

IMPLEMENTACIÓN DEL LOCATION-BASED MANAGEMENT SYSTEM: CASO
DE ESTUDIO APLICADO A LA TOMA DE DECISIONES EN PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN

DAVID FERNANDO RAMÍREZ RAMÍREZ

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MEDELLÍN

2014

IMPLEMENTACIÓN DEL LOCATION-BASED MANAGEMENT SYSTEM: CASO
DE ESTUDIO APLICADO A LA TOMA DE DECISIONES EN PROYECTOS DE
CONSTRUCCIÓN

DAVID FERNANDO RAMÍREZ RAMÍREZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en
Ingeniería con énfasis en Gestión de la Construcción

Luis Fernando Botero Botero

Magister en ciencias de la administración, profesor titular, coordinador del grupo
de investigación GESCON (Gestión de la Construcción)

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
MAESTRÍA EN INGENIERÍA
MEDELLÍN

2014

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, 26 Enero de 2014

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, especialmente a mis padres y a mis hermanos, que son las personas más importantes en mi vida, y que con su apoyo pude lograr alcanzar la meta propuesta.

AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero Luis Fernando Botero Botero por ser el tutor de este proyecto, por toda su ayuda y guía.

A ingeniero Sebastián Saldarriaga por la colaboración para la obtención de la información del proyecto.

A Ruth Stella Ramírez por su colaboración en la realización de este proyecto.

A toda mi familia y amigos que me brindaron su amistad y me apoyaron en el desarrollo de este proyecto.

RESUMEN

El Location-Based Management System (LBMS) integra los componentes de planificación, programación y control de cada etapa de la construcción. Este sistema al permitir una mejor visualización en cada uno de los lugares de trabajo mejora la continuidad del flujo de los equipos de trabajo. El presente trabajo investigativo hace un acercamiento a la empresa Constructora Capital para tomar de ella datos reales con los cuales se pudiera realizar una optimización de la programación empleada para el proyecto Cyprus, mediante la conversión al Location-Based Management System, buscando como objetivo la identificación de las ventajas que para la empresa representa la utilización del LBMS mediante la comparación con los métodos de planificación, programación y control tradicionales basados en actividades específicamente el método de la ruta crítica (CPM). La importancia de la realización de este trabajo recae sobre el mejoramiento de las herramientas que conduzcan a la optimización de los recursos en las empresas del sector de la construcción y concretamente beneficia a la empresa Constructora Capital ya que le muestra las ventajas de la implementación del LBMS en el mejor desempeño del proyecto Cyprus y de los demás proyectos.

Las bases teóricas sobre las que se soporta el trabajo han sido tomadas principalmente de Kenley y Seppänen, y de numerosos artículos de revistas científicas. En estos estudios se encuentra que el LBMS toma las ventajas que tienen los métodos tradicionales basados en actividades, pero hace una mejora en el uso continuo de los recursos y la visualización del método constructivo. Dicho sistema, tal como se conoce, ha adoptado diferentes nombres en el transcurso del tiempo. Según Kenley y Seppänen (2010) “se basó originalmente en las técnicas gráficas, utilizadas ya en 1929 en proyectos innovadores como el Empire State Building, desarrollada posteriormente por la Compañía Goodyear en la década de 1940 y ampliado por la Marina de EE.UU. en la década de 1950” (pp. 5-6).

El tipo de estudio utilizado en la presente investigación de un caso real de la construcción de un proyecto de una edificación, es descriptivo; la cual realiza un acercamiento a dos métodos de planificación, programación y control en el sector de la construcción, mediante un estudio transeccional descriptivo que corresponde a un diseño de investigación no experimental. El método de investigación se realizó en fases que se inicia con la búsqueda de la información tanto teórica como del proyecto, se continua con la conversión del método usado al LBMS para optimizarla, se hace una verificación en obra para hacer la optimización de las alternativas de programación, analizarlas y contrastarlas, mostrando los resultados a través de gráficas, tablas e informes y, por último se realizan las conclusiones pertinentes al estudio.

Palabras claves: Location-Based Management System (LBMS), método de la ruta crítica (CPM), planificación, programación

ABSTRACT

The location-based management system (LBMS) integrates the components of planning, scheduling and control of each stage of construction. This system to allow better visualization in each workplace improves the continuity of the flow of work teams. This research work makes an approach to the company Constructora Capital to make it real data which could perform an optimization of programming used for the Cyprus project by becoming the location-based management system, the target site identifying the benefits to the company is the use of LBMS by comparison with the traditional activities-based methods of planning, programming and control specifically the critical path method (CPM). The importance of carrying out this work falls on the contribution in terms of expanding the knowledge to improve the tools that lead to optimization of resources in companies in the construction sector and specifically benefits the company Constructora Capital since it goes to show the advantages of implementing the LBMS the best performance Cyprus project and other projects.

The theoretical basis on which work has been supported mainly taken from Kenley and Seppänen, and numerous journals. These studies found that the LBMS takes the advantages that traditional activity-based methods, but takes a continuous improvement in the use of resources and the visualization of the construction method. This system, as is known, has taken different names in the course of time. According to Kenley and Seppänen (2010) “was originally based on the graphic techniques, used since 1929 in innovative projects such as the Empire State Building, further developed by the Goodyear Company in the 1940s and extended by the U.S. Navy in the 1950s” (pp. 5-6)

The type of study used in the present investigation of a real case of the construction of a building project is descriptive, which zooms to two methods of planning, scheduling and control in the construction industry through a study transactional descriptive corresponding to a non-experimental research design. The method of research was conducted in phases starting with the search for theoretical and project information, continuing with the conversion method used to optimize the LBMS, a check is made to work for optimization alternatives programming, analyze them and compare them, displaying the results through graphs, charts and reports and lastly conclusions relevant to the study are provided.

Key words: Location-based management system (LBMS), critical path method (CPM), planning, scheduling

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1 FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3 JUSTIFICACIÓN.....	20
4 MARCO DE REFERENCIA	21
4.1 MARCO TEÓRICO	21
4.1.1 Sistema de gestión basado en la localización	21
4.1.1.1 Estructura fraccionada de localización (LBS).....	21
4.1.1.2 Cantidades de localización.....	21
4.1.1.3 Estimación basada en la localización	22
4.1.1.4 Planificación y programación basada en la localización	22
4.1.1.5 Control basado en la localización.....	22
4.1.2 Métodos basados en actividades.....	23
4.1.3 Diferencias de visualización entre el LBMS y el CPM	23
4.2 ESTADO DEL ARTE.....	27
5 HIPÓTESIS.....	31

6	PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO	32
6.1	TIPO DE ESTUDIO O INVESTIGACIÓN.....	32
6.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	32
6.3	MÉTODOS Y PASOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	32
6.4	INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	33
6.5	PROCESAMIENTO O ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	34
7	CONCLUSIONES	79
8	BIBLIOGRAFÍA.....	80
	ANEXOS.....	82

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Programación original detallada de Cyprus	34
Tabla 2. Cantidades de obra del proyecto	36
Tabla 3. Cantidades y tasas de producción de cuadrillas para las actividades	41
Tabla 4. Programación detallada de Cyprus	43
Tabla 5. Resumen de duraciones de alternativas	46
Tabla 6. Programación detallada de Cyprus – Alternativa 1	46
Tabla 7. Programación detallada de Cyprus – Alternativa 2	48
Tabla 8. Programación detallada de Cyprus – Alternativa 3	49
Tabla 9. Actividades modificadas según criterios de obra	55
Tabla 10. Resumen de duraciones de alternativas según criterios de obra.....	55
Tabla 11. Programación de Cyprus según criterios de obra	56
Tabla 12. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 1	57
Tabla 13. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 2	58
Tabla 14. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 3	60
Tabla 15. Cantidad de cuadrillas para optimización alternativas	66
Tabla 16. Resumen de duraciones de alternativas optimizadas	67
Tabla 17. Programación de Cyprus optimizada	67
Tabla 18. Programación de Cyprus optimizada - Alternativa 1	69
Tabla 19. Programación de Cyprus optimizada - Alternativa 2	70
Tabla 20. Programación de Cyprus optimizada - Alternativa 3	72

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Render vista área del proyecto Cyprus.....	16
Figura 2. Render del urbanismo del proyecto Cyprus.....	17
Figura 3. Piso típico – Torre 1.....	18
Figura 4. Comparación de visualización entre la Línea de Balance y el Diagrama de Gantt.....	25
Figura 5. Comparación de visualización entre la Línea de Balance y el Diagrama de Gantt en una actividad específica.....	26
Figura 6. Estructura fraccionada de localización del proyecto (LBS).....	38
Figura 7. Programación Original Torre 1.....	39
Figura 8. Programación Original Torre 2.....	40
Figura 9. Programación de Cyprus.....	45
Figura 10. Programación de Cyprus - Alternativa 1.....	51
Figura 11. Programación de Cyprus - Alternativa 2.....	52
Figura 12. Programación de Cyprus - Alternativa 3.....	53
Figura 13. Programación de Cyprus según criterios de obra.....	62
Figura 14. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 1.....	63
Figura 15. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 2.....	64
Figura 16. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 3.....	65
Figura 17. Programación de Cyprus Optimizada.....	74
Figura 18. Programación de Cyprus Optimizada - Alternativa 1.....	75
Figura 19. Programación de Cyprus Optimizada - Alternativa 2.....	76
Figura 20. Programación de Cyprus Optimizada - Alternativa 3.....	77

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A MANUAL DE USUARIO DE VICO CONTROL.....	82

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo investigativo que aspira hacer un aporte significativo en la planificación y programación de obras de construcción, parte de la información suministrada por la empresa CONSTRUCTORA CAPITAL, de un proyecto planificado y programado por el método de la ruta crítica (CPM), que es uno de los métodos basados en actividades; hace un análisis, a partir de comparaciones, de las ventajas que tiene el sistema de gestión basado en la localización (LBMS por sus siglas en inglés, “Location-Based Management System”) como método de planificación, programación y control de proyectos de construcción frente a los métodos tradicionales basados en actividades, especialmente el método de la ruta crítica (CPM).

A pesar de que el LBMS, no es un tema novedoso para el sector de la construcción a nivel mundial, su aplicación en Colombia es escasa, debido al uso de los métodos tradicionales basados en actividades. Es por ello que el investigador hace una aproximación a este tema con la intención de reconocer todos los aspectos relacionados al LBMS, especialmente en la incidencia que tiene la localización en la secuencia constructiva, al permitir visualizar la información de las actividades de una manera más fácil y sencilla que en los métodos tradicionales.

Se presenta al interior de este informe investigativo, la descripción del problema, los objetivos, la justificación, el origen (los antecedentes teóricos y prácticos), los alcances, el significado que el estudio tiene en el avance de campo respectivo y su aplicación en el área investigada. La metodología empleada parte de la programación original del proyecto Cyprus diseñada a través del método de la ruta crítica (CPM) y visualizada a través de la línea de balance; seguido, la programación con las correcciones hechas a los problemas, interferencias y conflictos de las actividades que se encontraron y las programaciones de tres alternativas planteadas y analizadas de acuerdo a las secuencias del método constructivo. Por último, las programaciones optimizadas con el fin de escoger la más adecuada desde el punto de vista funcional.

Como parte final del trabajo el investigador, presenta las conclusiones realizadas que permiten al lector el reconocimiento de las ventajas que tiene la implementación del LBMS y ofrece un punto de partida para nuevas investigaciones o estudios relacionados con este tema, que vayan en pro de mejorar los sistemas de gestión de las obra.

1 FORMULACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En la gestión de los proyectos del sector de la construcción en los que a menudo se presentan dificultades como la disponibilidad de los recursos, el flujo de trabajo y los inconvenientes y restricciones que se dan durante la ejecución, se busca el más adecuado control que disminuya las incertidumbres e imprevistos generadores de retrasos y sobrecostos. Capuz (2000), al respecto de gestión de proyectos ha expresado: “la principal actividad de la gestión de proyectos consiste en la adecuada utilización los recursos puestos a su disposición” (p. 28), y para ello se requiere la implementación de las fases que tienen que ver con la planificación, la programación y el control, sobre las cuales se han efectuado de manera tradicional métodos basados en actividades como el CPM (método de la ruta crítica por sus siglas en inglés) y el PERT (técnica de evaluación y revisión de proyectos por sus siglas en inglés).

La planificación tiene que ver con el establecimiento de los objetivos, la definición del proyecto, la creación de una estructura fraccionada del trabajo (LBS), la determinación de los recursos y la organización del equipo en el proyecto. La programación consiste en la asignación de los recursos a las actividades específicas, así como la relación de las actividades entre sí con el fin de detallar la fecha de inicio y de terminación del proyecto y por su parte, el control busca la vigilancia de los recursos, costos, calidad y presupuestos, la revisión de los planes y la modificación de los recursos para cumplir con la meta.

La mayoría de las empresas en el sector de la construcción han utilizado los métodos tradicionales antes citados, para la planificación, programación y control de los proyectos de construcción de edificaciones. Loría Arcila (s.f.) comenta:

Sin embargo, estas técnicas tienen varios inconvenientes al aplicarse a proyectos de tipo repetitivo (carreteras, edificios de oficinas, o desarrollos de vivienda de interés social, entre otros), los cuales pueden considerarse como procesos de fabricación continua de muchas unidades iguales, en el que se requiere un cierto periodo de tiempo para terminar cada unidad (p. 4).

En la actualidad se viene implementando el sistema de gestión basado en la localización (LBMS por sus siglas en inglés, “Location-Based Management System”), antes conocido como línea de balance, que según Andrews et al. (2008) “puede ser utilizado para coordinar múltiples tareas repetitivas, para identificar posibles retrasos o tiempos de inactividad en el proceso de construcción” (p. 8). Mientras en la utilización de los métodos basados en actividades (CPM y PERT), los resultados se presentan habitualmente en forma gráfica a través de uso del diagrama de Gantt que no proporciona el nivel de detalle gráfico necesario para identificar fácilmente todas las tareas involucradas en su interdependencia espacial, la línea de balance proporciona una sencilla visualización de las muchas tareas que están estrechamente coordinadas para ayudar en la consecución de la

meta propuesta, en ella se pueden identificar zonas de conflicto o cuellos de botella para poder ser corregidas. Por lo tanto, la línea de balance es una de las herramientas de programación más adecuada para el incremento de la productividad en los proyectos repetitivos de las empresas de construcción, toda vez que permite optimizar los recursos al reflejar su disponibilidad. Loría (s.f.) expresa:

El método de la Línea de Balance utiliza las ventajas de CPM, PDM y PERT y no los reemplaza; cabe mencionar que la construcción de unidades repetitivas puede ser considerada como la producción continua de muchas unidades que requieren de cierto tiempo para que cada una de ellas sea completada (pp. 5-6).

Ahora bien, para el reconocimiento efectivo de las diferencias planteadas entre los métodos basados en actividades y el LBMS, el presente trabajo investigativo realiza un estudio de un proyecto de vivienda que ha sido planificado y programado por el método CPM y, lo compara y lo contrasta con el LBMS, lo cual permite el reconocimiento del alcance de las metas propuestas.

El proyecto base para la comparación antes citada es llamado Cyprus, ver Figura 1, el cual pertenece a la empresa CONSTRUCTORA CAPITAL y está siendo construido en el municipio de Sabaneta. Se trata de un proyecto multifamiliar que va a ser construido en varias etapas. El presente estudio se realiza al respecto de la primera etapa que la conforma la construcción de la torre 1 y la torre 2 como se muestra en la Figura 2; la primera torre consta de veintitrés pisos, un sótano y una terraza y, la segunda torre consta de veintidós pisos, un sótano y una terraza. En ambas torres, los pisos típicos tienen una distribución de 4 apartamentos por planta, como lo muestra la Figura 3, con un área total construida de 18.000 m², y su sistema estructural corresponde a un sistema tradicional aporticado de columnas y vigas.

Busca el estudio, luego de comparar y contrastar ambos métodos, responder a la siguiente pregunta ¿Qué ventajas trae para la empresa constructora, planificar, programar y controlar el proyecto con el Location-Based Management System?

