www.bcrp.gob.pe/estadisticas.html>.
3. Instituto Nacional de Estadística e Informática. Informe Técnico de Producción Nacional 08. INEI; 2014.
4. Asociacion de Desarrolladores Inmobiliarios [homepage]. Lima: ADI Peru; 2014 [actualizada en Agosto del 2014; consultado en Agosto del 2014]. Disponible en: <http://www.adiperu.pe/noticias/capeco-se-acabo-la-era-de-las-grandes-rentabilidades-en-la-construccion/>.
5. Meena RN, Bradly TJ. Line of Balance Scheduling: Software Enabled Use in the U.S. Construction Industry. En: Proceedings of the 45th Annual conference of the Associated Schools of Construction of University Florida. EEUU: 2009.
6. Seppänen O. Empirical research on the success of production control in building construction projects [Tesis Doctoral]. Finlandia: Universidad Tecnológica de Helsinki. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Departamento de Ingeniería Estructural y Tecnología de la Construcción; 2009.
7. Bhushan RS, Raghavan S. Line of Balance- A Contractor Friendly Scheduling Technique. Indian Journal of Applied Research. 2013;3:162-163.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. Lowe RH, D'Onofrio MF, Fisk DM, Seppänen O. A Comparison of Location-Based Scheduling with the Traditional Critical Path Method. En: American College of Construction Lawyers 2012 Annual Meeting. EEUU; 2012.
9. Price Waterhouse Coopers. Tendencias en Proyectos de Construcción en México; 2013. Disponible en: <http://www.pwc.com/mx>.
10. Vico Office 2014 [homepage en internet]. Finlandia: Vico Software; 2014 [actualizada en Octubre del 2014, consultado en Agosto del 2014]. Disponible en: <http://www.vicosoftware.com>.
11. Kenley R, Seppänen O. Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control. 1a ed. New York: Spon Press; 2010.
12. Marsh ER. The Harmonogram of Karol Adamiecki. The Academy of Management Journal. 1975;18:358 – 364.
13. Kenley R. Founding Lean Construction on Location-based Planning. En: Proceedings of the 13th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Sydney, Australia; 2005.
14. Ballard G. The Last Planner System of Production Control [Tesis Doctoral]. Reino Unido: Universidad de Birmingham. Escuela de Ingeniería Civil; 2000.
15. Kenley R, Seppänen O. Location-Based Management of Construction Projects: Part of A New Typology for Project Scheduling Methodologies. In: Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference. Austin, Texas, EEUU; 2009.
16. Firat CE, Arditi D, Hämäläinen JP, Kiiras J. Extended model-based master scheduling for building projects using advanced line of balance.
17. Kenley R. Project micromanagement: Practical site planning and management of work flow. En: Proceedings of the 12th International conference of Lean Construction. Helsingor, Dinamarca; 2004.
18. Vico Office R4 Help File User Guide; 2008. Disponible en <http://www.vicosoftware.com/>

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

19. Orihuela P, Esteves D. Aplicación del Método de La Línea de Balance a la Planificación Maestra. En: V Encuentro Latinoamericano de Gestión y Economía en la Construcción. Cancún, México; 2013.
20. Kankainen J, Sandvik T. Controlling a construction project. En: Confederation of Finnish Construction Industries. Helsinki, Finland; 1993.
21. Arditi D, Tokdemir OB, Suh K. Challenges in Line-of-Balance Scheduling. En: Journal of Construction Engineering and Management ASCE. 2002; 128:545-556.
22. Kiiras J. A schedule and resource planning system for the implementation phase control of special projects. En: Publicaciones de Economía y Gestión de la Construcción de la Universidad Tecnológica de Helsinki. Finlandia; 1989.
23. Junnonen JM, Seppänen O. Task planning as a part of production control. En: Proceedings of 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Helsingor, Dinamarca; 2004.
24. Toikkanen A. Scheduling and control of a Special Construction Project. En: Universidad Tecnológica de Helsinki, Gerencia y Economía de la construcción, Departamento de Ingeniería Civil y Medio Ambiental. Helsinki, Finlandia; 1989.
25. Kenley R, Seppänen O. Case Studies of Using Flowline for Production Planning and Control. En: 11th Joint CIB International Symposium. Helsinki, Finlandia; 2005.
26. Soini M, Leskelä I, Seppänen O. Implementation of Line-of-Balance based scheduling and project control system in a large construction company. En: Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Helsingor, Dinamarca; 2004.
27. Department of Navy of USA. Line Of Balance Technology a Graphic Method of Industrial Programming. USA; 1962.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

28. Jongeling R, Olofsson T. A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD. En: *Automation in Construction*.2007;16(2):189-198.
29. Rodriguez Martinez N. Optimization of Flowline Scheduling vs.Balanced Resources and Task Continuity.Universidad de Ciencia y Tecnología de Noruega. Departamento de Ingeniería Civil y Transportes. Noruega; 2013.
30. Leandro G. Planeación de Proyectos:PERT Y CPM.Aula de Economía. Disponible en: [http:// www.auladeeconomia.com/pert-cpm-.ppt](http://www.auladeeconomia.com/pert-cpm-.ppt).
31. Aguirre Sadaba A. Las curvas de aprendizaje y sus aplicaciones.Cuadernos de Ciencias Económicas y Empresariales.1985;16 : 121 – 134.
32. Arditi D, Tokdemir OB, Suh K. Scheduling System for Repetitive Unit Construction using Line-of-Balance Technology. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2001; 8 : 90 – 103.
33. El-Rayes K, Moselhi O. Resource-driven scheduling of repetitive activities. *Construction Management and Economics*. 1998; 16:433-446.
34. Yang IT, Ioannou PG. Resource-Driven Scheduling for Repetitive Projects: A Pull-System Approach. En: *Proceedings of the 9th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*.Singapore;2001.
35. Seppänen O, Kankainen J. Empirical research on deviations in production and current state of project control. En: *Proceedings of the 12th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*. Helsingor, Dinamarca; 2004.
36. Seppänen O, Ballard G, Pesonen S.The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. En: *Proceedings of the 18th Annual Conference International Group for Lean Construction*. Haifa, Israel; 2010.
37. González V, Alarcón LF. Buffers de Programación: Una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción de Chile*.2003;18:109 – 119.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

38. Koskela L. An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction [Tesis Doctoral]. Finlandia:Universidad Tecnológica de Helsinki;2000.
39. Botero Botero LF, Acevedo Agudelo H. Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones. Revista de Ingeniería y Ciencia, Brasil. 2011;7:29-45.
40. Miranda JJ.Gestión de Proyectos, Identificación - Formulación Evaluación Financiera -Económica - Social - Ambiental.
41. Clifford G, Larson E. Administración de Proyectos.4a ed. Mexico: McGraw-Hill; 2009.