Figura 1. Render vista área del proyecto Cyprus



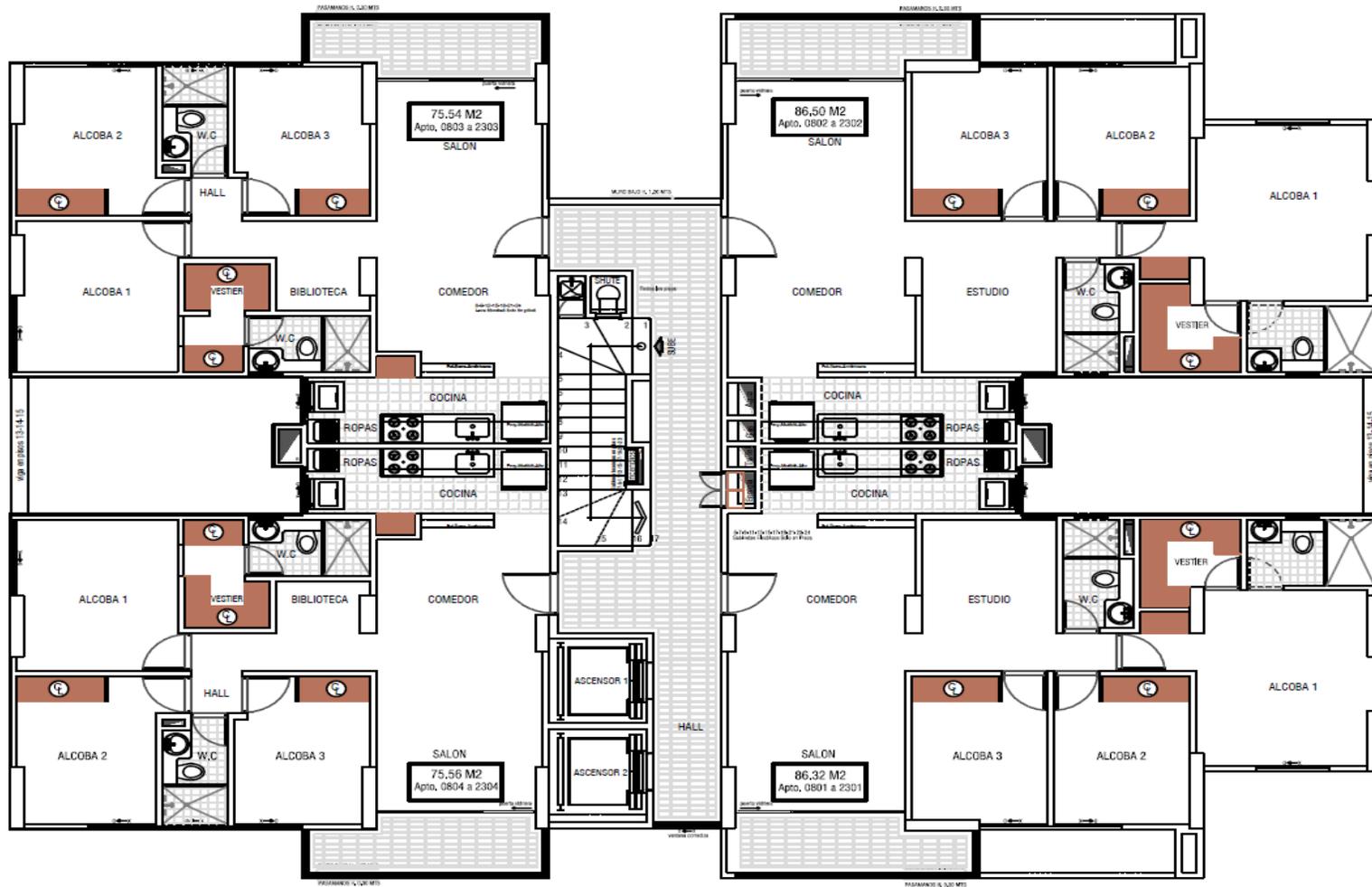
Fuente: Página del proyecto Cyprus de Constructora Capital.
http://www.constructoracapital.com/detalle_proyecto_constructora_capital_colombia.php?!D_proyecto=5&ID_ciudad=1

Figura 2. Render del urbanismo del proyecto Cyprus



Fuente: Página del proyecto Cyprus de Constructora Capital.
http://www.constructoracapital.com/detalle_proyecto_constructora_capital_colombia.php?!D_proyecto=5&ID_ciudad=1

Figura 3. Piso típico – Torre 1



Fuente : Planos del proyecto de la empresa Constructora Capital

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar las ventajas que para la empresa representa, la utilización del LMBS (Location-Based Management System o línea de balance), mediante la comparación con los métodos de planificación, programación y control tradicionales basados en actividades específicamente en método de la ruta crítica (CPM), para el cumplimiento de las metas propuestas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Reconocer los aspectos teóricos, conceptuales y la evolución, sobre la utilización del LBMS (Location-Based Management System) o línea de balance, en empresas de construcción.

Comprobar que la planificación, la programación y el control con el LBMS permite visualizar los posibles problemas, dificultades e inconvenientes que generan retrasos en la obra, que no es posible visualizarse en el diagrama de Gantt utilizado por los métodos tradicionales basados en actividades (CPM y PERT).

Optimizar los recursos de la programación a través del LBMS para permitir comparar y contrastar dichas programaciones.

3 JUSTIFICACIÓN

La investigación al abordar un caso real de un proyecto de vivienda, realiza un estudio de la programación original empleada, presentada a través del diagrama de Gantt; frente al alcance de la meta propuesta y, en comparación entrega la programación utilizando el LBMS, para analizar allí, la importancia de este sistema para el proyecto en términos de tiempo.

La investigación al hacer una aproximación real al campo de estudio, hace aportes puntuales que van a ampliar el conocimiento a las personas que se dedican al estudio de mejores herramientas para optimizar los recursos a través de la planificación y la programación, generando inquietudes para futuras investigaciones.

Aspira además el presente trabajo, realizar un aporte significativo a la empresa Constructora Capital y a todas las empresas que realizan la misma labor, para que evalúen la importancia de la implementación de una herramienta que contribuya al mejor desempeño, a la mayor productividad y eficiencia en la planificación, programación y, a la disminución de incertidumbres.

4 MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO

4.1.1 Sistema de gestión basado en la localización

El Location-Based Management System (LBMS) consiste en la integración de los componentes de planificación, programación y control, presentes en cada etapa de la construcción, desde el diseño hasta la finalización. Kenley y Seppänen (2010), al respecto expresan que “es la integración de muchos componentes, incluidos los sistemas de organización y proyecto, que hace que el LBMS sea un sistema de gestión” (p. 387).

Ésta definición habla de los componentes, los cuales se definen de la siguiente manera:

4.1.1.1 Estructura fraccionada de localización (LBS).

Ésta estructura es jerárquica, ya que un nivel de ubicación más general permite subdividir en pequeñas partes o niveles más específicos. Los autores antes citados, presentan la siguiente guía para proyectos comerciales:

- La jerarquía de ubicación de más alto nivel consiste en la ubicación en la que es posible la construcción de la estructura de forma independiente de otras secciones (por ejemplo edificios o partes de edificios grandes)
- El nivel medio debe ser definido de manera que el flujo se puede planificar en lugares de nivel medio (por ejemplo, plantas verticales en un proyecto de construcción residencial, donde en un piso suele terminar antes de pasar a la siguiente planta)
- Los lugares de más bajo nivel, generalmente deben ser pequeños, de manera que sólo el tráfico pueda funcionar de manera efectiva en la zona (por ejemplo, apartamentos, locales comerciales individuales, pasillos). La ubicación de nivel más bajo debe ser capaz de supervisarlas con precisión (es decir, el jefe debe ser capaz de evaluar si el trabajo se realiza en ese lugar) (KENLEY y SEPPÄNEN 2010, p. 393)

4.1.1.2 Cantidades de localización.

Las cantidades al igual que la tasa de consumo de mano de obra son requeridas para estimar las horas-hombre de trabajo en las tareas, sin cantidades es difícil estimar con exactitud las horas-hombre trabajadas y, los datos podrían ser engañosos; éstas cantidades pueden ser calculadas con métodos manuales o con métodos automatizados.

Los tiempos duración de las tareas se calculan multiplicando las cantidades por una tasa de consumo de mano de obra para determinar el consumo estimado de horas-hombre en el lugar, y luego dividir estas horas-hombre por el tamaño de la cuadrilla.

4.1.1.3 Estimación basada en la localización

Este componente corresponde a la estimación de los costos del proyecto, “la cual es deseable que se calculen de acuerdo a la estructura fraccionada de localización (LBS)” (KENLEY y SEPPÄNEN 2010, p. 394)

4.1.1.4 Planificación y programación basada en la localización

La planificación basada en la localización supone la continuidad del trabajo a través de los lugares de localización determinando los recursos y la organización del equipo, lo cual aumenta la productividad al disminuir las interrupciones. Se expresa que “la intención es la de planificar proyectos de eficiencia de la producción, crear un horario que sea viable y sostenible de conformidad con los principios de eficiencia y, finalmente, para proporcionar la base para el control basado en la localización” (KENLEY y SEPPÄNEN 2010, p. 395).

La programación por su parte se constituye en una fase posterior a la planificación que consiste en la asignación a las tareas de los recursos y de las cuadrillas, al igual que la lógica del CPM, pero difiere de ésta herramienta en cuanto a la asignación de las cantidades.

4.1.1.5 Control basado en la localización.

Tomando como punto de partida la programación base, se realiza una programación de acuerdo a la nueva información generada en la obra y que no se encontraba disponible antes de la ejecución del proyecto. Luego se realiza, de manera periódica, el monitoreo para calcular el consumo de recursos y la tasa de producción a la fecha, a través revisión de las cantidades, recursos, jornadas de trabajo, días no trabajados, la fecha de inicio y la fecha de finalización o el progreso. “El control basado en la localización proporciona herramientas de otro modo no disponibles y proporciona una alerta temprana de los problemas emergentes” (KENLEY y SEPPÄNEN 2010, p. 402)

4.1.2 Métodos basados en actividades

El CPM (por sus siglas en inglés critical path method) como método de planificación, programación y control basada en las actividades, el cual fue diseñado para ofrecer la información de las actividades que constituyen la ruta crítica que delimitan la duración del proyecto, donde las actividades desempeñan un papel muy influyente, de manera que cualquier atraso en una de ellas genera atraso en las actividades posteriores. Fue desarrollado en la década de 1950 por un grupo de ingenieros de un centro de investigación de operaciones para las firmas Dupont, en EE.UU., con el propósito de tener mayor control y optimización de los costos mediante la planificación y programación adecuadas de las actividades componentes del proyecto.

El diagrama de Gantt es una herramienta para la gestión de proyectos de todo tipo, con el propósito de representar las diferentes fases, tareas y actividades programadas como parte de un proyecto y mostrar una línea de tiempo en las diferentes actividades haciendo el método más eficiente. Kenley y Seppänen (2009) citado en Buchman-Slorup (2012) expresan que “en el LBMS, la palabra actividad denota una sola acción de trabajo en un solo lugar . Las tareas son una agregación de actividades en varias localizaciones” (p. 25).

El CPM tiene la característica de ser determinístico al considerar en la programación que los tiempos de las actividades son conocidos y depende la utilización de los recursos; tales actividades son continuas e interdependientes que siguen un orden cronológico y muestra el tiempo de inicio de alguna actividad. En materia de control, el CPM permite monitorear el progreso a medida que avanza el proyecto.

4.1.3 Diferencias de visualización entre el LBMS y el CPM

En la Figura 4 se presenta el contraste de la programación de algunas actividades del proyecto Cyprus, visualizada a través de la línea de balance y del diagrama de Gantt. En la Figura 5 se presenta el contraste de la programación una actividad del proyecto Cyprus, visualizada a través de la línea de balance y del diagrama de Gantt.

Las diferencias entre las dos visualizaciones pueden sintetizarse de la siguiente manera:

- La línea de balance permite visualizar grupos de actividades en una sola línea para todos los pisos, contrario al diagrama de Gantt, donde se tendrían una cantidad de barras horizontales para cada uno de los pisos, lo que permite “representar un gran número de actividades comunes en un documento mucho más sencillo y pequeño a la vez” (LORÍA ARCILA s.f., p. 7). “Un solo punto de vista es capaz de proyectar una gran cantidad de

información sobre el plan de trabajo, particularmente los de continuidad y descansos previstos. Los usuarios experimentados son capaces de leer el plan de una manera similar a la lectura de un plano de planta, y son capaces de interpretar los detalles sobre el método de construcción que no es posible a partir de un diagrama de Gantt” (KENLEY y SEPPÄNEN 2010, p. 405).

- La importancia de la línea de balance no radica tanto en mostrar el detalle interno de una actividad, sino mostrar la correlación y el desempeño entre las actividades, mostrando “el ritmo global de la obra, por lo que cumple con el principio de la teoría de restricciones de preocuparse primero de la productividad global antes que la productividad local” (ORIHUELA y ESTEBES 2013, p. 3)

En cuanto al control, aunque no ha sido objeto de estudio en el Proyecto Cyprus, vale la pena mencionar la gran ventaja que ofrece la línea de balance respecto al CPM. Un solo gráfico en la línea de balance "es capaz de proporcionar más información que un conjunto de cuadros de progreso y es capaz de proporcionar inmediatas comparaciones con la línea de base” (KENLEY y SEPPÄNEN 2010, p. 406)

Figura 4. Comparación de visualización entre la Línea de Balance y el Diagrama de Gantt

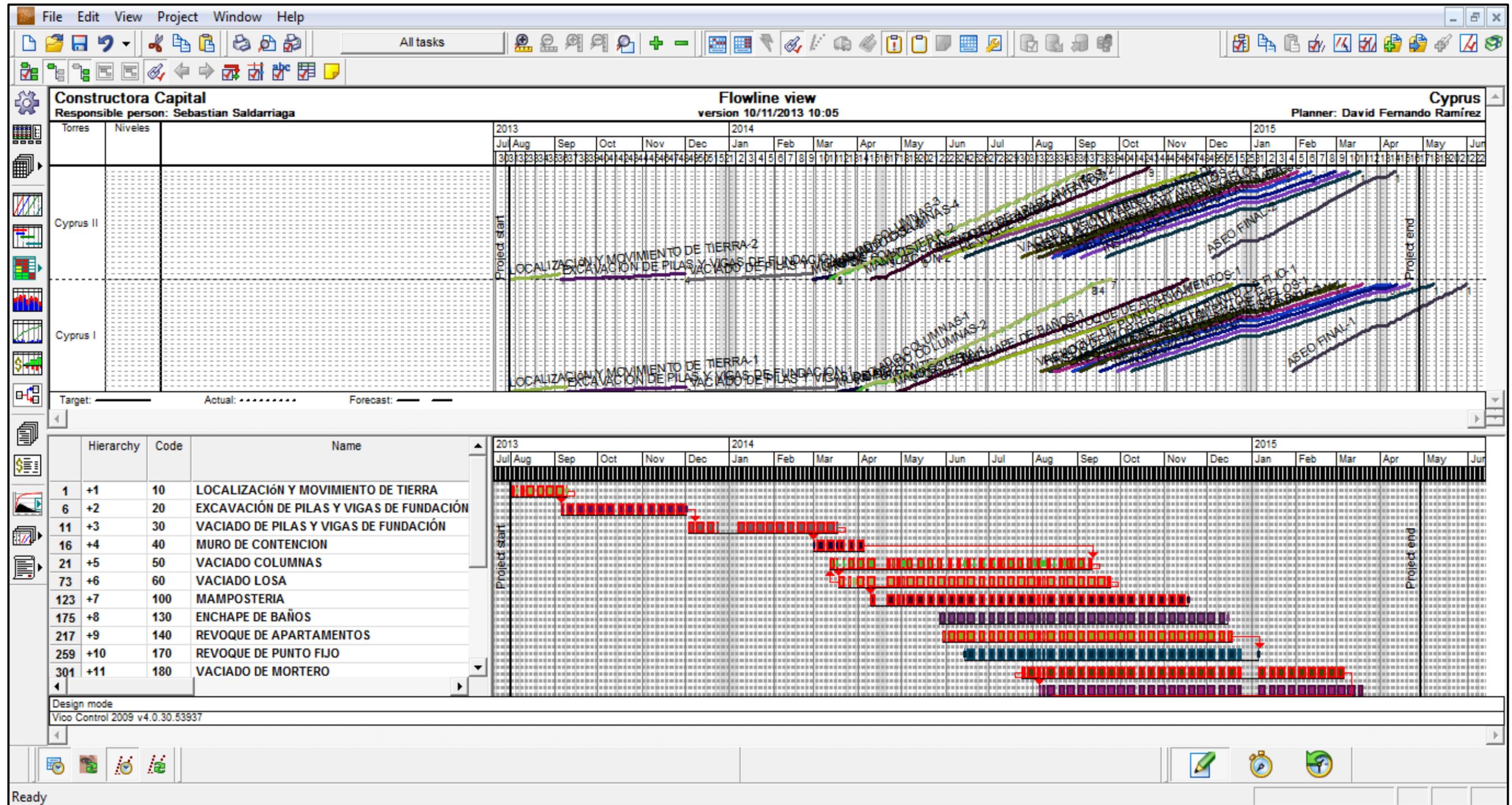
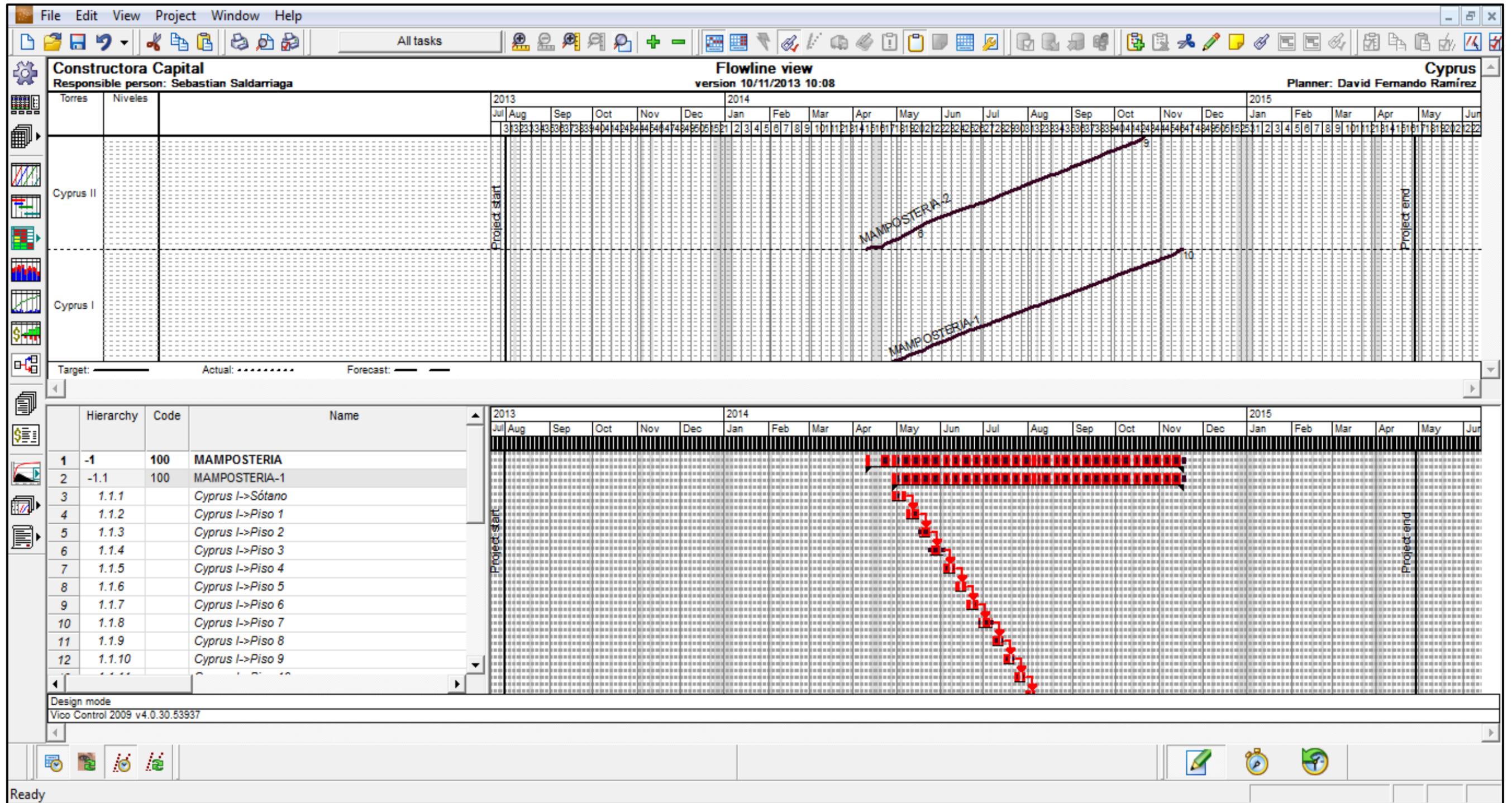


Figura 5. Comparación de visualización entre la Línea de Balance y el Diagrama de Gantt en una actividad específica



4.2 ESTADO DEL ARTE

Tradicionalmente la planificación, la programación y el control en el sector de la construcción se ha realizado por medio de métodos basados en actividades, tales como el (CPM) y el (PERT), que fueron introducidos en la década de 1950 en los Estados Unidos por Kelley y Walker (1959) y por Malcolm et al. (1959), respectivamente. Dichos métodos ayudan los directores de proyectos a establecer las actividades críticas, lo que ayuda a estimar el tiempo de entrega del proyecto.

Estos métodos han tenido críticas en el sector de la construcción desde su introducción. Stradal y Cacha (1982) y Arditi et al. (2002) citados por Büchmann-Slorup (2012), critican la falta de continuidad en el flujo de trabajo de las cuadrillas de construcción en el CPM y PERT. Laufer y Tucker (1987) también citados en Büchmann-Slorup (2012), abordan las deficiencias de los métodos basados en actividades respecto a las limitaciones de recursos y, la falta de visualización de los conflictos de las actividades de trabajo en lugares simultaneo. Andersson y Christensen (2007) en una crítica al CPM, plantean las actividades y sus conexiones lógicas son el foco principal del CPM, mientras que los recursos tiene una menor atención lo que supone que hay recursos ilimitados para la obra. Ellos expresan que: “Es difícil controlar el uso de los recursos previstos en un diagrama de Gantt, ya que las diferentes cantidades de trabajo y los diferentes ritmos de cada operación se oculta en las diferentes barras de las actividades” (p. 2).

Actualmente la implementación del Location-Based Management System (LBMS) mejora uso continuo de los recursos y la visualización del método constructivo. Dicho sistema, tal como se conoce, ha adoptado diferentes nombres en el transcurso del tiempo. Según Kenley y Seppänen (2010) “se basó originalmente en las técnicas gráficas, utilizadas ya en 1929 en proyectos innovadores como el Empire State Building, desarrollada posteriormente por la Compañía Goodyear en la década de 1940 y ampliado por la marina de EE.UU. en la década de 1950” (pp. 5-6).

Se encuentra en Botero y Acevedo (2011) que:

Los conceptos de la línea de balance han sido aplicados en la industria de la construcción como método de planeación. En diferentes estudios se han realizado diferentes variaciones a esta técnica con la finalidad de ajustarla a las necesidades propias del sector constructor. Algunos de estos desarrollos son: Velocity Diagrams por W. Roech (1972), Construction Planning Technique (CPT) por S. Peer & S. Selinger (1973), Production Method (VPM) por JJ. O’Brien (1975), Linear Scheduling Method (LSM) por D. W. Johnston (1981), Time Space Scheduling Method (TSSM) por O. Stradal & J. Cacha (1982), and Repetitive Project Model (RPM) por R. M. Reda (1990). (p. 34)

La Línea de Balance, a pesar de sus beneficios y ventajas en la planificación, presentó grandes limitaciones entre ellas el tiempo requerido para realizar el control manualmente, situación que llevó a los finlandeses a desarrollar una aplicación computacional que hacía posible el control sistemático de la programación DYNA Project, lo cual “facilitó el uso de la línea de balance para la planificación de proyectos constructivos” (BOTERO BOTERO y ACEVEDO AGUDELO). Citados en los mismos autores se encuentran Soini, Leskela y Seppänen, quienes “reportan beneficios en su aplicación, como disminución del riesgo de la programación, la obtención de alternativas para facilitar el análisis, el recorte en la duración del proyecto, visualización de la viabilidad de los escenarios propuestos y de puntos de control de la operación”.

Kenley y Seppänen (2010) al referirse a los métodos basados en localización para planificación expresan que están disponibles con un soporte de un programa comercial llamado Vico Software, el cual “se ha convertido en un líder de la industria y la verdadera alternativa a los paquetes de software de CPM, con su Control Software. Control fue desarrollado por Olli Seppänen, como Dyna Project, en Finlandia, y se levantó bajo la dirección del profesor Kankainen” (p. 50).

Soini et al. (2004) expresan al respecto de la Línea de Balance lo siguiente:

“La línea de balance es un método de programación gráfica que considera a la localización explícitamente como una dimensión. Esto facilita la planificación del uso de los recursos, lo cual a su vez permite ahorros en el costo y un menor riesgo en la programación, así como la permanencia en el sitio de las cuadrillas de trabajo” (p. 2).

Usualmente el método de la Línea de Balance fue considerado como una herramienta útil solo para proyectos de construcción de tipo repetitivo, pero en la práctica se ha demostrado, tal como lo expresa Orihuela y Esteves (2013) “el grado de repetitividad de una obra, dependerá en gran medida de la eficiencia con la que logremos hacer la estructura fraccionada de localización LBS, la cual a su vez dependerá de lo modular y estandarizado que sea el diseño (arquitectura, estructura e instalaciones)” (p. 4). Se encuentra que “en Finlandia, la línea de balance ha sido la herramienta principal en la programación de las grandes empresas constructoras desde 1980. Los clientes finlandeses exigen el uso de la programación de línea de balance tanto en proyectos especiales complejos como en la construcción de edificios residenciales” (SOINI, LESKELA y SEPPÄNEN 2004, p. 2).

El Location-Based Management System (LBMS) propuesto por Seppänen, Ballard y Pesonen (2010) es el resultado de previas investigaciones a partir de la línea de balance y el método de línea de flujo, que se han centrado en los aspectos teóricos de la planificación y que dejaban de lado las oportunidades de usar éste método para el control. Sobre el LBMS, Orihuela y Esteves (2013) expresan que “integra y personaliza el método de la Línea de Balance para proyectos de construcción, usándolo no solo para la etapa de planificación, sino también para la

etapa de control durante el desarrollo de la obra, para el progreso y el pronóstico de comportamiento futuro” (p. 2)

Kenley y Seppänen sostienen que el LBMS “es ante todo un sistema técnico que transforma las cantidades en lugares y la información de productividad en duraciones fiables, hace topes explícitos, y las previsiones de resultados futuros sobre la base de las tendencias históricas y las alarmas de los futuros problemas de producción”. (SEPPÄNEN, BALLARD y PESONEN 2010, p. 44)

Al hacer una revisión de experiencias que se han realizado alrededor del tema que demuestran las ventajas de la implementación del LBMS, se han encontrado algunos artículos científicos entre los cuales se mencionan los siguientes: Seppänen y Aalto (2005) “A case study of line-of-balanced based schedule planning and control system”, Kenley y Seppänen (2009) “Location-based management of construction projects: part of a new typology for project scheduling methodologies”, Kala, Mouflard y Seppänen (s.f.) “Production control using location-based management system on a hospital construction Project” y Orihuela y Esteves (2013) “Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra”.

Seppänen y Aalto al describir el estudio de caso de un proyecto de oficinas de 15.000 m² utilizando métodos basados en la localización para la planificación y el control horario ofrece una mejor idea del funcionamiento del sistema y su contribución al conocimiento Lean Construction. En este se encuentra que es conveniente la técnica gráfica de la línea de balance para proyectos de construcción debido a su alto grado de repetición y, que a pesar, de sus ventajas no se ha generalizado en la industria de la construcción. En estudios posteriores, como el realizado por Orihuela y Esteves, presentan la línea de balance como una alternativa eficiente para la elaboración de la programación base de proyectos de construcción, no necesariamente, proyectos altamente repetitivos, en los cuales se describen sus ventajas y se demuestra que la utilización concuerdan con los principios de la filosofía Lean apoyado en los diferentes conceptos que brinda la técnica de la estructura de desglose del trabajo (WBS). De esta experiencia ha sido posible concluir que este método considera la localización explícitamente como una dimensión y no muestra el detalle interno de una actividad, sino más bien su correlación y desempeño respecto de las otras actividades del proyecto.

Mientras Kenley y Seppänen hacen una ruptura entre las metodologías tradicionales y las metodologías subyacentes basadas en la localización que mejorarán la comunicación y servirán de base para el reconocimiento de su contribución en la gestión de la construcción práctica, al proponer una nueva tipología y la terminología para abarcar las metodologías basadas en la localización que se diferencien de las metodologías basadas en las actividades, que pueden ser determinísticas (CPM) y probabilísticas (PERT), mostrando que la producción de localización en la metodología basada en la localización implica

centrarse en localizaciones como la unidad de análisis y en tareas como la unidad de control que enmarcan la gestión de la producción; Kala, Mouflard y Seppänen proporcionan una evaluación crítica de la aplicación del sistema LBMS en comparación con la aplicación con el método de la ruta crítica (CPM), implementando los anteriores sistemas en un hospital al norte de California, en el cual se utilizó una lista de tareas estándar para comparar y analizar los diferentes informes entregables y, por último, para evaluar el método más eficaz de gestión. Con esto se obtuvo que el LBMS fue capaz de proporcionar una mejor información en tiempo real para los administradores para la toma de decisiones.

5 HIPÓTESIS

Los métodos tradicionales visualizados a través del diagrama de Gantt generan tiempos muertos, interferencias e incoherencias constructivas.

El Location-Based Management System facilita el uso adecuado de los recursos debido a una manera mejor de visualización de la programación.

El Location-Based Management System permite evaluar otras alternativas de secuencias constructivas.

6 PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

6.1 TIPO DE ESTUDIO O INVESTIGACIÓN

El tipo de estudio utilizado en la presente investigación de un caso real de la construcción de un proyecto de una edificación, es descriptivo. Éste tipo de investigación permite al investigador describir situaciones o eventos. Según lo expresado por Toro y Parra (2006) las investigaciones descriptivas “miden o evalúan diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno por investigar” (p. 137). Y en palabras de Méndez (1988), la investigación descriptiva permite “descubrir y comprobar la posible asociación de las variables de investigación” (p. 89).

La presente investigación descriptiva, realiza un acercamiento a dos métodos de planificación, programación y control en el sector de la construcción. El primero de ellos, el método de la ruta crítica (CPM), que hace parte de los métodos tradicionales basados en las actividades y, el segundo el Location-Based Management System (LBMS). De ellos se evalúan las formas de visualización de las programaciones que permita la optimización de los recursos y la disminución de tiempos de ejecución del proyecto.

6.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Para responder a las preguntas de investigación y someter a prueba las hipótesis se ha realizado un estudio transeccional descriptivo que corresponde a un diseño de investigación no experimental. Se encuentra que éste tipo de diseño permite al investigador “hacer descripciones comparativas entre grupos y subgrupos de personas, objetos e indicadores (esto es, en más de un grupo)” (TORO JARAMILLO y PARRA RAMÍREZ 2006, p. 159)

6.3 MÉTODOS Y PASOS DE LA INVESTIGACIÓN

El método de la presente investigación consta de varias fases:

La primera fase consiste en una búsqueda, en bases de datos, libros, revistas y otras fuentes primarias y secundarias, de documentación a través de la cual se amplía la visión del tema a nivel local, regional, nacional y mundial.