Apéndices

Apéndice A

**Datos de producción de obra para
cada tarea por fecha**

MUROS				PORTICO								CIELORASO Y VIGAS							
FECHA	LBS	VOL. (M3)	VOL (%)	FECHA	LBS	VOL. (M3)	VOL (%)	FECHA	LBS	VOL. (M3)	VOL (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)
04/06/2012	SOTANO 01	10	8.30	26/07/2012	CISTERNA	18.00	10.47	17/10/2012	PISO 05	29.42	28.85	05/10/2012	PISO 01	68.15	57.06	10/11/2012	Piso 06	42.57	13.50
05/06/2012	SOTANO 01	10	8.30	30/07/2012	CISTERNA	15.00	8.72	19/10/2012	PISO 05	48.06	47.12	06/10/2012	PISO 01	15.40	12.90	11/11/2012	Piso 06	12.55	3.98
07/06/2012	SOTANO 01	10	8.30	31/07/2012	CISTERNA	21.00	12.21	20/10/2012	PISO 06	12.44	12.20	09/10/2012	PISO 01	20.39	17.08	12/11/2012	Piso 06	46.30	14.68
08/06/2012	SOTANO 01	10	8.30	01/08/2012	CISTERNA	20.00	11.63	23/10/2012	PISO 06	38.81	38.05	10/10/2012	PISO 01	10.20	8.54	13/11/2012	Piso 06	46.30	14.68
09/06/2012	SOTANO 01	10	8.30	02/08/2012	CISTERNA	8.00	4.65	27/10/2012	PISO 06	50.75	49.76	11/10/2012	PISO 01	10.20	8.54	14/11/2012	Piso 06	31.75	10.07
12/06/2012	SOTANO 01	6	4.98	06/08/2012	CISTERNA	8.00	4.65	29/10/2012	PISO 07	13.54	13.27	12/10/2012	PISO 01	17.69	14.81	15/11/2012	Piso 06	48.37	15.34
13/06/2012	SOTANO 01	6	4.98	07/08/2012	CISTERNA	28.00	16.28	31/10/2012	PISO 07	41.09	40.28	13/10/2012	PISO 01	30.38	25.44	16/11/2012	Piso 06	30.75	9.75
14/06/2012	SOTANO 01	10	8.30	08/08/2012	CISTERNA	20.00	11.63	05/11/2012	PISO 07	47.37	46.45	14/10/2012	PISO 01	29.81	24.96	17/11/2012	Piso 06	16.86	5.35
16/06/2012	SOTANO 01	8	6.64	09/08/2012	CISTERNA	18.00	10.47	06/11/2012	PISO 08	11.92	11.68	15/10/2012	PISO 01	40.00	33.50	19/11/2012	Piso 07	57.10	18.11
19/06/2012	SOTANO 01	10	8.30	10/08/2012	CISTERNA	16.00	9.30	08/11/2012	PISO 08	43.37	42.52	16/03/2013	PISO 01	39.14	32.77	21/11/2012	Piso 07	38.68	12.27
21/06/2012	SOTANO 01	15	12.45	13/08/2012	SOTANO 02	40.00	28.37	12/11/2012	PISO 08	46.71	45.79	22/03/2013	PISO 01	10.90	9.12	23/11/2012	Piso 07	52.27	16.57
22/06/2012	SOTANO 01	4.5	3.73	14/08/2012	SOTANO 02	10.00	7.09	13/11/2012	PISO 09	12.50	12.25	23/03/2013	PISO 01	4.74	3.97	24/11/2012	Piso 07	49.86	15.81
23/06/2012	SOTANO 01	6	4.98	15/08/2012	SOTANO 02	11.50	8.16	15/11/2012	PISO 09	40.50	39.71	26/03/2013	PISO 01	12.35	10.34	26/11/2012	Piso 07	58.99	18.70
25/06/2012	SOTANO 01	5	4.15	20/08/2012	SOTANO 02	48.00	34.04	19/11/2012	PISO 09	49.00	48.04	16/04/2013	rtico Ram	7.25	6.07	27/11/2012	Piso 07	58.47	18.54
25/06/2012	SOTANO 02	5	6.21	22/08/2012	SOTANO 02	19.50	13.83	20/11/2012	PISO 10	12.50	12.25	17/04/2013	rtico Ram	28.06	23.50	27/11/2012	Piso 08	4.16	1.32
27/06/2012	SOTANO 02	16	19.88	23/08/2012	SOTANO 02	5.00	3.55	22/11/2012	PISO 10	40.50	39.71	15/10/2012	PISO 02	40.87	12.96	28/11/2012	Piso 08	46.46	14.73
28/06/2012	SOTANO 02	8	9.94	24/08/2012	SOTANO 02	7.00	4.96	26/11/2012	PISO 10	49.00	48.04	16/10/2012	PISO 02	62.24	19.74	29/11/2012	Piso 08	49.93	15.83
06/07/2012	SOTANO 02	13.5	16.77	25/08/2012	SOTANO 01	21.50	10.59	27/11/2012	PISO 11	12.50	12.25	17/10/2012	PISO 02	60.83	19.29	30/11/2012	Piso 08	82.12	26.04
07/07/2012	SOTANO 02	8	9.94	04/09/2012	SOTANO 01	26.50	13.05	29/11/2012	PISO 11	40.50	39.71	18/10/2012	PISO 02	29.76	9.44	01/12/2012	Piso 08	48.53	15.39
11/07/2012	SOTANO 02	16	19.88	05/09/2012	SOTANO 01	10.00	4.93	04/12/2012	PISO 11	49.00	48.04	19/10/2012	PISO 02	60.83	19.29	03/12/2012	Piso 08	84.17	26.69
24/07/2012	SOTANO 02	14	17.39	08/09/2012	SOTANO 01	16.00	7.88	05/12/2012	PISO 12	12.50	12.25	20/10/2012	PISO 02	60.83	19.29	30/11/2012	Piso 09	27.66	8.77
20/06/2012	CIMENTACION	4	2.38	10/09/2012	SOTANO 01	28.00	13.79	07/12/2012	PISO 12	40.50	39.71	18/10/2012	PISO 03	31.29	9.92	01/12/2012	Piso 09	21.05	6.68
26/06/2012	CIMENTACION	6	3.57	11/09/2012	SOTANO 01	29.00	14.29	11/12/2012	PISO 12	49.00	48.04	19/10/2012	PISO 03	65.36	20.72	03/12/2012	Piso 09	29.26	9.28
05/07/2012	CIMENTACION	54	32.14	12/09/2012	SOTANO 01	18.50	9.11	12/12/2012	PISO 13	12.50	12.25	20/10/2012	PISO 03	49.78	15.79	04/12/2012	Piso 09	81.40	25.81
21/07/2012	CIMENTACION	104	61.90	13/09/2012	SOTANO 01	14.50	7.14	14/12/2012	PISO 13	40.50	39.71	22/10/2012	PISO 03	45.93	14.56	05/12/2012	Piso 09	50.84	16.12
				19/09/2012	SOTANO 01	39.00	19.21	18/12/2012	PISO 13	49.00	48.04	23/10/2012	PISO 03	49.78	15.79	06/12/2012	Piso 09	62.10	19.69
				28/08/2012	PISO 01	10.20	10.00	19/12/2012	PISO 14	12.50	23.58	24/10/2012	PISO 03	73.23	23.22	07/12/2012	Piso 09	43.06	13.65
				29/08/2012	PISO 01	15.30	15.00	26/12/2012	PISO 14	40.50	76.42	25/10/2012	PISO 04	36.10	11.45	10/12/2012	Piso 10	44.56	14.13
				01/09/2012	PISO 01	24.48	24.00	27/12/2012	PISO 15	12.50	23.58	26/10/2012	PISO 04	45.89	14.55	11/12/2012	Piso 10	52.03	16.50
				22/09/2012	PISO 01	52.02	51.00	29/12/2012	PISO 15	40.50	76.42	27/10/2012	PISO 04	30.37	9.63	12/12/2012	Piso 10	49.90	15.82
				17/09/2012	PISO 02	38.73	37.97	03/01/2013	PISO 16	40.50	100.00	29/10/2012	PISO 04	60.28	19.11	13/12/2012	Piso 10	16.17	5.13
				24/09/2012	PISO 02	15.49	15.19					30/10/2012	PISO 04	60.28	19.11	14/12/2012	Piso 10	76.36	24.21
				27/09/2012	PISO 02	47.77	46.84					31/10/2012	PISO 04	82.45	26.14	15/12/2012	Piso 10	76.36	24.21
				29/09/2012	PISO 03	47.16	46.24					02/11/2012	PISO 05	52.27	16.57	17/12/2012	Piso 11	30.77	9.76
				05/10/2012	PISO 03	54.84	53.76					03/11/2012	PISO 05	42.20	13.38	18/12/2012	Piso 11	23.42	7.43
				06/10/2012	PISO 04	13.84	13.57					05/11/2012	PISO 05	49.45	15.68	19/12/2012	Piso 11	43.41	13.77
				10/10/2012	PISO 04	36.90	36.18					06/11/2012	PISO 05	70.14	22.24	20/12/2012	Piso 11	65.06	20.63
				12/10/2012	PISO 04	51.26	50.25					07/11/2012	PISO 05	49.45	15.68	21/12/2012	Piso 11	74.92	23.76
				13/10/2012	PISO 05	12.75	12.50					08/11/2012	PISO 05	51.85	16.44	22/12/2012	Piso 11	77.78	24.66
				16/10/2012	PISO 05	11.77	11.54					09/11/2012	Piso 06	39.93	12.66	26/12/2012	Piso 12	74.09	23.49

CIELORASO Y VIGAS				TABIQUES Y COLUMNETAS										INST. ELECT. Y SANIT.						
FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA
27/12/2012	Piso 12	79.87	25.33	01/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	27/11/2012	PISO 06	38.65	10.17	18/01/2013	PISO 13	45.61	12.00	03/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	03/12/2012
28/12/2012	Piso 12	48.46	15.37	02/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	28/11/2012	PISO 06	77.30	20.34	19/01/2013	PISO 13	55.74	14.67	04/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	04/12/2012
29/12/2012	Piso 12	20.05	6.36	03/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	29/11/2012	PISO 06	57.97	15.25	21/01/2013	PISO 13	30.40	8.00	05/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	05/12/2012
02/01/2013	Piso 12	52.65	16.69	04/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	29/11/2012	PISO 07	27.64	7.27	22/01/2013	PISO 13	40.54	10.67	06/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	05/12/2012
03/01/2013	Piso 12	122.04	38.70	05/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	30/11/2012	PISO 07	82.92	21.82	23/01/2013	PISO 13	35.47	9.33	08/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	06/12/2012
04/01/2013	Piso 12	72.18	22.89	06/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	01/12/2012	PISO 07	69.10	18.18	24/01/2013	PISO 13	45.61	12.00	09/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	07/12/2012
07/01/2012	Piso 13	24.05	7.63	08/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	03/12/2012	PISO 07	96.74	25.45	25/01/2013	PISO 13	45.61	12.00	10/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	10/12/2012
08/01/2013	Piso 13	44.28	14.04	09/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	04/12/2012	PISO 07	89.83	23.64	28/01/2013	PISO 13	40.54	10.67	11/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	11/12/2012
09/01/2013	Piso 13	44.28	14.04	10/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	05/12/2012	PISO 07	13.82	3.64	29/01/2013	PISO 13	40.54	10.67	12/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	12/12/2012
10/01/2013	Piso 13	51.78	16.42	11/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	06/12/2012	PISO 08	83.74	22.03	31/01/2013	PISO 14	89.11	25.64	13/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	12/12/2012
11/01/2013	Piso 13	38.11	12.08	12/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	07/12/2012	PISO 08	70.86	18.64	01/02/2013	PISO 14	169.32	48.72	15/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	13/12/2012
12/01/2013	Piso 13	34.69	11.00	13/04/2013	PISO 01	38.67	8.33	10/12/2012	PISO 08	38.65	10.17	02/02/2013	PISO 14	53.47	15.38	16/04/2013	PISO 01	39.55	8.33	14/12/2012
14/01/2013	Piso 13	7.97	2.53	26/10/2012	PISO 02	67.56	17.78	11/12/2012	PISO 08	45.09	11.86	04/02/2013	PISO 14	35.65	10.26	29/10/2012	PISO 02	133.04	17.78	15/12/2012
15/01/2013	Piso 13	70.23	22.27	27/10/2012	PISO 02	76.01	20.00	12/12/2012	PISO 08	115.95	30.51	05/02/2013	PISO 15	80.49	30.56	30/10/2012	PISO 02	149.67	20.00	17/12/2012
16/01/2013	Piso 14	47.20	20.75	29/10/2012	PISO 02	84.45	22.22	13/12/2012	PISO 08	25.77	6.78	06/02/2013	PISO 15	43.91	16.67	31/10/2012	PISO 02	166.30	22.22	18/12/2012
17/01/2013	Piso 14	47.20	20.75	30/10/2012	PISO 02	67.56	17.78	15/12/2012	PISO 09	48.72	12.82	07/02/2013	PISO 15	73.18	27.78	02/11/2012	PISO 02	133.04	17.78	18/12/2012
18/01/2013	Piso 14	27.30	12.00	31/10/2012	PISO 02	59.12	15.56	17/12/2012	PISO 09	97.45	25.64	08/02/2013	PISO 15	65.86	25.00	03/11/2012	PISO 02	116.41	15.56	19/12/2012
19/01/2013	Piso 14	33.71	14.82	02/11/2012	PISO 02	25.34	6.67	18/12/2012	PISO 09	48.72	12.82	11/02/2013	AZOTEA	24.66	28.57	05/11/2012	PISO 02	49.89	6.67	20/12/2012
21/01/2013	Piso 14	30.37	13.35	05/11/2012	PISO 03	95.01	25.00	19/12/2012	PISO 09	58.47	15.38	12/02/2013	AZOTEA	36.98	42.86	07/11/2012	PISO 03	187.08	25.00	21/12/2012
22/01/2013	Piso 14	14.36	6.32	06/11/2012	PISO 03	51.16	13.46	20/12/2012	PISO 09	58.47	15.38	13/02/2013	AZOTEA	24.66	28.57	08/11/2012	PISO 03	100.74	13.46	22/12/2012
23/01/2013	Piso 14	27.30	12.00	07/11/2012	PISO 03	29.23	7.69	21/12/2012	PISO 09	68.21	17.95					09/11/2012	PISO 03	57.56	7.69	26/12/2012
23/01/2013	Piso 15	76.28	35.06	08/11/2012	PISO 03	80.39	21.15	22/12/2012	PISO 10	95.01	25.00					10/11/2012	PISO 03	158.30	21.15	26/12/2012
24/01/2013	Piso 15	80.63	37.06	09/11/2012	PISO 03	87.70	23.08	26/12/2012	PISO 10	74.65	19.64					12/11/2012	PISO 03	172.69	23.08	27/12/2012
26/01/2013	Piso 15	3.69	1.70	10/11/2012	PISO 03	14.62	3.85	28/12/2012	PISO 10	74.65	19.64					13/11/2012	PISO 03	28.78	3.85	29/12/2012
28/01/2013	Piso 15	41.44	19.05	12/11/2012	PISO 03	21.93	5.77	29/12/2012	PISO 10	67.86	17.86					14/11/2012	PISO 03	43.17	5.77	02/01/2013
31/01/2013	Piso 15	15.53	7.14	12/11/2012	PISO 04	40.00	10.53	02/01/2013	PISO 10	20.36	5.36					15/11/2012	PISO 04	78.77	10.53	03/01/2013
29/01/2013	AZOTEA	27.71	100.00	13/11/2012	PISO 04	40.00	10.53	03/01/2013	PISO 10	47.51	12.50					16/11/2012	PISO 04	78.77	10.53	04/01/2013
				14/11/2012	PISO 04	100.01	26.32	04/01/2013	PISO 11	17.27	4.55					17/11/2012	PISO 04	196.93	26.32	05/01/2013
				15/11/2012	PISO 04	53.34	14.04	05/01/2013	PISO 11	86.37	22.73					19/11/2012	PISO 04	105.03	14.04	07/01/2013
				16/11/2012	PISO 04	106.68	28.07	07/01/2013	PISO 11	34.55	9.09					20/11/2012	PISO 04	210.06	28.07	08/01/2013
				17/11/2012	PISO 04	40.00	10.53	08/01/2013	PISO 11	86.37	22.73					21/11/2012	PISO 04	78.77	10.53	09/01/2013
				19/11/2012	PISO 05	91.73	24.14	09/01/2013	PISO 11	60.46	15.91					22/11/2012	PISO 05	180.63	24.14	10/01/2013
				20/11/2012	PISO 05	98.29	25.86	10/01/2013	PISO 11	43.19	11.36					23/11/2012	PISO 05	193.53	25.86	11/01/2013
				21/11/2012	PISO 05	98.29	25.86	11/01/2013	PISO 11	60.46	15.91					24/11/2012	PISO 05	193.53	25.86	12/01/2013
				22/11/2012	PISO 05	65.52	17.24	12/01/2013	PISO 11	95.01	25.00					26/11/2012	PISO 05	129.02	17.24	14/01/2013
				23/11/2012	PISO 05	6.55	1.72	14/01/2013	PISO 12	87.70	23.08					27/11/2012	PISO 05	12.90	1.72	15/01/2013
				24/11/2012	PISO 05	19.66	5.17	15/01/2013	PISO 12	77.96	20.51					28/11/2012	PISO 05	38.71	5.17	16/01/2013
				23/11/2012	PISO 06	103.06	27.12	16/01/2013	PISO 12	38.98	10.26					29/11/2012	PISO 06	202.94	27.12	17/01/2013
				24/11/2012	PISO 06	45.09	11.86	17/01/2013	PISO 12	107.19	28.21					30/11/2012	PISO 06	88.78	11.86	18/01/2013
				26/11/2012	PISO 06	57.97	15.25	18/01/2013	PISO 12	68.21	17.95					01/12/2012	PISO 06	114.15	15.25	19/01/2013