En la segunda fase, se busca la información del proyecto Cyprus de la empresa constructora Capital, la cual es aportada por el ingeniero de Productividad. La información requerida es la siguiente:

- Planos y programaciones de obra de dos de las torres del proyecto
- Tasas de consumo de mano de obra y conformación de cuadrillas de las actividades.

Se realiza el cálculo de las cantidades de obra de acuerdo a los planos.

En la tercera fase, las programaciones de obra de dos de las torres del proyecto Cyprus realizadas a través del método tradicional basado en la técnica del CPM, se convierten a línea de balance para mejorar la visualización y encontrar los posibles problemas o conflictos que se presentan.

En la cuarta fase, se hace una programación en línea de balance donde se encuentren los recursos para mantener el tiempo de duración del proyecto.

En la quinta fase, se plantean tres alternativas de acuerdo a la secuencia del método constructivo.

En la sexta fase, se hace visita a la obra para verificar que los recursos encontrados correspondan a los recursos que hay en la obra, se actualizan las programaciones de acuerdo con estos recursos.

En la séptima fase, se busca la optimización de las alternativas de programación, para analizarlas y contrastarlas, mostrando los resultados a través de gráficas, tablas e informes.

Y por último, se realizan las conclusiones pertinentes al estudio.

6.4 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los instrumentos empleados en la presente investigación son dos:

- Lectura y análisis de la información suministrada por la empresa Constructora Capital.
- Entrevista informal o conversacional. Es de este tipo porque su objetivo fue hacer una exploración de manera general para confrontar si los recursos y las tasas de producción encontrados se ajustaran a los que se tienen proyectados para la obra. Para tal entrevista no se requiere de una guía porque es un diálogo flexible con la persona entrevistada.

6.5 PROCESAMIENTO O ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La primera fase de búsqueda de información ha permitido la formulación del marco de referencia que comprende el estado del arte y el marco teórico, a través de cual se logró la profundización en el conocimiento del tema.

En la segunda fase, se tomó como referencia las programaciones originales del proyecto suministradas, las cuales se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Programación original detallada de Cyprus

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	510	01/08/2013	28/04/2015	493	01/08/2013	08/04/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	30	01/08/2013	05/09/2013	30	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	391	06/09/2013	08/01/2015	382	06/09/2013	16/12/2014
Excavación de pilas y vigas de fundación	70	06/09/2013	27/11/2013	70	06/09/2013	27/11/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	70	01/11/2013	04/02/2014	70	01/11/2013	04/02/2014
Muro de contención	15	04/02/2014	20/02/2014	15	04/02/2014	20/02/2014
Vaciado columnas	80	04/02/2014	01/08/2014	77	04/02/2014	25/07/2014
Vaciado losa	135	20/02/2014	13/08/2014	125	20/02/2014	31/07/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	14/08/2014	27/08/2014	10	02/08/2014	15/08/2014
Adecuación foso ascensor	10	29/08/2014	10/09/2014	10	19/08/2014	29/08/2014
Inst. Ascensor	90	12/09/2014	08/01/2015	90	01/09/2014	16/12/2014
ACABADOS CYPRUS	301	21/04/2014	28/04/2015	294	02/04/2014	08/04/2015
Mampostería	156	21/04/2014	28/10/2014	150	02/04/2014	08/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	21/04/2014	28/10/2014	150	02/04/2014	08/10/2014
Resanes	156	06/05/2014	12/11/2014	150	23/04/2014	23/10/2014
Enchape de baños	156	13/05/2014	20/11/2014	150	30/04/2014	30/10/2014
Revoque de apartamentos	156	13/05/2014	20/11/2014	150	30/04/2014	30/10/2014
Estuco y primera mano de pintura	156	04/06/2014	13/12/2014	150	22/05/2014	24/11/2014
Estructura de cielo falso	156	18/06/2014	07/01/2015	150	06/06/2014	09/12/2014
Revoque de punto fijo	126	01/07/2014	02/12/2014	120	17/06/2014	11/11/2014
Vaciado de mortero	156	04/07/2014	22/01/2015	150	20/06/2014	23/12/2014
Estuco punto fijo	126	15/07/2014	17/12/2014	120	03/07/2014	26/11/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	156	18/07/2014	05/02/2015	72	05/07/2014	30/09/2014
Instalación de ventanas	78	19/07/2014	22/10/2014	150	07/07/2014	19/01/2015
Emplacada de apartamentos	156	25/07/2014	12/02/2015	150	14/07/2014	26/01/2015
Encintada y masillada de cielos	156	01/08/2014	19/02/2015	150	21/07/2014	02/02/2015
2da mano de pintura	156	09/08/2014	26/02/2015	150	28/07/2014	09/02/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Instalación tableta punto de fijo	138	13/08/2014	10/02/2015	132	31/07/2014	21/01/2015
Detallada de cielo falso	150	16/08/2014	26/02/2015	144	04/08/2014	09/02/2015
Instalación madera laminada	150	01/09/2014	12/03/2015	144	20/08/2014	23/02/2015
Instalación de puertas	144	08/09/2014	12/03/2015	138	27/08/2014	23/02/2015
Instalación de closets	144	08/09/2014	12/03/2015	138	27/08/2014	23/02/2015
Instalación de zócalo	144	16/09/2014	20/03/2015	138	04/09/2014	02/03/2015
Inst. De aparatos eléctricos	144	16/09/2014	20/03/2015	138	04/09/2014	02/03/2015
Acabado de pintura	144	30/09/2014	13/04/2015	138	18/09/2014	16/03/2015
Lavada y pintura fachada	54	22/10/2014	08/01/2015	48	30/09/2014	28/11/2014
Detallada carpintería madera	108	07/11/2014	07/04/2015	102	23/10/2014	09/03/2015
Aseo final	96	01/12/2014	14/04/2015	90	15/11/2014	16/03/2015
Inst. De aparatos sanitarios	72	15/12/2014	20/03/2015	66	01/12/2014	02/03/2015
Instalación de muebles de cocina	72	20/12/2014	28/03/2015	66	09/12/2014	09/03/2015
Instalación de mesón	72	07/01/2015	11/04/2015	66	16/12/2014	16/03/2015
Hidrófugo fachada	24	08/01/2015	06/02/2015	24	28/11/2014	08/01/2015
Entrega planeación	30	17/02/2015	24/03/2015	30	28/01/2015	03/03/2015
Instalación de hornos y cubiertas	36	26/02/2015	18/04/2015	36	09/02/2015	24/03/2015
Entregas área comercial	36	09/03/2015	28/04/2015	36	17/02/2015	08/04/2015
Revisión retie	0	20/03/2015	20/03/2015	0	02/03/2015	02/03/2015

Fuente: Constructora Capital

Con estas programaciones y con los planos del proyecto, se realizó el correspondiente análisis para comprender la estructura y la forma del proyecto, encontrándose lo siguiente:

- La torre 1, la cual consta de 23 pisos, 1 sótano y 1 terraza, tiene una duración de 510 días. Tiene su inicio el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 28 de abril de 2015 con turnos de trabajo diario de 10 horas de lunes a sábado. Los grupos de actividades más relevantes son la localización y movimiento de tierras, la estructura y los acabados, los cuales tienen una duración de 30, 391 y 301 días, respectivamente. La localización y el movimiento de tierras inicia el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 5 de septiembre de 2013, la estructura inicia el 6 de septiembre de 2013 y finaliza el 8 de enero de 2015 y los acabados inician el 21 de abril de 2014 y finaliza el 28 de abril de 2015.
- La torre 2, la cual consta de 22 pisos, 1 sótano y 1 terraza, tiene una duración de 493 días. Tiene su inicio el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 8

de abril de 2015 con turnos de trabajo diario de 10 horas de lunes a sábado. Los grupos de actividades más relevantes son la localización y movimiento de tierras, la estructura y los acabados, los cuales tienen una duración de 30, 382 y 294 días, respectivamente. La localización y el movimiento de tierras inicia el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 5 de septiembre de 2013, la estructura inicia el 6 de septiembre de 2013 y finaliza el 16 de diciembre de 2014 y los acabados inician el 2 de abril de 2014 y finaliza el 8 de abril de 2015.

Con los planos suministrados se realizó el cálculo las cantidades de obra de las dos torres, las cuales se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Cantidades de obra del proyecto

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDADES TORRE 1	CANTIDADES TORRE 2
CYPRUS			
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	m ³	173	152
ESTRUCTURA CYPRUS			
Excavación de pilas y vigas de fundación	m ³	930	774
Vaciado de pilas y vigas de fundación	m ³	439	360
Muro de contención	m ³	14	14
Vaciado columnas	m ³	534	532
Vaciado losa	m ²	8.746	7.597
Cuarto de máquinas ascensor	und	1	1
Adecuación foso ascensor	niveles	46	44
Inst. Ascensor	niveles	48	46
ACABADOS CYPRUS			
Mampostería	m ²	14.850	12.991
Inst. eléctrica, gas, desagües	niveles	24	23
Resanes	m ²	26.400	25.300
Enchape de baños	m ²	3.016	3.180
Revoque de apartamentos	m ²	20.002	16.962
Estuco y primera mano de pintura	m ²	15.002	12.721
Estructura de cielo falso	m ²	7.091	6.047
Revoque de punto fijo	m ²	6.667	5.654
Vaciado de mortero	m ²	7.091	6.047
Estuco punto fijo	m ²	5.001	4.240
Instalación porcelanato y tableta balcón	m ²	2.955	2.420
Instalación de ventanas	und	480	456
Emplacada de apartamentos	m ²	7.091	6.047

ACTIVIDADES	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDADES TORRE 1	CANTIDADES TORRE 2
Encintada y masillada de cielos	m ²	4.000	3.800
2da mano de pintura	m ²	15.002	12.721
Instalación tableta punto de fijo	m ²	373	355
Detallada de cielo falso	m ²	9.000	8.550
Instalación madera laminada	m ²	2.388	2.060
Instalación de puertas	und	564	536
Instalación de closets	und	80	76
Instalación de zócalo	m	1.500	1.425
Inst. De aparatos eléctricos	und	80	76
Acabado de pintura	m ²	15.002	12.721
Lavada y pintura fachada	m ²	5.621	5.381
Detallada carpintería madera	und	240	228
Aseo final	und	80	76
Inst. De aparatos sanitarios	und	160	171
Instalación de muebles de cocina	und	80	76
Instalación de mesón	und	80	76
Hidrófugo fachada	m ²	5.621	5.381
Entrega planeación	und	80	76
Instalación de hornos y cubiertas	und	80	76
Entregas área comercial	und	80	76

Para cumplir con la tercera fase, se tomó la información de las programaciones presentadas través del Ms Project, mostradas en la Tabla 1, y se transcribió al software Vico Control. Con lo anterior, se hizo el cambio de la forma de visualización a través del diagrama de Gantt a una nueva forma de visualización a través de líneas inclinadas (líneas de balance). El primer paso para trasladar la programación y ser visualizada desde la línea de balance, fue la identificación de la estructura seccionada de localización del proyecto, la cual se presenta en la Figura 6. El segundo paso fue el ingreso de las actividades al software, mostrando como resultado las programaciones que se presentan en la Figura 7 y en la Figura 8.

Figura 6. Estructura fraccionada de localización del proyecto (LBS)

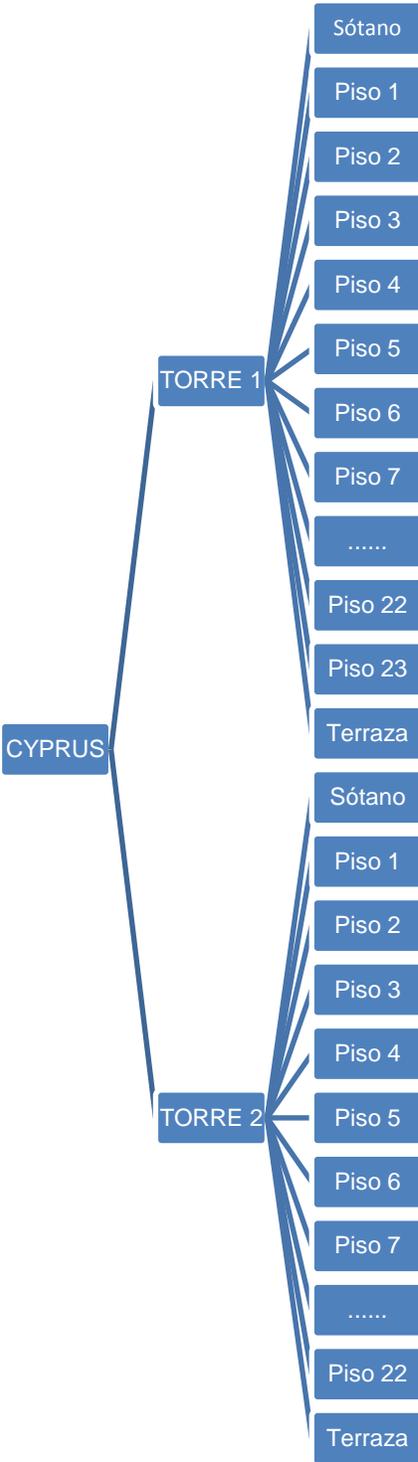
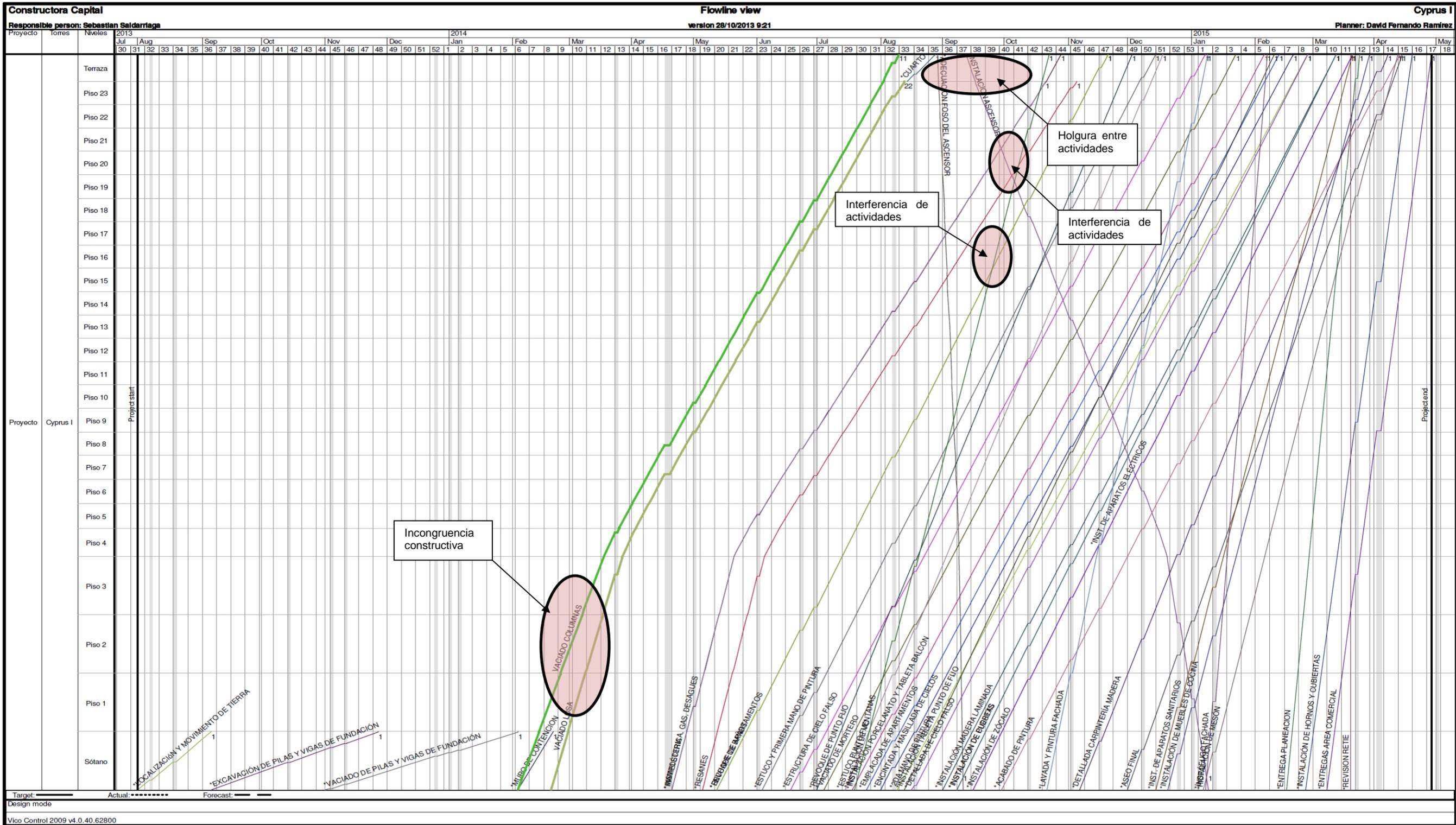


Figura 7. Programación Original Torre 1



Se realizó el análisis de las programaciones anteriores visualizadas en la línea de balance como se muestra en la Figura 7 y Figura 8, encontrándose pequeñas interferencias e inconvenientes las cuales se mencionan a continuación:

- En ambas torres, se observa una incongruencia constructiva en el vaciado de las columnas y de las losas, debido a que se están vaciando los tramos de columnas de los pisos superiores sin haber vaciado la losa. La pregunta sería entonces ¿Sobre qué se va a apoyar la formaleta para las columnas?
- En ambas torres, se ve un tiempo de holgura muy grande para iniciar con la actividad de mampostería, y a medida que se van desplazando a los pisos superiores se incrementa más dicha holgura.
- Se observa una interferencia de las actividades “Revoque de apartamentos” e “instalación de ventanas”. La actividad “Revoque de apartamentos” es predecesora de la actividad “instalación de ventanas”, y cambian el orden como si la actividad predecesora fuera la instalación de las ventanas; esto sucede en el piso 16 de la torre 1 y en el piso 14 de la torre 2.
- Se observa el mismo comportamiento que se mencionó anteriormente, pero la actividad predecesora a “instalación de ventanas” es “resanes”, y en el piso 19 de ambas torres se nota esta interferencia.