INST. ELECT. Y SANIT.							TARRAJEO INT. Y DERRAMES										CONTRAPISO					
LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)
PISO 06	76.10	10.17	21/01/2013	PISO 13	89.80	12.00	08/04/2013	PISO 01	84.57	17.82	12/12/2012	PISO 06	159.05	21.25	28/01/2013	PISO 12	81.21	10.85	22/04/2013	PISO 01	48.49	14.07
PISO 06	152.20	20.34	22/01/2013	PISO 13	109.76	14.67	09/04/2013	PISO 01	84.53	17.81	13/12/2012	PISO 06	96.56	12.90	29/01/2013	PISO 12	96.27	12.86	23/04/2013	PISO 01	32.40	9.40
PISO 06	114.15	15.25	23/01/2013	PISO 13	59.87	8.00	10/04/2013	PISO 01	44.49	9.37	14/12/2012	PISO 06	123.85	16.55	30/01/2013	PISO 12	52.53	7.02	24/04/2013	PISO 01	46.11	13.38
PISO 07	54.42	7.27	24/01/2013	PISO 13	79.82	10.67	12/04/2013	PISO 01	14.10	2.97	15/12/2012	PISO 06	135.81	18.15	31/01/2013	PISO 12	42.73	5.71	25/04/2013	PISO 01	31.63	9.18
PISO 07	163.27	21.82	25/01/2013	PISO 13	69.84	9.33	13/04/2013	PISO 01	36.45	7.68	17/12/2012	PISO 07	154.81	20.69	01/02/2013	PISO 12	67.27	8.99	26/04/2013	PISO 01	57.42	16.66
PISO 07	136.06	18.18	26/01/2013	PISO 13	89.80	12.00	15/04/2013	PISO 01	17.36	3.66	18/12/2012	PISO 07	135.38	18.09	01/02/2013	PISO 13	53.86	7.20	27/04/2013	PISO 01	60.49	17.55
PISO 07	190.48	25.45	28/01/2013	PISO 13	89.80	12.00	16/04/2013	PISO 01	34.25	7.22	19/12/2012	PISO 07	121.52	16.24	02/02/2013	PISO 13	110.60	14.78	29/04/2013	PISO 01	68.12	19.77
PISO 07	176.88	23.64	29/01/2013	PISO 13	79.82	10.67	17/04/2013	PISO 01	48.33	10.18	20/12/2012	PISO 07	114.48	15.30	04/02/2013	PISO 13	128.46	17.17	14/12/2012	PISO 02	32.79	10.40
PISO 07	27.21	3.64	30/01/2013	PISO 13	79.82	10.67	18/04/2013	PISO 01	36.15	7.62	21/12/2012	PISO 07	109.12	14.58	05/02/2013	PISO 13	148.93	19.90	15/12/2012	PISO 02	31.50	9.99
PISO 08	164.89	22.03	31/01/2013	PISO 14	140.45	25.64	19/04/2013	PISO 01	74.36	15.67	22/12/2012	PISO 07	113.01	15.10	06/02/2013	PISO 13	138.17	18.46	17/12/2012	PISO 02	35.33	11.20
PISO 08	139.52	18.64	02/02/2013	PISO 14	266.85	48.72	05/11/2012	PISO 02	46.75	6.25	26/12/2012	PISO 08	146.93	19.63	07/02/2013	PISO 13	89.77	12.00	18/12/2012	PISO 02	215.75	68.41
PISO 08	76.10	10.17	04/02/2013	PISO 14	84.27	15.38	06/11/2012	PISO 02	95.12	12.71	27/12/2012	PISO 08	134.87	18.02	08/02/2013	PISO 13	46.68	6.24	19/12/2012	PISO 03	79.19	25.11
PISO 08	88.78	11.86	05/02/2013	PISO 14	56.18	10.26	07/11/2012	PISO 02	69.65	9.31	28/12/2012	PISO 08	110.74	14.80	09/02/2013	PISO 13	31.86	4.26	20/12/2012	PISO 03	93.32	29.59
PISO 08	228.30	30.51	06/02/2013	PISO 15	165.44	30.56	08/11/2012	PISO 02	76.21	10.18	29/12/2012	PISO 08	157.34	21.03	09/02/2013	PISO 14	63.79	11.65	21/12/2012	PISO 03	142.86	45.30
PISO 08	50.73	6.78	07/02/2013	PISO 15	90.24	16.67	09/11/2012	PISO 02	44.36	5.93	30/12/2012	PISO 08	128.00	17.10	11/02/2013	PISO 14	174.87	31.92	26/12/2012	PISO 04	79.19	25.11
PISO 09	95.94	12.82	08/02/2013	PISO 15	150.40	27.78	10/11/2012	PISO 02	114.84	15.35	02/01/2013	PISO 08	70.44	9.41	12/02/2013	PISO 14	155.76	28.44	27/12/2012	PISO 04	72.68	23.04
PISO 09	191.88	25.64	09/02/2013	PISO 15	135.36	25.00	12/11/2012	PISO 02	74.75	9.99	02/01/2013	PISO 09	49.78	6.65	13/02/2013	PISO 14	153.33	27.99	28/12/2012	PISO 04	72.68	23.04
PISO 09	95.94	12.82					13/11/2012	PISO 02	117.56	15.71	03/01/2013	PISO 09	127.93	17.10	14/02/2013	PISO 15	69.44	12.83	29/12/2012	PISO 04	90.82	28.80
PISO 09	115.13	15.38					14/11/2012	PISO 02	109.09	14.58	04/01/2013	PISO 09	96.80	12.94	15/02/2013	PISO 15	98.82	18.25	02/01/2013	PISO 05	79.19	25.11
PISO 09	115.13	15.38					15/11/2012	PISO 03	19.87	2.65	05/01/2013	PISO 09	139.82	18.68	17/02/2013	PISO 15	118.14	21.82	03/01/2013	PISO 05	70.18	22.25
PISO 09	134.32	17.95					16/11/2012	PISO 03	14.22	1.90	07/01/2013	PISO 09	109.66	14.65	18/02/2013	PISO 15	198.36	36.64	04/01/2013	PISO 05	72.68	23.04
PISO 10	187.08	25.00					19/11/2012	PISO 03	118.87	15.89	08/01/2013	PISO 09	159.32	21.29	19/02/2013	PISO 15	56.67	10.47	05/01/2013	PISO 05	93.32	29.59
PISO 10	146.99	19.64					20/11/2012	PISO 03	182.34	24.37	09/01/2013	PISO 09	65.01	8.69	19/02/2013	AZOTEA	33.81	44.20	07/01/2013	PISO 06	78.57	24.91
PISO 10	146.99	19.64					21/11/2012	PISO 03	114.38	15.28	09/01/2013	PISO 10	90.70	12.12	20/02/2013	AZOTEA	42.69	55.80	08/01/2013	PISO 06	72.11	22.86
PISO 10	133.63	17.86					22/11/2012	PISO 03	138.27	18.48	10/01/2013	PISO 10	144.84	19.35					09/01/2013	PISO 06	72.11	22.86
PISO 10	40.09	5.36					23/11/2012	PISO 03	82.47	11.02	11/01/2013	PISO 10	137.71	18.40					10/01/2013	PISO 06	92.59	29.36
PISO 10	93.54	12.50					24/11/2012	PISO 03	77.91	10.41	12/01/2013	PISO 10	115.17	15.39					11/01/2013	PISO 07	78.57	24.91
PISO 11	26.73	4.55					26/11/2012	PISO 04	142.43	19.03	14/01/2013	PISO 10	159.88	21.37					12/01/2013	PISO 07	72.11	22.86
PISO 11	133.63	22.73					27/11/2012	PISO 04	155.29	20.75	15/01/2013	PISO 10	100.03	13.37					14/01/2013	PISO 07	72.11	22.86
PISO 11	53.45	9.09					28/11/2012	PISO 04	159.71	21.34	16/01/2013	PISO 11	139.16	18.60					15/01/2013	PISO 07	92.59	29.36
PISO 11	133.63	22.73					29/11/2012	PISO 04	135.90	18.16	17/01/2013	PISO 11	130.53	17.44					16/01/2013	PISO 08	105.59	33.48
PISO 11	93.54	15.91					30/11/2012	PISO 04	154.99	20.71	18/01/2013	PISO 11	105.91	14.15					17/01/2013	PISO 08	96.90	30.72
PISO 11	66.82	11.36					01/12/2012	PISO 05	103.71	13.86	19/01/2013	PISO 11	135.78	18.14					18/01/2013	PISO 08	96.90	30.72
PISO 11	93.54	15.91					03/12/2012	PISO 05	135.34	18.09	21/01/2013	PISO 11	184.30	24.63					19/01/2013	PISO 08	15.99	5.07
PISO 11	146.99	25.00					04/12/2012	PISO 05	138.68	18.53	22/01/2013	PISO 11	52.65	7.04					21/01/2013	PISO 09	84.74	26.87
PISO 12	172.69	23.08					05/12/2012	PISO 05	114.29	15.27	22/01/2013	PISO 12	66.58	8.90					22/01/2013	PISO 09	75.10	23.81
PISO 12	153.50	20.51					06/12/2012	PISO 05	120.26	16.07	23/01/2013	PISO 12	105.11	14.05					23/01/2013	PISO 09	77.77	24.66
PISO 12	76.75	10.26					07/12/2012	PISO 05	136.05	18.18	24/01/2013	PISO 12	117.88	15.75					24/01/2013	PISO 09	77.77	24.66
PISO 12	211.07	28.21					10/12/2012	PISO 06	107.53	14.37	25/01/2013	PISO 12	25.28	3.38					25/01/2013	PISO 09	84.74	26.87
PISO 12	134.32	17.95					11/12/2012	PISO 06	125.52	16.77	26/01/2013	PISO 12	93.47	12.49					26/01/2013	PISO 10	75.10	23.81

CONTRAPISO				ENCHAPES								EMPASTES							
FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)
28/01/2013	PISO 10	77.77	24.66	15/12/2012	PISO 02	8.01	10.23	05/02/2013	PISO 07	10.60	13.54	23/03/2013	PISO 13	9.26	11.83	02/01/2013	PISO 02	97.28	13.00
29/01/2013	PISO 10	77.77	24.66	17/12/2012	PISO 02	5.05	6.45	06/02/2013	PISO 07	13.68	17.47	25/03/2013	PISO 14	14.23	26.06	03/01/2013	PISO 02	104.77	14.00
30/01/2013	PISO 11	84.74	26.87	18/12/2012	PISO 02	8.55	10.93	07/02/2013	PISO 08	17.25	22.04	26/03/2013	PISO 14	12.71	23.27	04/01/2013	PISO 02	97.28	13.00
31/01/2013	PISO 11	75.10	23.81	19/12/2012	PISO 02	7.22	9.23	08/02/2013	PISO 08	13.27	16.95	27/03/2013	PISO 14	15.15	27.73	05/01/2013	PISO 02	74.83	10.00
01/02/2013	PISO 11	77.77	24.66	20/12/2012	PISO 02	5.26	6.72	09/02/2013	PISO 08	16.09	20.55	30/03/2013	PISO 14	12.53	22.94	07/01/2013	PISO 02	82.32	11.00
02/02/2013	PISO 11	77.77	24.66	21/12/2012	PISO 02	4.78	6.11	11/02/2013	PISO 08	14.53	18.56	01/04/2013	PISO 15	22.16	35.44	08/01/2013	PISO 02	89.80	12.00
04/02/2013	PISO 12	84.74	26.87	22/12/2012	PISO 02	4.92	6.29	12/02/2013	PISO 08	6.48	8.28	02/04/2013	PISO 15	16.62	26.58	09/01/2013	PISO 02	89.80	12.00
05/02/2013	PISO 12	75.10	23.81	26/12/2012	PISO 02	5.86	7.48	13/02/2013	PISO 08	10.66	13.62	03/04/2013	PISO 15	11.50	18.38	10/01/2013	PISO 02	112.25	15.00
06/02/2013	PISO 12	77.77	24.66	27/12/2012	PISO 02	6.99	8.93	14/02/2013	PISO 09	12.35	15.78	04/04/2013	PISO 15	12.25	19.59	11/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
07/02/2013	PISO 12	77.77	24.66	28/12/2012	PISO 02	7.79	9.96	15/02/2013	PISO 09	11.49	14.68	05/04/2013	AZOTEA	19.36	35.44	12/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
08/02/2013	PISO 13	81.77	25.93	29/12/2012	PISO 02	7.18	9.17	16/02/2013	PISO 09	12.72	16.25	06/04/2013	AZOTEA	14.52	26.58	14/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
09/02/2013	PISO 13	76.07	24.12	02/01/2013	PISO 02	6.67	8.52	18/02/2013	PISO 09	12.69	16.21	08/04/2013	AZOTEA	10.04	18.38	15/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
11/02/2013	PISO 13	78.77	24.98	03/01/2013	PISO 03	7.08	9.05	19/02/2013	PISO 09	10.41	13.30	09/04/2013	AZOTEA	10.70	19.59	16/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
12/02/2013	PISO 13	78.77	24.98	04/01/2013	PISO 03	11.03	14.10	20/02/2013	PISO 09	9.17	11.71					17/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
13/02/2013	PISO 14	43.08	18.94	05/01/2013	PISO 03	11.03	14.10	21/02/2013	PISO 09	9.44	12.06					18/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
14/02/2013	PISO 14	58.25	25.61	07/01/2013	PISO 03	11.03	14.10	22/02/2013	PISO 10	13.11	16.75					19/01/2013	PISO 03	93.54	12.50
15/02/2013	PISO 14	58.25	25.61	08/01/2013	PISO 03	11.03	14.10	23/02/2013	PISO 10	16.88	21.57					21/01/2013	PISO 04	249.44	33.33
16/02/2013	PISO 14	58.25	25.61	09/01/2013	PISO 03	13.78	17.61	25/02/2013	PISO 10	11.44	14.61					22/01/2013	PISO 04	249.44	33.33
18/02/2013	PISO 14	9.61	4.23	10/01/2013	PISO 03	13.28	16.96	26/02/2013	PISO 10	13.40	17.12					23/01/2013	PISO 04	249.44	33.33
19/02/2013	PISO 15	45.82	21.06	11/01/2013	PISO 04	19.96	25.50	27/02/2013	PISO 10	10.44	13.33					24/01/2013	PISO 05	249.44	33.33
20/02/2013	PISO 15	45.82	21.06	12/01/2013	PISO 04	11.33	14.48	28/02/2013	PISO 10	13.01	16.62					25/01/2013	PISO 05	249.44	33.33
21/02/2013	PISO 15	125.93	57.88	14/01/2013	PISO 04	12.56	16.05	01/03/2013	PISO 11	12.59	16.09					26/01/2013	PISO 05	249.44	33.33
22/02/2013	AZOTEA	27.71	100.00	15/01/2013	PISO 04	15.87	20.28	02/03/2013	PISO 11	12.16	15.53					28/01/2013	PISO 06	124.72	16.67
				16/01/2013	PISO 04	18.54	23.68	04/03/2013	PISO 11	12.14	15.51					29/01/2013	PISO 06	124.72	16.67
				17/01/2013	PISO 05	17.06	21.80	05/03/2013	PISO 11	13.27	16.96					30/01/2013	PISO 06	124.72	16.67
				18/01/2013	PISO 05	14.51	18.54	06/03/2013	PISO 11	10.13	12.94					31/01/2013	PISO 06	124.72	16.67
				19/01/2013	PISO 05	12.30	15.71	07/03/2013	PISO 11	10.51	13.42					01/02/2013	PISO 06	124.72	16.67
				21/01/2013	PISO 05	11.39	14.55	08/03/2013	PISO 11	7.47	9.55					02/02/2013	PISO 06	124.72	16.67
				22/01/2013	PISO 05	12.61	16.12	09/03/2013	PISO 12	16.40	20.96					04/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				23/01/2013	PISO 05	10.40	13.29	11/03/2013	PISO 12	13.14	16.78					05/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				24/01/2013	PISO 06	15.52	19.82	12/03/2013	PISO 12	12.05	15.40					06/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				25/01/2013	PISO 06	13.78	17.61	13/03/2013	PISO 12	16.79	21.45					07/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				26/01/2013	PISO 06	12.81	16.37	14/03/2013	PISO 12	9.89	12.64					08/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				28/01/2013	PISO 06	13.14	16.78	15/03/2013	PISO 12	10.00	12.77					09/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				29/01/2013	PISO 06	10.82	13.82	16/03/2013	PISO 13	13.67	17.46					11/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				30/01/2013	PISO 06	12.21	15.60	18/03/2013	PISO 13	10.78	13.78					12/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				31/01/2013	PISO 07	14.66	18.73	19/03/2013	PISO 13	9.87	12.61					13/02/2013	PISO 07	83.15	11.11
				01/02/2013	PISO 07	16.85	21.53	20/03/2013	PISO 13	8.70	11.12					14/02/2013	PISO 08	93.54	12.50
				02/02/2013	PISO 07	11.14	14.24	21/03/2013	PISO 13	12.88	16.45					15/02/2013	PISO 08	93.54	12.50
				04/02/2013	PISO 07	11.34	14.49	22/03/2013	PISO 13	13.12	16.76					16/02/2013	PISO 08	93.54	12.50