En la cuarta fase, se buscó mejorar las programaciones manteniendo las duraciones de las actividades, es decir, manteniendo la duración del proyecto. Partiendo de las cantidades de obra calculadas y los rendimientos que fueron suministrados en la obra, se calcularon los recursos necesarios (cantidad de cuadrillas) y la tasa de producción por cuadrilla, lo cual se presenta en la Tabla 3.

Tabla 3. Cantidades y tasas de producción de cuadrillas para las actividades

ACTIVIDADES	CONFORMACIÓN DE CUADRILLAS	TASA DE PRODUCCIÓN POR CUADRILLA [und/día]	CANTIDAD DE CUADRILLAS	
			TORRE 1	TORRE 2
CYPRUS				
LOCALIZACIÓN Y MOVIMIENTO DE TIERRA	1 Retroexcavadora 200	5,39	1	1
ESTRUCTURA CYPRUS				
Excavación de pilas y vigas de fundación	2 Pileros	2,71	5	4
Vaciado de pilas y vigas de fundación	2 oficial + 3 ayudante	5,65	1	1
Muro de contención	1 oficial + 1 ayudante	0,93	5	4
Vaciado columnas	1 oficial + 1 ayudante	0,93	5-8	5-8
Vaciado losa	1 oficial + 1 ayudante	4,98	12-14-7	11-13-7
Cuarto de máquinas ascensor	1 oficial	0,10	1	1
Adecuación foso ascensor	1 oficial	4,50	1	1

ACTIVIDADES	CONFORMACIÓN DE CUADRILLAS	TASA DE PRODUCCIÓN POR CUADRILLA [und/día]	CANTIDAD DE CUADRILLAS	
			TORRE 1	TORRE 2
Inst. ascensor	1 oficial	0,52	1	1
ACABADOS CYPRUS				
Mampostería	1 oficial + 1 ayudante	10,00	10	9
Inst. eléctrica, gas, desagües	1 oficial + 1 ayudante	0,15	1	1
Resanes	1 oficial + 1 ayudante	168,95	1	1
Enchape de baños	1 oficial + 1 ayudante	6,74	3	3
Revoque de apartamentos	1 oficial + 2 ayudante	21,98	6	5
Estuco y primera mano de pintura	1 oficial	30,04	3	3
Estructura de cielo falso	1 oficial + 2 ayudante	9,56	5	4
Revoque de punto fijo	1 oficial + 2 ayudante	20,17	3	2
Vaciado de mortero	1 oficial + 2 ayudante	10,68	4	4
Estuco punto fijo	1 oficial	37,52	1	1
Instalación porcelanato y tableta balcón	1 oficial + 2 ayudante	17,43	1	1
Instalación de ventanas	1 oficial + 1 ayudante	6,24	1	1
Emplacada de apartamentos	1 oficial + 2 ayudante	14,24	3	3
Encintada y masillada de cielos	1 oficial	25,49	1	1
2da mano de pintura	1 oficial	30,04	3	3
Instalación tableta punto de fijo	1 oficial + 2 ayudante	2,70	1	1
Detallada de cielo falso	1 oficial + 1 ayudante	59,69	1	1
Instalación madera laminada	1 oficial + 1 ayudante	15,07	1	1
Instalación de puertas	1 oficial + 1 ayudante	3,90	1	1
Instalación de closets	1 oficial + 1 ayudante	2,21	1	1
Instalación de zócalo	1 oficial + 1 ayudante	10,37	1	1
Inst. de aparatos eléctricos	1 oficial + 1 ayudante	0,55	1	1
Acabado de pintura	1 oficial	32,60	3	3
Lavada y pintura fachada	1 oficial + 1 ayudante	35,98	3	3
Detallada carpintería madera	1 oficial + 1 ayudante	2,23	1	1
Aseo final	1 persona	0,84	1	1
Inst. de aparatos sanitarios	1 oficial + 1 ayudante	1,20	2	2
Instalación de muebles de cocina	1 oficial + 1 ayudante	0,38	3	3
Instalación de mesón	1 oficial + 1 ayudante	0,28	4	4
Hidrófugo fachada	1 persona	229,08	1	1
Entrega planeación	1 persona	2,60	1	1
Instalación de hornos y cubiertas	1 oficial + 1 ayudante	2,17	1	1
Entregas área comercial	1 persona	2,17	1	1
Revisión retie			0	0

Las programaciones de las dos torres se fusionaron a una sola programación, ya que se están construyendo de manera simultánea y tienen un proceso constructivo convencional donde la mayoría de las actividades se van ejecutando de los pisos inferiores hacia los pisos superiores. Con lo anterior y siguiendo las mismas consideraciones de turnos de 10 horas diarias, un trabajo de lunes a sábado y corrigiendo las interferencias descritas en la fase anterior, se obtuvo lo siguiente:

- La torre 1 tiene una duración de 523 días. Tiene su inicio el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 3 de junio de 2015. Los grupos de actividades más relevantes son la localización y movimiento de tierras, la estructura y los acabados, los cuales tienen una duración de 32, 403 y 315 días, respectivamente. La localización y el movimiento de tierras inicia el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 10 de septiembre de 2013, la estructura inicia el 10 de septiembre de 2013 y finaliza el 10 de febrero de 2015 y los acabados inician el 28 de abril de 2014 y finaliza el 3 de junio de 2015.
- La torre 2 tiene una duración de 484 días. Tiene su inicio el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 16 de abril de 2015. Los grupos de actividades más relevantes son la localización y movimiento de tierras, la estructura y los acabados, los cuales tienen una duración de 28, 396 y 286 días, respectivamente. La localización y el movimiento de tierras inicia el 1 de agosto de 2013 y finaliza el 5 de septiembre de 2013, la estructura inicia el 5 de septiembre de 2013 y finaliza el 28 de enero de 2015 y los acabados inician el 9 de abril de 2014 y finaliza el 16 de abril de 2015.

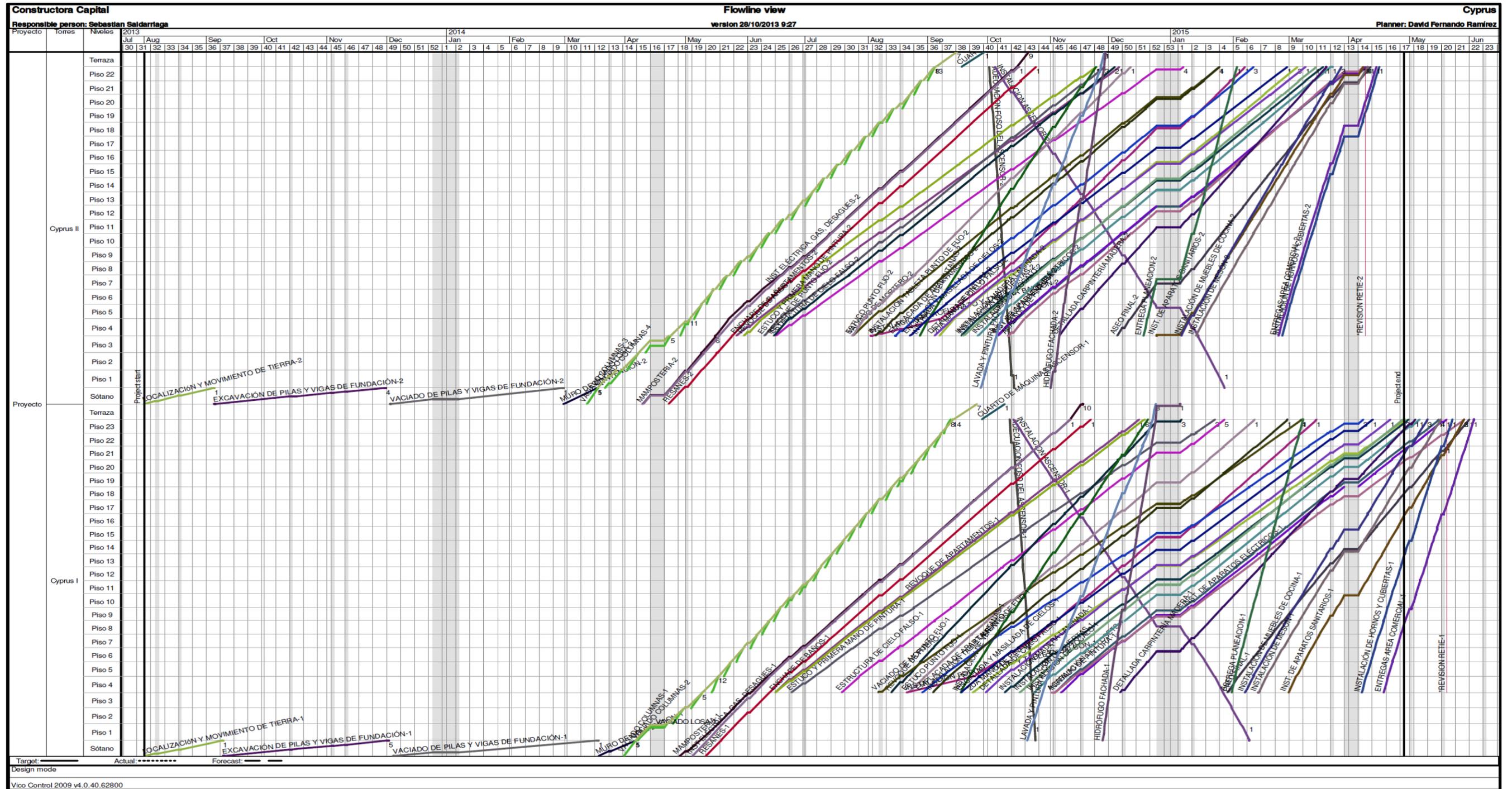
La programación detallada del proyecto Cyprus se presenta en la Tabla 4 y visualizada en línea de balance en la Figura 9.

Tabla 4. Programación detallada de Cyprus

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	523	01/08/2013	03/06/2015	484	01/08/2013	16/04/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	403	10/09/2013	10/02/2015	396	05/09/2013	28/01/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	69	10/09/2013	02/12/2013	71	05/09/2013	30/11/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	04/12/2013	18/03/2014	64	03/12/2013	28/02/2014
Muro de contención	15	18/03/2014	05/04/2014	15	28/02/2014	18/03/2014
Vaciado columnas	81	31/03/2014	11/09/2014	80	12/03/2014	04/09/2014
Vaciado losa	135	05/04/2014	25/09/2014	126	18/03/2014	15/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	27/09/2014	09/10/2014	10	17/09/2014	29/09/2014
Adecuación foso ascensor	10	11/10/2014	24/10/2014	10	01/10/2014	14/10/2014

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Inst. ascensor	88	14/10/2014	10/02/2015	84	03/10/2014	28/01/2015
ACABADOS CYPRUS	315	28/04/2014	03/06/2015	286	09/04/2014	16/04/2015
Mampostería	166	28/04/2014	18/11/2014	154	09/04/2014	21/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	05/05/2014	11/11/2014	150	09/04/2014	16/10/2014
Resanes	158	12/05/2014	21/11/2014	152	23/04/2014	24/10/2014
Enchape de baños	149	16/06/2014	16/12/2014	157	27/05/2014	05/12/2014
Revoque de apartamentos	152	16/06/2014	18/12/2014	145	30/05/2014	24/11/2014
Estuco y primera mano de pintura	165	24/06/2014	23/01/2015	140	10/06/2014	28/11/2014
Estructura de cielo falso	148	18/07/2014	28/01/2015	158	16/06/2014	07/01/2015
Revoque de punto fijo	110	13/08/2014	06/01/2015	140	14/06/2014	03/12/2014
Vaciado de mortero	166	06/08/2014	07/03/2015	142	24/07/2014	24/01/2015
Estuco punto fijo	135	21/08/2014	12/02/2015	115	24/07/2014	11/12/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	162	20/08/2014	14/03/2015	145	02/08/2014	06/02/2015
Instalación de ventanas	77	17/09/2014	19/12/2014	73	27/08/2014	24/11/2014
Emplacada de apartamentos	169	28/08/2014	08/04/2015	139	14/08/2014	12/02/2015
Encintada y masillada de cielos	156	17/09/2014	13/04/2015	148	22/08/2014	28/02/2015
2da mano de pintura	165	23/09/2014	29/04/2015	140	05/09/2014	05/03/2015
Instalación tableta punto de fijo	138	03/09/2014	28/02/2015	132	05/08/2014	26/01/2015
Detallada de cielo falso	153	29/09/2014	21/04/2015	145	03/09/2014	10/03/2015
Instalación madera laminada	153	09/10/2014	30/04/2015	141	17/09/2014	18/03/2015
Instalación de puertas	145	16/10/2014	28/04/2015	138	18/09/2014	14/03/2015
Instalación de closets	145	04/11/2014	15/05/2015	137	06/10/2014	09/04/2015
Instalación de zócalo	145	23/10/2014	06/05/2015	138	25/09/2014	24/03/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	06/11/2014	20/05/2015	137	04/10/2014	09/04/2015
Acabado de pintura	155	01/11/2014	28/05/2015	132	10/10/2014	08/04/2015
Lavada y pintura fachada	53	21/10/2014	24/12/2014	50	26/09/2014	28/11/2014
Detallada carpintería madera	108	06/12/2014	04/05/2015	102	05/11/2014	20/03/2015
Aseo final	95	29/01/2015	30/05/2015	91	04/12/2014	11/04/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	28/02/2015	28/05/2015	72	24/12/2014	08/04/2015
Instalación de muebles de cocina	71	07/02/2015	09/05/2015	67	06/01/2015	27/03/2015
Instalación de mesón	71	13/02/2015	16/05/2015	67	14/01/2015	10/04/2015
Hidrófugo fachada	23	27/11/2014	06/01/2015	22	01/11/2014	28/11/2014
Entrega planeación	31	31/01/2015	09/03/2015	29	18/12/2014	03/02/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	07/04/2015	22/05/2015	35	26/02/2015	16/04/2015
Entregas área comercial	37	18/04/2015	03/06/2015	35	24/02/2015	14/04/2015
Revisión retie	0	20/05/2015	20/05/2015	0	09/04/2015	09/04/2015

Figura 9. Programación de Cyprus.



En la quinta fase, se plantearon tres alternativas de programación de acuerdo con la secuencia del proceso constructivo. La alternativa 1, se basa en la construcción de la estructura de los pisos inferiores hacia los pisos superiores y luego de terminar la estructura realizar los acabados de los pisos superiores a los pisos inferiores. La alternativa 2, busca partir la torre en dos frentes de obra, un frente que vaya de los pisos superiores a los pisos inferiores y otro frente, de los pisos inferiores a los pisos superiores; la construcción de la estructura, al igual que en la primera alternativa, se realiza de los pisos inferiores a los pisos superiores. Y luego de llegar al piso 15, es decir, 3 pisos por encima de la mitad del edificio, se empiezan a ejecutar los acabados sobre el piso 12, unas cuadrillas empiezan de arriba para abajo y otras de abajo para arriba. Y la alternativa 3, es similar a la alternativa 1, la diferencia se basa en que algunas de las actividades de los acabados también se realizan de los pisos inferiores hacia los pisos superiores.

En la Tabla 5 se presenta el resumen con las duraciones para las tres alternativas descritas anteriormente, donde se muestran la fecha de inicio y la fecha de finalización del proyecto.

Tabla 5. Resumen de duraciones de alternativas

ALTERNATIVAS	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Cyprus - alternativa 1	617	01/08/2013	28/09/2015	594	01/08/2013	01/09/2015
Cyprus - alternativa 2	474	01/08/2013	28/03/2015	459	01/08/2013	10/03/2015
Cyprus - alternativa 3	661	01/08/2013	21/11/2015	619	01/08/2013	30/09/2015

En la Tabla 6, Tabla 7 y Tabla 8 se presentan las programaciones detalladas de para la alternativa 1, alternativa 2 y alternativa 3, respectivamente. Y visualizadas en línea de balance en la Figura 10, Figura 11 y Figura 12.

Tabla 6. Programación detallada de Cyprus – Alternativa 1

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	617	01/08/2013	28/09/2015	594	01/08/2013	01/09/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	403	10/09/2013	10/02/2015	396	05/09/2013	28/01/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	69	10/09/2013	02/12/2013	71	05/09/2013	30/11/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	04/12/2013	18/03/2014	64	03/12/2013	28/02/2014
Muro de contención	15	18/03/2014	05/04/2014	15	28/02/2014	18/03/2014
Vaciado columnas	81	31/03/2014	11/09/2014	80	12/03/2014	04/09/2014

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Vaciado losa	135	05/04/2014	25/09/2014	126	18/03/2014	15/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	27/09/2014	09/10/2014	10	17/09/2014	29/09/2014
Adecuación foso ascensor	10	11/10/2014	24/10/2014	10	01/10/2014	14/10/2014
Inst. ascensor	88	14/10/2014	10/02/2015	84	03/10/2014	28/01/2015
ACABADOS CYPRUS	286	25/09/2014	28/09/2015	272	15/09/2014	01/09/2015
Mampostería	166	25/09/2014	02/05/2015	154	15/09/2014	08/04/2015
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	04/10/2014	30/04/2015	150	23/09/2014	10/04/2015
Resanes	158	10/10/2014	09/05/2015	152	29/09/2014	20/04/2015
Enchape de baños	149	14/10/2014	30/04/2015	157	02/10/2014	29/04/2015
Revoque de apartamentos	152	14/10/2014	04/05/2015	145	02/10/2014	14/04/2015
Estuco y primera mano de pintura	165	20/10/2014	27/05/2015	140	22/10/2014	28/04/2015
Estructura de cielo falso	148	12/11/2014	30/05/2015	158	28/10/2014	27/05/2015
Revoque de punto fijo	110	13/12/2014	13/05/2015	140	25/10/2014	02/05/2015
Vaciado de mortero	166	01/12/2014	10/07/2015	142	09/12/2014	17/06/2015
Estuco punto fijo	135	19/12/2014	20/06/2015	115	03/12/2014	08/05/2015
Instalación porcelanato y tableta balcón	162	23/01/2015	15/08/2015	145	21/01/2015	24/07/2015
Instalación de ventanas	77	26/01/2015	05/05/2015	73	13/01/2015	16/04/2015
Emplacada de apartamentos	169	20/12/2014	03/08/2015	139	09/01/2015	07/07/2015
Encintada y masillada de cielos	156	22/01/2015	08/08/2015	148	16/01/2015	23/07/2015
2da mano de pintura	165	28/01/2015	26/08/2015	140	30/01/2015	28/07/2015
Instalación tableta punto de fijo	138	14/01/2015	08/07/2015	132	15/12/2014	11/06/2015
Detallada de cielo falso	153	04/02/2015	19/08/2015	145	28/01/2015	31/07/2015
Instalación madera laminada	153	13/02/2015	28/08/2015	141	11/02/2015	11/08/2015
Instalación de puertas	145	20/02/2015	25/08/2015	138	12/02/2015	08/08/2015
Instalación de closets	145	09/03/2015	11/09/2015	137	02/03/2015	26/08/2015
Instalación de zócalo	145	26/02/2015	01/09/2015	138	19/02/2015	15/08/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	06/03/2015	09/09/2015	137	28/02/2015	26/08/2015
Acabado de pintura	155	07/03/2015	22/09/2015	132	07/03/2015	25/08/2015
Lavada y pintura fachada	53	05/03/2015	15/05/2015	50	19/02/2015	27/04/2015
Detallada carpintería madera	108	16/04/2015	29/08/2015	102	07/04/2015	13/08/2015
Aseo final	95	30/05/2015	25/09/2015	91	06/05/2015	28/08/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	02/07/2015	22/09/2015	72	27/05/2015	25/08/2015
Instalación de muebles de cocina	71	10/06/2015	05/09/2015	67	27/05/2015	20/08/2015
Instalación de mesón	71	17/06/2015	12/09/2015	67	02/06/2015	26/08/2015
Hidrófugo fachada	23	18/04/2015	16/05/2015	22	27/03/2015	28/04/2015
Entrega planeación	31	06/06/2015	15/07/2015	29	12/05/2015	18/06/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Instalación de hornos y cubiertas	37	04/08/2015	18/09/2015	35	18/07/2015	01/09/2015
Entregas área comercial	37	14/08/2015	28/09/2015	35	17/07/2015	31/08/2015
Revisión retie	0	09/09/2015	09/09/2015	0	26/08/2015	26/08/2015

Tabla 7. Programación detallada de Cyprus – Alternativa 2

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	474	01/08/2013	28/03/2015	459	01/08/2013	10/03/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	403	10/09/2013	10/02/2015	396	05/09/2013	28/01/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	69	10/09/2013	02/12/2013	71	05/09/2013	30/11/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	04/12/2013	18/03/2014	64	03/12/2013	28/02/2014
Muro de contención	15	18/03/2014	05/04/2014	15	28/02/2014	18/03/2014
Vaciado columnas	81	31/03/2014	11/09/2014	80	12/03/2014	04/09/2014
Vaciado losa	135	05/04/2014	25/09/2014	126	18/03/2014	15/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	27/09/2014	09/10/2014	10	17/09/2014	29/09/2014
Adecuación foso ascensor	10	11/10/2014	24/10/2014	10	01/10/2014	14/10/2014
Inst. ascensor	88	14/10/2014	10/02/2015	84	03/10/2014	28/01/2015
ACABADOS CYPRUS	196	23/07/2014	28/03/2015	189	14/07/2014	10/03/2015
Mampostería	165	23/07/2014	08/11/2014	154	14/07/2014	23/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	26/07/2014	06/11/2014	150	16/07/2014	27/10/2014
Resanes	158	01/08/2014	14/11/2014	152	22/07/2014	04/11/2014
Enchape de baños	149	04/08/2014	15/11/2014	158	25/07/2014	08/11/2014
Revoque de apartamentos	152	04/08/2014	18/11/2014	144	25/07/2014	06/11/2014
Estuco y primera mano de pintura	165	11/08/2014	02/12/2014	140	05/08/2014	12/11/2014
Estructura de cielo falso	148	23/08/2014	09/12/2014	158	11/08/2014	29/11/2014
Revoque de punto fijo	110	04/09/2014	27/11/2014	140	08/08/2014	15/11/2014
Vaciado de mortero	166	10/09/2014	20/01/2015	142	08/09/2014	17/12/2014
Estuco punto fijo	135	10/09/2014	20/12/2014	114	30/08/2014	24/11/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	162	29/09/2014	28/01/2015	145	24/09/2014	17/01/2015
Instalación de ventanas	77	15/09/2014	19/11/2014	73	02/09/2014	07/11/2014
Emplacada de apartamentos	169	29/09/2014	09/02/2015	139	26/09/2014	17/01/2015
Encintada y masillada de cielos	156	03/10/2014	13/02/2015	148	10/10/2014	28/01/2015
2da mano de pintura	165	16/10/2014	25/02/2015	140	11/10/2014	03/02/2015
Instalación tableta punto de fijo	138	22/09/2014	17/01/2015	132	11/09/2014	18/12/2014

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Detallada de cielo falso	153	22/10/2014	23/02/2015	145	15/10/2014	06/02/2015
Instalación madera laminada	153	31/10/2014	04/03/2015	141	25/10/2014	16/02/2015
Instalación de puertas	145	31/10/2014	28/02/2015	138	24/10/2014	12/02/2015
Instalación de closets	145	21/11/2014	18/03/2015	137	12/11/2014	03/03/2015
Instalación de zócalo	145	08/11/2014	07/03/2015	138	30/10/2014	18/02/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	20/11/2014	14/03/2015	137	31/10/2014	26/02/2015
Acabado de pintura	155	19/11/2014	24/03/2015	132	11/11/2014	27/02/2015
Lavada y pintura fachada	53	04/10/2014	24/11/2014	50	22/09/2014	12/11/2014
Detallada carpintería madera	108	27/11/2014	05/03/2015	102	18/11/2014	17/02/2015
Aseo final	95	06/01/2015	27/03/2015	91	09/12/2014	02/03/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	19/01/2015	24/03/2015	72	17/12/2014	27/02/2015
Instalación de muebles de cocina	71	07/01/2015	13/03/2015	67	18/12/2014	25/02/2015
Instalación de mesón	71	14/01/2015	20/03/2015	67	24/12/2014	04/03/2015
Hidrófugo fachada	22	24/10/2014	25/11/2014	22	10/10/2014	12/11/2014
Entrega planeación	31	27/11/2014	26/01/2015	29	18/11/2014	06/01/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	06/02/2015	26/03/2015	35	29/01/2015	10/03/2015
Entregas área comercial	37	09/02/2015	28/03/2015	35	24/01/2015	04/03/2015
Revisión retie	0	14/03/2015	14/03/2015	0	26/02/2015	26/02/2015

Tabla 8. Programación detallada de Cyprus – Alternativa 3

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	661	01/08/2013	21/11/2015	619	01/08/2013	30/09/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	403	10/09/2013	10/02/2015	396	05/09/2013	28/01/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	69	10/09/2013	02/12/2013	71	05/09/2013	30/11/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	04/12/2013	18/03/2014	64	03/12/2013	28/02/2014
Muro de contención	15	18/03/2014	05/04/2014	15	28/02/2014	18/03/2014
Vaciado columnas	81	31/03/2014	11/09/2014	80	12/03/2014	04/09/2014
Vaciado losa	135	05/04/2014	25/09/2014	126	18/03/2014	15/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	27/09/2014	09/10/2014	10	17/09/2014	29/09/2014
Adecuación foso ascensor	10	11/10/2014	24/10/2014	10	01/10/2014	14/10/2014
Inst. ascensor	88	14/10/2014	10/02/2015	84	03/10/2014	28/01/2015
ACABADOS CYPRUS	453	28/04/2014	21/11/2015	419	11/04/2014	30/09/2015
Mampostería	166	28/04/2014	18/11/2014	154	11/04/2014	23/10/2014

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	05/05/2014	11/11/2014	150	11/04/2014	17/10/2014
Resanes	158	12/05/2014	21/11/2014	152	24/04/2014	27/10/2014
Enchape de baños	149	16/06/2014	16/12/2014	157	30/05/2014	10/12/2014
Revoque de apartamentos	152	16/06/2014	18/12/2014	145	31/05/2014	25/11/2014
Estuco y primera mano de pintura	165	24/06/2014	23/01/2015	140	11/06/2014	29/11/2014
Estructura de cielo falso	148	18/07/2014	28/01/2015	158	17/06/2014	08/01/2015
Revoque de punto fijo	110	13/08/2014	06/01/2015	140	16/06/2014	04/12/2014
Vaciado de mortero	166	06/02/2015	05/09/2015	142	17/01/2015	16/07/2015
Estuco punto fijo	135	21/08/2014	12/02/2015	115	25/07/2014	12/12/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	162	17/03/2015	09/10/2015	145	18/02/2015	24/08/2015
Instalación de ventanas	77	17/09/2014	19/12/2014	73	28/08/2014	25/11/2014
Emplacada de apartamentos	169	25/02/2015	28/09/2015	139	07/02/2015	04/08/2015
Encintada y masillada de cielos	156	17/03/2015	02/10/2015	148	13/02/2015	22/08/2015
2da mano de pintura	165	24/03/2015	20/10/2015	140	27/02/2015	27/08/2015
Instalación tableta punto de fijo	138	16/02/2015	12/08/2015	132	16/12/2014	12/06/2015
Detallada de cielo falso	153	07/04/2015	13/10/2015	145	25/02/2015	31/08/2015
Instalación madera laminada	153	16/04/2015	22/10/2015	141	10/03/2015	08/09/2015
Instalación de puertas	145	23/04/2015	19/10/2015	138	13/03/2015	07/09/2015
Instalación de closets	145	11/05/2015	06/11/2015	137	07/04/2015	23/09/2015
Instalación de zócalo	145	29/04/2015	26/10/2015	138	19/03/2015	12/09/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	08/05/2015	04/11/2015	137	06/04/2015	22/09/2015
Acabado de pintura	155	08/05/2015	17/11/2015	132	11/04/2015	21/09/2015
Lavada y pintura fachada	53	18/12/2014	03/03/2015	50	24/11/2014	04/02/2015
Detallada carpintería madera	108	12/06/2015	23/10/2015	102	06/05/2015	10/09/2015
Aseo final	95	27/07/2015	20/11/2015	91	03/06/2015	24/09/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	27/08/2015	17/11/2015	72	25/06/2015	21/09/2015
Instalación de muebles de cocina	71	06/08/2015	31/10/2015	67	26/06/2015	17/09/2015
Instalación de mesón	71	14/08/2015	09/11/2015	67	04/07/2015	24/09/2015
Hidrófugo fachada	23	05/02/2015	04/03/2015	22	10/01/2015	05/02/2015
Entrega planeación	31	11/07/2015	20/08/2015	29	13/05/2015	20/06/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	01/10/2015	14/11/2015	35	20/08/2015	30/09/2015
Entregas área comercial	37	06/10/2015	21/11/2015	35	15/08/2015	26/09/2015
Revisión retie	0	04/11/2015	04/11/2015	0	22/09/2015	22/09/2015

Figura 10. Programación de Cyprus - Alternativa 1.