EMPASTES				CARPINTERIA DE MADERA								APARATOS SANITARIOS								VIDRIOS			
FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	PZA (UND)	PZA (%)	FECHA	LBS	PZA (UND)	PZA (%)	FECHA	LBS	PZA (UND)	PZA (%)	FECHA	LBS	PZA (UND)	PZA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)
18/02/2013	PISO 08	93.54	12.50	21/01/2013	PISO 02	4.00	13.79	08/03/2013	PISO 08	4.00	13.79	04/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	22/04/2013	PISO 11	8.00	25.00	11/03/2013	PISO 02	10.14	16.67
19/02/2013	PISO 08	93.54	12.50	22/01/2013	PISO 02	3.00	10.34	09/03/2013	PISO 08	4.00	13.79	05/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	23/04/2013	PISO 11	8.00	25.00	12/03/2013	PISO 02	10.14	16.67
20/02/2013	PISO 08	93.54	12.50	23/01/2013	PISO 02	4.00	13.79	11/03/2013	PISO 08	3.00	10.34	06/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	24/04/2013	PISO 11	8.00	25.00	13/03/2013	PISO 02	10.14	16.67
21/02/2013	PISO 08	93.54	12.50	24/01/2013	PISO 02	3.00	10.34	12/03/2013	PISO 08	5.00	17.24	07/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	25/04/2013	PISO 11	8.00	25.00	14/03/2013	PISO 02	10.14	16.67
22/02/2013	PISO 08	93.54	12.50	25/01/2013	PISO 02	4.00	13.79	13/03/2013	PISO 08	3.00	10.34	08/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	26/04/2013	PISO 12	8.00	25.00	15/03/2013	PISO 02	10.14	16.67
24/02/2013	PISO 09	187.08	25.00	26/01/2013	PISO 02	3.00	10.34	14/03/2013	PISO 09	4.00	13.79	09/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	27/04/2013	PISO 12	8.00	25.00	16/03/2013	PISO 02	10.14	16.67
25/02/2013	PISO 09	187.08	25.00	28/01/2013	PISO 02	4.00	13.79	15/03/2013	PISO 09	4.00	13.79	11/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	29/04/2013	PISO 12	8.00	25.00	18/03/2013	PISO 03	12.17	20.00
26/02/2013	PISO 09	187.08	25.00	29/01/2013	PISO 02	4.00	13.79	16/03/2013	PISO 09	3.00	10.34	12/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	30/04/2013	PISO 12	8.00	25.00	19/03/2013	PISO 03	12.17	20.00
27/02/2013	PISO 09	187.08	25.00	30/01/2013	PISO 03	4.00	13.79	18/03/2013	PISO 09	3.00	10.34	13/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	02/05/2013	PISO 13	8.00	25.00	20/03/2013	PISO 03	12.17	20.00
28/02/2013	PISO 10	124.72	16.67	31/01/2013	PISO 03	4.00	13.79	19/03/2013	PISO 09	5.00	17.24	14/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	03/05/2013	PISO 13	8.00	25.00	21/03/2013	PISO 03	12.17	20.00
01/03/2013	PISO 10	124.72	16.67	01/02/2013	PISO 03	5.00	17.24	20/03/2013	PISO 09	5.00	17.24	15/03/2013	PISO 02	1.00	3.13	04/05/2013	PISO 13	8.00	25.00	22/03/2013	PISO 03	12.17	20.00
02/03/2013	PISO 10	124.72	16.67	02/02/2013	PISO 03	4.00	13.79	21/03/2013	PISO 09	5.00	17.24	16/03/2013	PISO 02	1.00	3.13	06/05/2013	PISO 13	8.00	25.00	23/03/2013	PISO 04	6.08	10.00
04/03/2013	PISO 10	124.72	16.67	04/02/2013	PISO 03	3.00	10.34	22/03/2013	PISO 10	6.00	20.69	18/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	07/05/2013	PISO 14	7.00	25.93	25/03/2013	PISO 04	6.08	10.00
05/03/2013	PISO 10	124.72	16.67	05/02/2013	PISO 03	4.00	13.79	23/03/2013	PISO 10	6.00	20.69	19/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	09/05/2013	PISO 14	7.00	25.93	26/03/2013	PISO 04	6.08	10.00
06/03/2013	PISO 10	124.72	16.67	06/02/2013	PISO 03	5.00	17.24	25/03/2013	PISO 10	5.00	17.24	20/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	10/05/2013	PISO 14	7.00	25.93	27/03/2013	PISO 04	6.08	10.00
07/03/2013	PISO 11	106.90	14.29	07/02/2013	PISO 04	5.00	17.24	26/03/2013	PISO 10	7.00	24.14	21/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	11/05/2013	PISO 14	6.00	22.22	30/03/2013	PISO 04	6.08	10.00
08/03/2013	PISO 11	106.90	14.29	08/02/2013	PISO 04	5.00	17.24	27/03/2013	PISO 10	5.00	17.24	22/03/2013	PISO 02	2.00	6.25	15/05/2013	PISO 15	5.00	22.73	01/04/2013	PISO 04	6.08	10.00
09/03/2013	PISO 11	106.90	14.29	09/02/2013	PISO 04	4.00	13.79	30/03/2013	PISO 11	6.00	20.69	23/03/2013	PISO 03	6.00	18.75	18/05/2013	PISO 15	5.00	22.73	02/04/2013	PISO 04	6.08	10.00
11/03/2013	PISO 11	106.90	14.29	11/02/2013	PISO 04	4.00	13.79	01/04/2013	PISO 11	6.00	20.69	25/03/2013	PISO 03	6.00	18.75	22/05/2013	PISO 15	5.00	22.73	03/04/2013	PISO 04	6.08	10.00
12/03/2013	PISO 11	106.90	14.29	12/02/2013	PISO 04	5.00	17.24	02/04/2013	PISO 11	5.00	17.24	26/03/2013	PISO 03	7.00	21.88	24/05/2013	PISO 15	5.00	22.73	04/04/2013	PISO 04	6.08	10.00
13/03/2013	PISO 11	106.90	14.29	13/02/2013	PISO 04	6.00	20.69	03/04/2013	PISO 11	7.00	24.14	27/03/2013	PISO 03	7.00	21.88	25/05/2013	PISO 15	2.00	9.09	05/04/2013	PISO 04	6.08	10.00
14/03/2013	PISO 11	106.90	14.29	14/02/2013	PISO 05	4.00	13.79	04/04/2013	PISO 11	5.00	17.24	30/03/2013	PISO 03	6.00	18.75	26/05/2013	AZOTEA	2.00	100.00	06/04/2013	PISO 05	8.69	14.29
15/03/2013	PISO 12	124.72	16.67	15/02/2013	PISO 05	5.00	17.24	05/04/2013	PISO 12	5.00	17.24	01/04/2013	PISO 04	10.00	31.25					08/04/2013	PISO 05	8.69	14.29
16/03/2013	PISO 12	124.72	16.67	16/02/2013	PISO 05	5.00	17.24	06/04/2013	PISO 12	5.00	17.24	02/04/2013	PISO 04	11.00	34.38					09/04/2013	PISO 05	8.69	14.29
18/03/2013	PISO 12	124.72	16.67	18/02/2013	PISO 05	3.00	10.34	08/04/2013	PISO 12	4.00	13.79	03/04/2013	PISO 04	11.00	34.38					10/04/2013	PISO 05	8.69	14.29
19/03/2013	PISO 12	124.72	16.67	19/02/2013	PISO 05	4.00	13.79	09/04/2013	PISO 12	6.00	20.69	04/04/2013	PISO 05	11.00	34.38					11/04/2013	PISO 05	8.69	14.29
20/03/2013	PISO 12	124.72	16.67	20/02/2013	PISO 05	5.00	17.24	10/04/2013	PISO 12	4.00	13.79	05/04/2013	PISO 05	11.00	34.38					12/04/2013	PISO 05	8.69	14.29
21/03/2013	PISO 12	124.72	16.67	21/02/2013	PISO 05	3.00	10.34	11/04/2013	PISO 12	5.00	17.24	06/04/2013	PISO 05	10.00	31.25					13/04/2013	PISO 05	8.69	14.29
22/03/2013	PISO 13	187.08	25.00	22/02/2013	PISO 06	6.00	20.69	12/04/2013	PISO 13	6.00	20.69	08/04/2013	PISO 06	11.00	34.38					15/04/2013	PISO 06	20.28	33.33
23/03/2013	PISO 13	187.08	25.00	24/02/2013	PISO 06	6.00	20.69	13/04/2013	PISO 13	6.00	20.69	09/04/2013	PISO 06	11.00	34.38					16/04/2013	PISO 06	20.28	33.33
25/03/2013	PISO 13	187.08	25.00	25/02/2013	PISO 06	7.00	24.14	15/04/2013	PISO 13	5.00	17.24	10/04/2013	PISO 06	10.00	31.25					17/04/2013	PISO 06	20.28	33.33
26/03/2013	PISO 13	187.08	25.00	26/02/2013	PISO 06	4.00	13.79	16/04/2013	PISO 13	7.00	24.14	11/04/2013	PISO 07	11.00	34.38					18/04/2013	PISO 07	20.28	33.33
27/03/2013	PISO 14	182.58	33.33	27/02/2013	PISO 06	6.00	20.69	17/04/2013	PISO 13	5.00	17.24	12/04/2013	PISO 07	11.00	34.38					19/04/2013	PISO 07	20.28	33.33
30/03/2013	PISO 14	182.58	33.33	28/02/2013	PISO 07	7.00	24.14	18/04/2013	PISO 14	7.00	31.82	13/04/2013	PISO 07	10.00	31.25					20/04/2013	PISO 07	20.28	33.33
01/04/2013	PISO 14	182.58	33.33	01/03/2013	PISO 07	7.00	24.14	19/04/2013	PISO 14	8.00	36.36	15/04/2013	PISO 08	16.00	50.00					22/04/2013	PISO 08	10.14	16.67
02/04/2013	PISO 15	180.48	33.33	02/03/2013	PISO 07	6.00	20.69	20/04/2013	PISO 14	7.00	31.82	16/04/2013	PISO 08	16.00	50.00					23/04/2013	PISO 08	10.14	16.67
03/04/2013	PISO 15	180.48	33.33	04/03/2013	PISO 07	4.00	13.79	22/04/2013	PISO 15	7.00	35.00	17/04/2013	PISO 09	16.00	50.00					24/04/2013	PISO 08	10.14	16.67
04/04/2013	PISO 15	180.48	33.33	05/03/2013	PISO 07	5.00	17.24	23/04/2013	PISO 15	6.00	30.00	18/04/2013	PISO 09	16.00	50.00					25/04/2013	PISO 08	10.14	16.67
08/04/2013	AZOTEA	21.88	#####	06/03/2013	PISO 08	5.00	17.24	24/04/2013	PISO 15	7.00	35.00	19/04/2013	PISO 10	16.00	50.00					26/04/2013	PISO 08	10.14	16.67
				07/03/2013	PISO 08	5.00	17.24					20/04/2013	PISO 10	16.00	50.00					27/04/2013	PISO 08	10.14	16.67