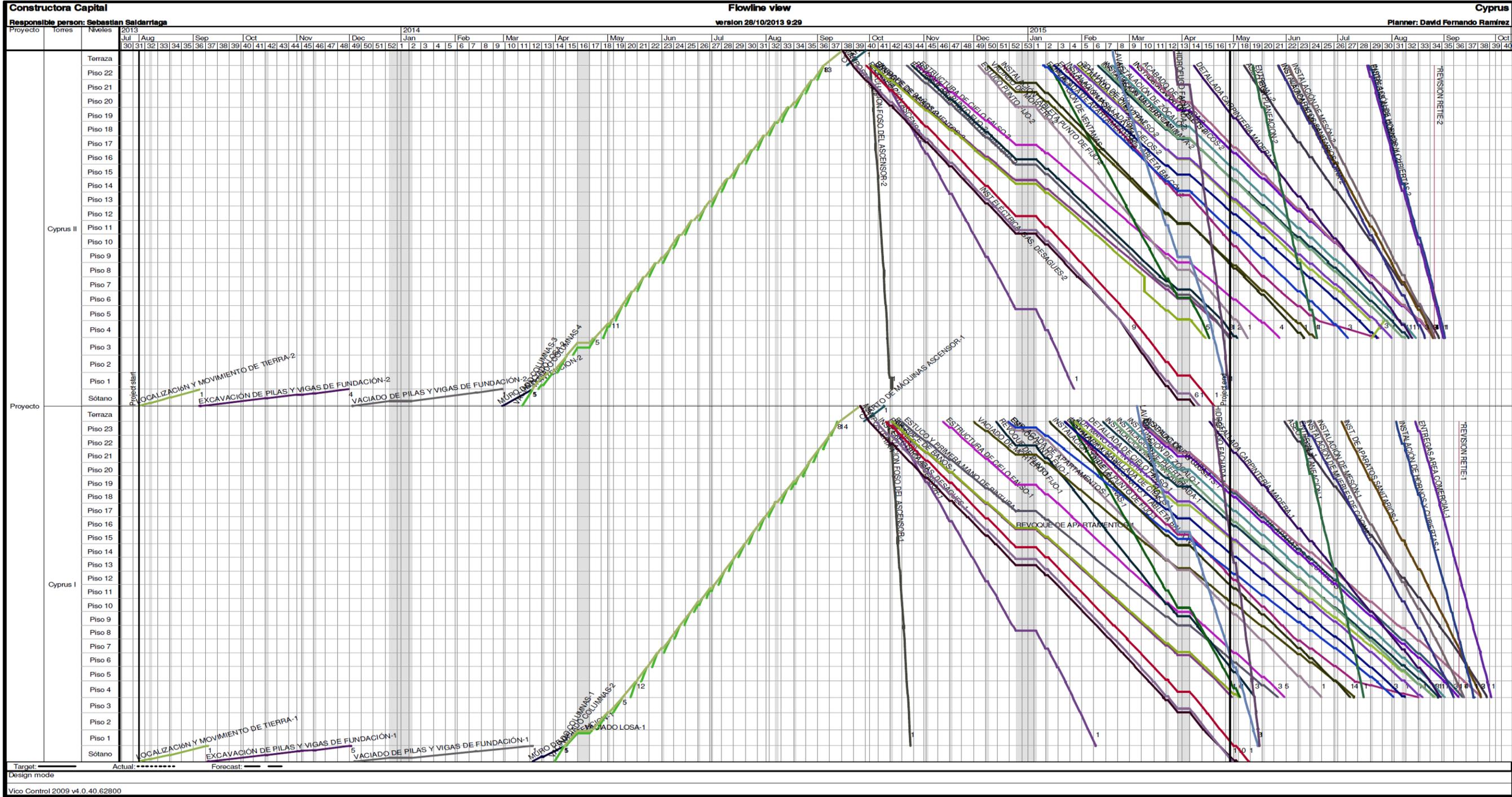


Figura 11. Programación de Cyprus - Alternativa 2

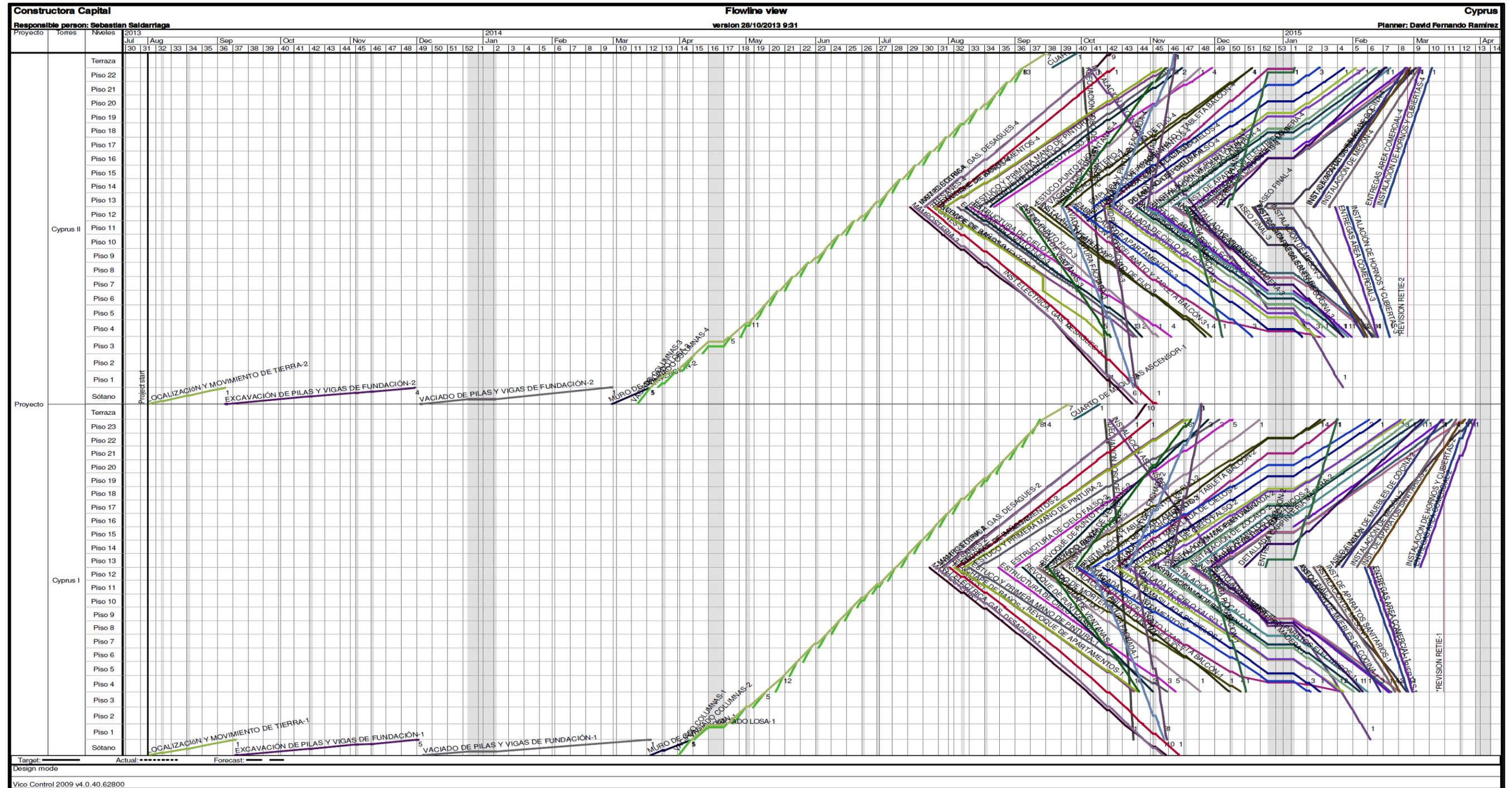
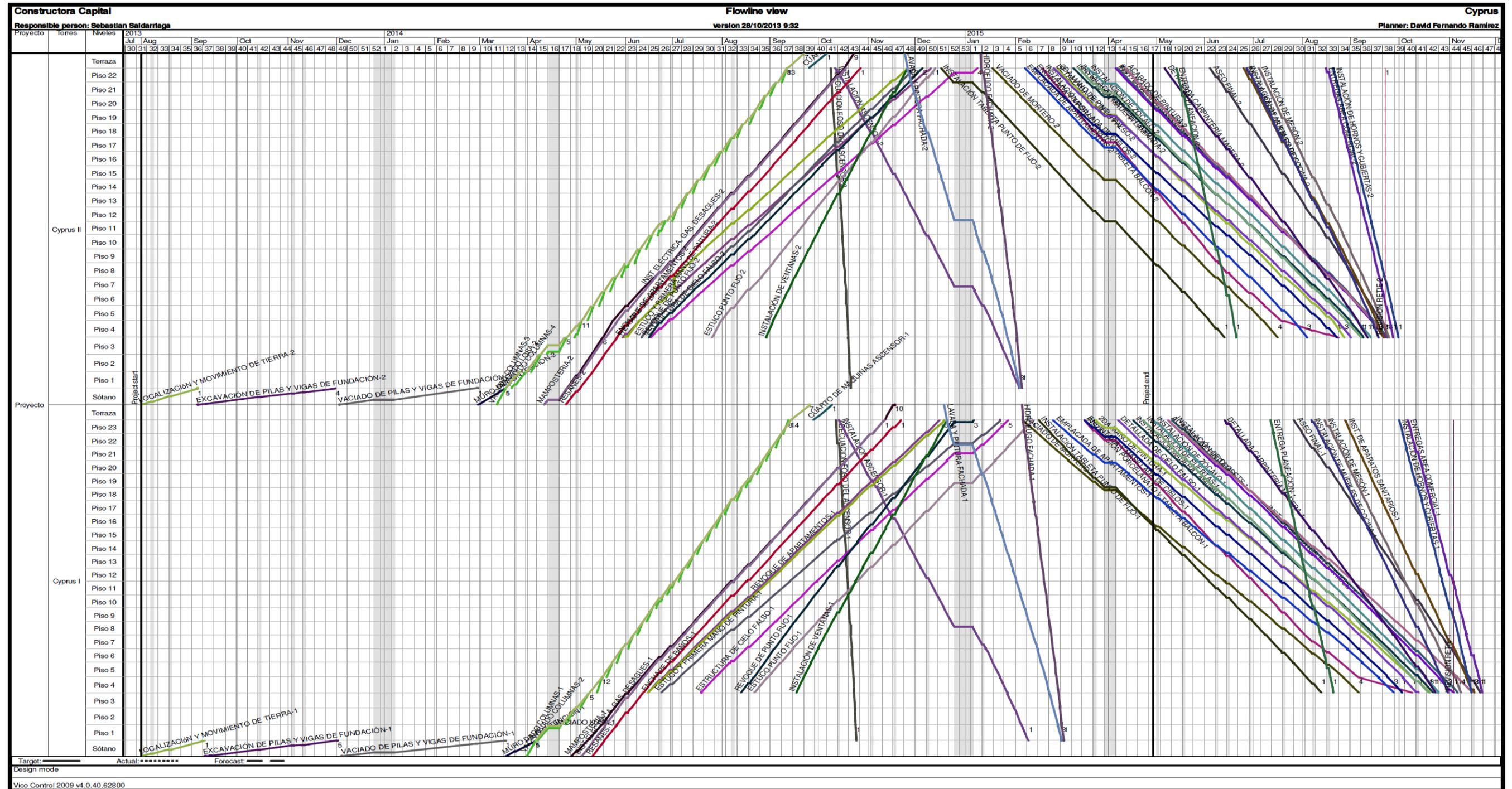


Figura 12. Programación de Cyprus - Alternativa 3



En la sexta fase, se hizo la visita a la obra para la verificación de los recursos y las tasas de producción por cuadrilla encontrados para las actividades en ambas torres, lo cual fue constatado por el ingeniero de productividad de la empresa. A continuación se describe los cambios encontrados:

- Para la actividad “Excavación de pilas y vigas de fundación” se encontró que la tasa de producción diaria por cuadrilla fue de $2,71 \text{ m}^3$, la cual estaba muy alta y en la obra se está manejando una tasa diaria de $1,75 \text{ m}^3$. Además se tenía que era necesario 1 sola cuadrilla y en la obra hay trabajando 6 cuadrillas de pileros.
- Para las actividades “Revoque de apartamentos” y “Revoque de punto fijo” se encontró que las tasas de producción diaria por cuadrilla fueron de $21,98 \text{ m}^2$ y de $20,17 \text{ m}^2$, respectivamente, las cuales se encuentran muy por debajo de la tasa diaria que se maneja en la obra que es de $50,00 \text{ m}^2$. Además, las cuadrillas que son necesarias para esta actividad son 3.
- Para la actividad “Vaciado de mortero”, sucede lo mismo que con las actividades anteriores, ya que la tasa de producción diaria encontrada es de $10,68 \text{ m}^2$, y en la obra se maneja una tasa diaria de 55 a 60 m^2 . Las cuadrillas necesarias para esta actividad son 2.
- Para las actividades “Estructura de cielo falso” y “Emplacada de apartamentos”, las tasas de producción diarias encontradas fueron de $9,56 \text{ m}^2$ y de $14,24 \text{ m}^2$, y en la obra se maneja una tasa diaria de 60 m^2 .
- Para las actividades “Encintada y masillada de cielos” y “Detallada de carpintería de madera” es necesario aumentar el número de cuadrillas a 2 manteniendo las mismas tasas de producción diaria.
- Para las actividades “Instalación porcelanato y tableta balcón” e “Instalación tabletas punto fijo”, se encontró que las tasas de producción diaria $17,43 \text{ m}^2$ y $2,70 \text{ m}^2$, respectivamente, y en obra se está manejando una tasa diaria de 30 a 40 m^2 .
- Para la actividad “Instalación de zócalos” se encontró que la tasa de producción diaria es $10,37 \text{ m}$, y en obra se está manejando una tasa diaria de 38 m.
- Para la actividad “Instalación madera laminada” se encontró una tasa de producción diaria de $15,07 \text{ m}^2$, y en la obra se tiene una tasa diaria de 45 m^2 .
- Para la actividad “Aseo” se ajustó la tasa de producción diaria a 1 vivienda diaria.

En la Tabla 9 se presenta el resumen de las actividades que se les hizo modificación en la tasa de producción y/o en la cantidad de cuadrillas.

Tabla 9. Actividades modificadas según criterios de obra

ACTIVIDADES	TEÓRICA		EN OBRA	
	TASA DE PRODUCCIÓN POR CUADRILLA [und/día]	CANTIDAD DE CUADRILLAS TORRE 1 - TORRE 2	TASA DE PRODUCCIÓN POR CUADRILLA [und/día]	CANTIDAD DE CUADRILLAS TORRE 1 - TORRE 2
Excavación de pilas y vigas de fundación	2,71	5-4	1.00	6-6
Revoque de apartamentos	21,98	6-5	50	3-3
Estructura de cielo falso	9,56	5-4	60	1-1
Revoque de punto fijo	20,17	3-2	50	3-3
Vaciado de mortero	10,68	4-4	55-60	2-2
Instalación porcelanato y tableta balcón	17,43	1-1	30-40	1-1
Emplacada de apartamentos	14,24	3-3	60	1-1
Encintada y masillada de cielos	25,49	1-1	25.49	2-2
Instalación tableta punto de fijo	2,70	1-1	30-40	1-1
Instalación madera laminada	15,07	1-1	45	1-1
Instalación de zócalo	10,37	1-1	38	1-1
Detallada carpintería madera	2,23	1-1	2.23	2-2
Aseo final	0,84	1-1	1	1-1

Con las modificaciones hechas según los criterios que se tienen en obra, se actualizaron las programaciones. En la Tabla 10 se presenta el resumen con las duraciones para las tres alternativas descritas anteriormente, mostrando la fecha de inicio y la fecha de finalización del proyecto.

Tabla 10. Resumen de duraciones de alternativas según criterios de obra

ALTERNATIVAS	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Cyprus	576	01/08/2013	10/08/2015	554	01/08/2013	13/07/2015
Cyprus - alternativa 1	680	01/08/2013	15/12/2015	651	01/08/2013	09/11/2015
Cyprus - alternativa 2	515	01/08/2013	25/05/2015	476	01/08/2013	07/04/2015
Cyprus - alternativa 3	675	01/08/2013	09/12/2015	607	01/08/2013	16/09/2015

Las programaciones detalladas del proyecto Cyprus y las tres alternativas más que se realizaron según los criterios que se manejan en obra, se presentan en la

Tabla 11, Tabla 12, Tabla 13 y Tabla 14. Y visualizadas en la Figura 13, Figura 14, Figura 15 y Figura 16.