VIDRIOS				PISOS								PINTURA			
FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)	FECHA	LBS	AREA (M2)	AREA (%)
29/04/2013	PISO 09	20.28	33.33	22/04/2013	PISO 02	27.73	16.67	08/06/2013	PISO 13	55.47	33.33	08/05/2013	PISO 02	187.08	25.00
30/04/2013	PISO 09	20.28	33.33	23/04/2013	PISO 02	27.73	16.67	10/06/2013	PISO 14	36.76	33.33	09/05/2013	PISO 02	187.08	25.00
02/05/2013	PISO 09	20.28	33.33	24/04/2013	PISO 02	27.73	16.67	11/06/2013	PISO 14	36.76	33.33	10/05/2013	PISO 02	187.08	25.00
03/05/2013	PISO 10	20.28	33.33	25/04/2013	PISO 02	27.73	16.67	12/06/2013	PISO 14	36.76	33.33	11/05/2013	PISO 02	187.08	25.00
04/05/2013	PISO 10	20.28	33.33	26/04/2013	PISO 02	27.73	16.67	13/06/2013	PISO 15	36.76	33.33	13/05/2013	PISO 03	124.72	16.67
06/05/2013	PISO 10	20.28	33.33	27/04/2013	PISO 02	27.73	16.67	14/06/2013	PISO 15	36.76	33.33	14/05/2013	PISO 03	124.72	16.67
07/05/2013	PISO 11	20.28	33.33	29/04/2013	PISO 03	55.47	33.33	15/06/2013	PISO 15	36.76	33.33	15/05/2013	PISO 03	124.72	16.67
08/05/2013	PISO 11	20.28	33.33	30/04/2013	PISO 03	55.47	33.33					16/05/2013	PISO 03	124.72	16.67
09/05/2013	PISO 11	20.28	33.33	02/05/2013	PISO 03	55.47	33.33					17/05/2013	PISO 03	124.72	16.67
10/05/2013	PISO 12	20.28	33.33	03/05/2013	PISO 04	55.47	33.33					18/05/2013	PISO 03	124.72	16.67
11/05/2013	PISO 12	20.28	33.33	04/05/2013	PISO 04	55.47	33.33					20/05/2013	PISO 04	249.44	33.33
13/05/2013	PISO 12	20.28	33.33	06/05/2013	PISO 04	55.47	33.33					21/05/2013	PISO 04	249.44	33.33
14/05/2013	PISO 13	12.17	20.00	07/05/2013	PISO 05	33.28	20.00					22/05/2013	PISO 04	249.44	33.33
15/05/2013	PISO 13	12.17	20.00	08/05/2013	PISO 05	33.28	20.00					23/05/2013	PISO 05	249.44	33.33
16/05/2013	PISO 13	12.17	20.00	09/05/2013	PISO 05	33.28	20.00					24/05/2013	PISO 05	249.44	33.33
17/05/2013	PISO 13	12.17	20.00	10/05/2013	PISO 05	33.28	20.00					25/05/2013	PISO 05	249.44	33.33
18/05/2013	PISO 13	12.17	20.00	11/05/2013	PISO 05	33.28	20.00					27/05/2013	PISO 06	249.44	33.33
20/05/2013	PISO 14	14.13	33.33	13/05/2013	PISO 06	55.47	33.33					28/05/2013	PISO 06	249.44	33.33
23/05/2013	PISO 14	14.13	33.33	14/05/2013	PISO 06	55.47	33.33					29/05/2013	PISO 06	249.44	33.33
25/05/2013	PISO 14	14.13	33.33	15/05/2013	PISO 06	55.47	33.33					30/05/2013	PISO 07	249.44	33.33
27/05/2013	PISO 15	13.59	33.33	16/05/2013	PISO 07	55.47	33.33					31/05/2013	PISO 07	249.44	33.33
30/05/2013	PISO 15	13.59	33.33	17/05/2013	PISO 07	55.47	33.33					01/06/2013	PISO 07	249.44	33.33
01/06/2013	PISO 15	13.59	33.33	18/05/2013	PISO 07	55.47	33.33					03/06/2013	PISO 08	374.17	50.00
				20/05/2013	PISO 08	55.47	33.33					04/06/2013	PISO 08	374.17	50.00
				21/05/2013	PISO 08	55.47	33.33					05/06/2013	PISO 09	374.17	50.00
				22/05/2013	PISO 08	55.47	33.33					06/06/2013	PISO 09	374.17	50.00
				23/05/2013	PISO 09	55.47	33.33					07/06/2013	PISO 10	374.17	50.00
				24/05/2013	PISO 09	55.47	33.33					08/06/2013	PISO 10	374.17	50.00
				25/05/2013	PISO 09	55.47	33.33					10/06/2013	PISO 11	374.17	50.00
				27/05/2013	PISO 10	55.47	33.33					11/06/2013	PISO 11	374.17	50.00
				28/05/2013	PISO 10	55.47	33.33					12/06/2013	PISO 12	374.17	50.00
				29/05/2013	PISO 10	55.47	33.33					13/06/2013	PISO 12	374.17	50.00
				30/05/2013	PISO 11	55.47	33.33					14/06/2013	PISO 13	374.17	50.00
				31/05/2013	PISO 11	55.47	33.33					15/06/2013	PISO 13	374.17	50.00
				01/06/2013	PISO 11	55.47	33.33					17/06/2013	PISO 14	273.88	50.00
				03/06/2013	PISO 12	55.47	33.33					18/06/2013	PISO 14	273.88	50.00
				04/06/2013	PISO 12	55.47	33.33					19/06/2013	PISO 15	270.72	50.00
				05/06/2013	PISO 12	55.47	33.33					20/06/2013	PISO 15	270.72	50.00
				06/06/2013	PISO 13	55.47	33.33					21/06/2013	AZOTEA		
				07/06/2013	PISO 13	55.47	33.33					22/06/2013	AZOTEA	21.88	100.00

Apéndice B

**Cantidades por localización y
rendimientos de cada tarea del
programa**

ACTIVIDAD	UND	VELOCIDAD	CUADRILLA				RATIO PROD.	EJERCITO				
			OP	OF	PE	EQ		CIMENTACI	SOTANO 02	SOTANO 01	PISO 01	PISO 02
MUROS ANCLADOS	M3	6.72	4.00		8.00	5.00	21.50	168.00	90.50	120.50		
PORTICO	M3	1.16	1.00		1.00		14.67	172.00	141.00	203.00	102.00	102.00
TARRAJEO DE CIELO RASO	M2	9.56	1.00		0.50		1.33				344.66	315.37
TABIQUES	M2	8.64	1.00		0.50		1.48		36.06	94.61	464.05	380.04
INST. ELECTRICAS Y SANIT.	M2	136.00	1.00		1.00		0.13		621.68	206.90	474.58	748.33
TARRAJEO INTERIOR Y DERRAMES	M2	9.70	1.00		0.50		1.31		621.68	206.90	474.58	748.33
CONTRAPISO	M2	28.67	1.00		4.00		1.48				344.66	315.37
ENCHAPE CON CERÁMICO	M2	1.42	1.00		0.50		8.96		9.17	9.17	86.40	78.27
EMPASTE PINTURA 1RA MANO	M2	13.61	1.00		0.50		0.94		621.68	206.90	474.58	748.33
CARPINTERÍA DE MADERA, ALUMINIO Y METAL	UND	2.64	1.00		0.50		4.84		5.00	6.00	5.00	29.00
APARATOS SANITARIOS Y GRIFERÍAS	UND	5.50	1.00		0.50		2.32				2.00	32.00
VIDRIOS Y MAMPARAS	M2	5.79	1.00		0.33		1.95		1.40	0.24	66.39	60.84
PISOS	M2	23.77	1.00		0.50		0.54					166.40
PINTURA 2DA MANO	M2	45.35	1.00		0.50		0.28		621.68	206.90	474.58	748.33

ACTIVIDAD	UND	VELOCIDAD	CUADRILLA				RATIO PROD.	EJERCITO				
			OP	OF	PE	EQ		PISO 03	PISO 04	PISO 05	PISO 06	PISO 07
MUROS ANCLADOS	M3	6.72	4.00		8.00	5.00	21.50					
PORTICO	M3	1.16	1.00		1.00		14.67	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00
TARRAJEO DE CIELO RASO	M2	9.56	1.00		0.50		1.33	315.37	315.37	315.37	315.37	315.37
TABIQUES	M2	8.64	1.00		0.50		1.48	380.04	380.04	380.04	380.04	380.04
INST. ELECTRICAS Y SANIT.	M2	136.00	1.00		1.00		0.13	748.33	748.33	748.33	748.33	748.33
TARRAJEO INTERIOR Y DERRAMES	M2	9.70	1.00		0.50		1.31	748.33	748.33	748.33	748.33	748.33
CONTRAPISO	M2	28.67	1.00		4.00		1.48	315.37	315.37	315.37	315.37	315.37
ENCHAPE CON CERÁMICO	M2	1.42	1.00		0.50		8.96	78.27	78.27	78.27	78.27	78.27
EMPASTE PINTURA 1RA MANO	M2	13.61	1.00		0.50		0.94	748.33	748.33	748.33	748.33	748.33
CARPINTERÍA DE MADERA, ALUMINIO Y METAL	UND	2.64	1.00		0.50		4.84	29.00	29.00	29.00	29.00	29.00
APARATOS SANITARIOS Y GRIFERÍAS	UND	5.50	1.00		0.50		2.32	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
VIDRIOS Y MAMPARAS	M2	5.79	1.00		0.33		1.95	60.84	60.84	60.84	60.84	60.84
PISOS	M2	23.77	1.00		0.50		0.54	166.40	166.40	166.40	166.40	166.40
PINTURA 2DA MANO	M2	45.35	1.00		0.50		0.28	748.33	748.33	748.33	748.33	748.33

ACTIVIDAD	UND	VELOCIDAD	CUADRILLA				PISO 08	PISO 09	PISO 10	PISO 11	PISO 12
			OP	OF	PE	EQ					
MUROS ANCLADOS	M3	6.72	4.00		8.00	5.00					
PORTICO	M3	1.16	1.00		1.00		102.00	102.00	102.00	102.00	102.00
TARRAJEO DE CIELO RASO	M2	9.56	1.00		0.50		315.37	315.37	315.37	315.37	315.37
TABIQUES	M2	8.64	1.00		0.50		380.04	380.04	380.04	380.04	380.04
INST. ELECTRICAS Y SANIT.	M2	136.00	1.00		1.00		748.33	748.33	748.33	748.33	748.33
TARRAJEO INTERIOR Y DERRAMES	M2	9.70	1.00		0.50		748.33	748.33	748.33	748.33	748.33
CONTRAPISO	M2	28.67	1.00		4.00		315.37	315.37	315.37	315.37	315.37
ENCHAPE CON CERÁMICO	M2	1.42	1.00		0.50		78.27	78.27	78.27	78.27	78.27
EMPASTE PINTURA 1RA MANO	M2	13.61	1.00		0.50		748.33	748.33	748.33	748.33	748.33
CARPINTERÍA DE MADERA, ALUMINIO Y METAL	UND	2.64	1.00		0.50		29.00	29.00	29.00	29.00	29.00
APARATOS SANITARIOS Y GRIFERÍAS	UND	5.50	1.00		0.50		32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
VIDRIOS Y MAMPARAS	M2	5.79	1.00		0.33		60.84	60.84	60.84	60.84	60.84
PISOS	M2	23.77	1.00		0.50		166.40	166.40	166.40	166.40	166.40
PINTURA 2DA MANO	M2	45.35	1.00		0.50		748.33	748.33	748.33	748.33	748.33

ACTIVIDAD	UND	VELOCIDAD	CUADRILLA				PISO 13	PISO 14	PISO 15	AZOTEA
			OP	OF	PE	EQ				
MUROS ANCLADOS	M3	6.72	4.00		8.00	5.00				
PORTICO	M3	1.16	1.00		1.00		102.00	53.00	53.00	40.50
TARRAJEO DE CIELO RASO	M2	9.56	1.00		0.50		315.37	227.45	217.57	27.71
TABIQUES	M2	8.64	1.00		0.50		380.04	347.54	263.43	86.29
INST. ELECTRICAS Y SANIT.	M2	136.00	1.00		1.00		748.33	547.75	541.43	21.88
TARRAJEO INTERIOR Y DERRAMES	M2	9.70	1.00		0.50		748.33	547.75	541.43	21.88
CONTRAPISO	M2	28.67	1.00		4.00		315.37	227.45	217.57	27.71
ENCHAPE CON CERÁMICO	M2	1.42	1.00		0.50		78.27	54.62	62.53	54.62
EMPASTE PINTURA 1RA MANO	M2	13.61	1.00		0.50		748.33	547.75	541.43	21.88
CARPINTERÍA DE MADERA, ALUMINIO Y METAL	UND	2.64	1.00		0.50		29.00	22.00	20.00	1.00
APARATOS SANITARIOS Y GRIFERÍAS	UND	5.50	1.00		0.50		32.00	27.00	22.00	2.00
VIDRIOS Y MAMPARAS	M2	5.79	1.00		0.33		60.84	42.38	40.78	
PISOS	M2	23.77	1.00		0.50		166.40	110.28	110.28	
PINTURA 2DA MANO	M2	45.35	1.00		0.50		748.33	547.75	541.43	21.88

Apéndice C

Cálculo de Buffer de WIP

Apéndice D

Programa Maestro con Líneas de Balance

Apéndice E

Control del programa maestro con Líneas de Balance

Apéndice F

Simulación de Riesgo con Montecarlo