Tabla 11. Programación de Cyprus según criterios de obra

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	576	01/08/2013	10/08/2015	554	01/08/2013	13/07/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	425	10/09/2013	07/03/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	89	10/09/2013	07/01/2014	74	05/09/2013	03/12/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	09/01/2014	11/04/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	11/04/2014	07/05/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	30/04/2014	07/10/2014	80	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	07/05/2014	21/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	23/10/2014	05/11/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	07/11/2014	20/11/2014	10	08/10/2014	21/10/2014
Inst. ascensor	88	10/11/2014	07/03/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	346	24/05/2014	10/08/2015	354	11/04/2014	13/07/2015
Mampostería	166	24/05/2014	15/12/2014	154	11/04/2014	23/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	30/05/2014	09/12/2014	150	11/04/2014	18/10/2014
Resanes	158	06/06/2014	18/12/2014	152	24/04/2014	27/10/2014
Enchape de baños	149	14/07/2014	23/01/2015	157	30/05/2014	10/12/2014
Revoque de apartamentos	133	14/07/2014	23/12/2014	106	21/06/2014	28/10/2014
Estuco y primera mano de pintura	165	21/07/2014	18/02/2015	140	27/06/2014	16/12/2014
Estructura de cielo falso	118	22/08/2014	23/02/2015	101	23/07/2014	18/12/2014
Revoque de punto fijo	44	22/07/2014	27/01/2015	38	07/07/2014	25/11/2014
Vaciado de mortero	65	22/09/2014	11/03/2015	55	19/08/2014	14/01/2015
Estuco punto fijo	135	27/08/2014	18/02/2015	115	28/07/2014	16/12/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	99	08/11/2014	19/03/2015	81	01/10/2014	21/01/2015
Instalación de ventanas	77	23/09/2014	06/01/2015	73	04/08/2014	31/10/2014
Emplacada de apartamentos	118	09/10/2014	20/04/2015	101	04/09/2014	10/02/2015
Encintada y masillada de cielos	78	15/10/2014	13/05/2015	74	10/09/2014	25/03/2015
2da mano de pintura	165	23/10/2014	30/05/2015	140	01/10/2014	08/04/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	20/10/2014	23/02/2015	12	08/09/2014	22/12/2014
Detallada de cielo falso	153	04/11/2014	27/05/2015	145	26/09/2014	10/04/2015
Instalación madera laminada	53	18/11/2014	30/06/2015	45	02/12/2014	08/04/2015
Instalación de puertas	145	20/11/2014	02/06/2015	138	10/10/2014	15/04/2015
Instalación de closets	145	13/01/2015	14/07/2015	137	15/12/2014	19/06/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Instalación de zócalo	40	23/12/2014	09/06/2015	38	10/11/2014	20/04/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	13/01/2015	14/07/2015	137	10/11/2014	14/05/2015
Acabado de pintura	155	10/01/2015	27/07/2015	132	20/11/2014	15/05/2015
Lavada y pintura fachada	53	25/10/2014	10/01/2015	50	06/09/2014	06/11/2014
Detallada carpintería madera	54	20/01/2015	09/06/2015	51	26/11/2014	20/04/2015
Aseo final	80	24/02/2015	30/07/2015	76	09/02/2015	16/05/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	12/03/2015	27/07/2015	72	22/12/2014	14/05/2015
Instalación de muebles de cocina	71	06/01/2015	08/07/2015	67	10/12/2014	10/06/2015
Instalación de mesón	71	14/01/2015	15/07/2015	67	17/12/2014	22/06/2015
Hidrófugo fachada	23	03/12/2014	10/01/2015	22	10/10/2014	06/11/2014
Entrega planeación	31	24/03/2015	04/08/2015	29	16/02/2015	22/06/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	17/02/2015	27/07/2015	35	02/02/2015	23/06/2015
Entregas área comercial	37	09/03/2015	10/08/2015	35	16/02/2015	13/07/2015
Revisión retie	0	14/07/2015	14/07/2015	0	14/05/2015	14/05/2015

Tabla 12. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 1

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	680	01/08/2013	15/12/2015	651	01/08/2013	09/11/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	425	10/09/2013	07/03/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	89	10/09/2013	07/01/2014	74	05/09/2013	03/12/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	09/01/2014	11/04/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	11/04/2014	07/05/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	30/04/2014	07/10/2014	80	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	07/05/2014	21/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	23/10/2014	05/11/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	07/11/2014	20/11/2014	10	08/10/2014	21/10/2014
Inst. ascensor	88	10/11/2014	07/03/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	328	21/10/2014	15/12/2015	323	22/09/2014	09/11/2015
Mampostería	166	21/10/2014	28/05/2015	154	22/09/2014	15/04/2015
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	30/10/2014	27/05/2015	150	30/09/2014	17/04/2015
Resanes	158	06/11/2014	04/06/2015	152	06/10/2014	25/04/2015
Enchape de baños	149	10/11/2014	28/05/2015	157	09/10/2014	07/05/2015
Revoque de apartamentos	133	10/11/2014	08/05/2015	106	31/10/2014	20/03/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Estuco y primera mano de pintura	165	18/11/2014	25/06/2015	140	06/11/2014	13/05/2015
Estructura de cielo falso	118	24/11/2014	16/07/2015	101	12/11/2014	02/06/2015
Revoque de punto fijo	44	18/11/2014	26/05/2015	38	10/11/2014	20/04/2015
Vaciado de mortero	65	11/02/2015	04/08/2015	55	28/01/2015	23/06/2015
Estuco punto fijo	135	26/11/2014	24/08/2015	115	18/11/2014	06/07/2015
Instalación porcelanato y tableta balcón	99	24/02/2015	02/09/2015	81	09/02/2015	14/07/2015
Instalación de ventanas	77	04/12/2014	11/05/2015	73	11/11/2014	13/04/2015
Emplacada de apartamentos	75	04/03/2015	16/09/2015	62	16/02/2015	28/07/2015
Encintada y masillada de cielos	78	10/03/2015	30/09/2015	74	23/02/2015	07/09/2015
2da mano de pintura	165	16/03/2015	13/10/2015	140	12/03/2015	09/09/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	20/04/2015	24/08/2015	12	09/03/2015	13/07/2015
Detallada de cielo falso	153	06/04/2015	10/10/2015	145	11/03/2015	14/09/2015
Instalación madera laminada	53	20/04/2015	17/11/2015	45	06/04/2015	29/09/2015
Instalación de puertas	145	22/04/2015	19/10/2015	138	27/03/2015	21/09/2015
Instalación de closets	145	06/06/2015	03/12/2015	137	30/04/2015	17/10/2015
Instalación de zócalo	40	12/05/2015	20/10/2015	38	27/04/2015	22/09/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	23/05/2015	19/11/2015	137	25/04/2015	13/10/2015
Acabado de pintura	155	25/05/2015	02/12/2015	132	07/05/2015	16/10/2015
Lavada y pintura fachada	53	12/03/2015	22/05/2015	50	14/02/2015	22/04/2015
Detallada carpintería madera	54	02/06/2015	20/10/2015	51	13/05/2015	23/09/2015
Aseo final	80	09/07/2015	03/12/2015	76	28/05/2015	19/10/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	16/06/2015	02/12/2015	72	06/05/2015	09/11/2015
Instalación de muebles de cocina	71	27/05/2015	25/11/2015	67	22/04/2015	13/10/2015
Instalación de mesón	71	03/06/2015	02/12/2015	67	29/04/2015	20/10/2015
Hidrófugo fachada	23	25/04/2015	23/05/2015	22	21/03/2015	23/04/2015
Entrega planeación	31	24/07/2015	01/09/2015	29	16/06/2015	22/07/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	14/07/2015	14/12/2015	35	02/06/2015	26/10/2015
Entregas área comercial	37	21/07/2015	15/12/2015	35	09/06/2015	27/10/2015
Revisión retie	0	19/11/2015	19/11/2015	0	13/10/2015	13/10/2015

Tabla 13. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 2

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	515	01/08/2013	25/05/2015	476	01/08/2013	07/04/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
ESTRUCTURA CYPRUS	425	10/09/2013	07/03/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	89	10/09/2013	07/01/2014	74	05/09/2013	03/12/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	09/01/2014	11/04/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	11/04/2014	07/05/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	30/04/2014	07/10/2014	80	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	07/05/2014	21/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	23/10/2014	05/11/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	07/11/2014	20/11/2014	10	08/10/2014	21/10/2014
Inst. ascensor	88	10/11/2014	07/03/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	216	19/08/2014	25/05/2015	200	21/07/2014	07/04/2015
Mampostería	165	19/08/2014	04/12/2014	154	21/07/2014	30/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	20/08/2014	02/12/2014	150	23/07/2014	04/11/2014
Resanes	158	26/08/2014	11/12/2014	152	29/07/2014	11/11/2014
Enchape de baños	149	29/08/2014	06/12/2014	158	01/08/2014	15/11/2014
Revoque de apartamentos	133	29/08/2014	26/11/2014	106	15/08/2014	25/10/2014
Estuco y primera mano de pintura	165	04/09/2014	23/12/2014	140	21/08/2014	18/11/2014
Estructura de cielo falso	118	04/10/2014	07/01/2015	101	16/09/2014	21/11/2014
Revoque de punto fijo	44	09/09/2014	16/12/2014	38	25/08/2014	04/11/2014
Vaciado de mortero	65	29/10/2014	22/01/2015	55	07/10/2014	03/12/2014
Estuco punto fijo	135	26/09/2014	06/01/2015	114	04/09/2014	18/11/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	99	12/11/2014	03/02/2015	81	22/10/2014	15/12/2014
Instalación de ventanas	77	29/09/2014	20/11/2014	73	04/09/2014	29/10/2014
Emplacada de apartamentos	75	18/11/2014	17/02/2015	62	23/10/2014	06/01/2015
Encintada y masillada de cielos	78	24/11/2014	25/02/2015	74	29/10/2014	26/01/2015
2da mano de pintura	165	01/12/2014	14/04/2015	140	04/11/2014	18/02/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	09/12/2014	06/01/2015	12	11/11/2014	22/11/2014
Detallada de cielo falso	153	03/12/2014	08/04/2015	145	07/11/2014	25/02/2015
Instalación madera laminada	53	15/12/2014	27/04/2015	45	18/11/2014	09/03/2015
Instalación de puertas	145	13/12/2014	13/04/2015	138	19/11/2014	03/03/2015
Instalación de closets	145	16/01/2015	12/05/2015	137	11/12/2014	26/03/2015
Instalación de zócalo	40	19/01/2015	20/04/2015	38	02/12/2014	03/03/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	27/01/2015	09/05/2015	137	06/12/2014	25/03/2015
Acabado de pintura	155	28/01/2015	19/05/2015	132	16/12/2014	27/03/2015
Lavada y pintura fachada	53	23/10/2014	26/11/2014	50	24/09/2014	01/11/2014
Detallada carpintería madera	54	18/02/2015	16/04/2015	51	21/01/2015	04/03/2015
Aseo final	80	12/03/2015	22/05/2015	76	02/02/2015	28/03/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Inst. de aparatos sanitarios	67	16/03/2015	19/05/2015	72	31/01/2015	27/03/2015
Instalación de muebles de cocina	71	17/02/2015	06/05/2015	67	26/01/2015	18/03/2015
Instalación de mesón	71	23/02/2015	12/05/2015	67	02/02/2015	26/03/2015
Hidrófugo fachada	22	11/11/2014	27/11/2014	22	14/10/2014	04/11/2014
Entrega planeación	31	15/12/2014	26/01/2015	29	18/11/2014	10/12/2014
Instalación de hornos y cubiertas	37	18/03/2015	16/05/2015	35	25/02/2015	28/03/2015
Entregas área comercial	37	15/04/2015	25/05/2015	35	27/02/2015	07/04/2015
Revisión retie	0	09/05/2015	09/05/2015	0	25/03/2015	25/03/2015

Tabla 14. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 3

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	675	01/08/2013	09/12/2015	607	01/08/2013	16/09/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	425	10/09/2013	07/03/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	89	10/09/2013	07/01/2014	74	05/09/2013	03/12/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	09/01/2014	11/04/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	11/04/2014	07/05/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	30/04/2014	07/10/2014	81	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	07/05/2014	21/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	23/10/2014	05/11/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	07/11/2014	20/11/2014	10	08/10/2014	21/10/2014
Inst. ascensor	88	10/11/2014	07/03/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	445	24/05/2014	09/12/2015	407	11/04/2014	16/09/2015
Mampostería	166	24/05/2014	15/12/2014	154	11/04/2014	23/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	30/05/2014	09/12/2014	150	11/04/2014	18/10/2014
Resanes	158	06/06/2014	18/12/2014	152	24/04/2014	27/10/2014
Enchape de baños	149	14/07/2014	23/01/2015	157	30/05/2014	10/12/2014
Revoque de apartamentos	133	14/07/2014	23/12/2014	106	21/06/2014	28/10/2014
Estuco y primera mano de pintura	165	21/07/2014	18/02/2015	140	27/06/2014	16/12/2014
Estructura de cielo falso	118	18/09/2014	20/02/2015	101	16/08/2014	17/12/2014
Revoque de punto fijo	44	22/07/2014	27/01/2015	38	07/07/2014	25/11/2014
Vaciado de mortero	65	02/03/2015	27/05/2015	55	06/01/2015	12/03/2015
Estuco punto fijo	135	27/08/2014	18/02/2015	115	28/07/2014	16/12/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	99	11/03/2015	17/07/2015	81	15/01/2015	27/04/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Instalación de ventanas	77	23/09/2014	06/01/2015	73	04/08/2014	31/10/2014
Emplacada de apartamentos	75	14/03/2015	22/06/2015	62	19/01/2015	09/04/2015
Encintada y masillada de cielos	78	20/03/2015	03/07/2015	74	26/01/2015	30/04/2015
2da mano de pintura	165	26/03/2015	22/10/2015	140	02/02/2015	29/07/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	23/02/2015	09/03/2015	12	22/12/2014	16/01/2015
Detallada de cielo falso	153	06/04/2015	09/10/2015	145	04/02/2015	08/08/2015
Instalación madera laminada	53	20/04/2015	17/11/2015	45	17/02/2015	25/08/2015
Instalación de puertas	145	21/04/2015	17/10/2015	138	19/02/2015	14/08/2015
Instalación de closets	145	05/06/2015	01/12/2015	137	18/03/2015	11/09/2015
Instalación de zócalo	40	11/05/2015	20/10/2015	38	10/03/2015	18/08/2015
Inst. de aparatos eléctricos	145	20/05/2015	14/11/2015	137	17/03/2015	10/09/2015
Acabado de pintura	155	20/05/2015	27/11/2015	132	21/03/2015	08/09/2015
Lavada y pintura fachada	53	24/12/2014	07/03/2015	50	30/10/2014	13/01/2015
Detallada carpintería madera	54	02/06/2015	20/10/2015	51	07/04/2015	18/08/2015
Aseo final	80	02/07/2015	30/11/2015	76	22/04/2015	10/09/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	07/09/2015	27/11/2015	72	11/06/2015	08/09/2015
Instalación de muebles de cocina	71	01/09/2015	26/11/2015	67	11/06/2015	03/09/2015
Instalación de mesón	71	08/09/2015	03/12/2015	67	19/06/2015	10/09/2015
Hidrófugo fachada	23	11/02/2015	09/03/2015	22	06/12/2014	14/01/2015
Entrega planeación	31	02/03/2015	14/04/2015	29	06/01/2015	10/02/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	23/10/2015	09/12/2015	35	04/08/2015	16/09/2015
Entregas área comercial	37	16/10/2015	01/12/2015	35	03/08/2015	15/09/2015
Revisión retie	0	14/11/2015	14/11/2015	0	10/09/2015	10/09/2015

Figura 13. Programación de Cyprus según criterios de obra

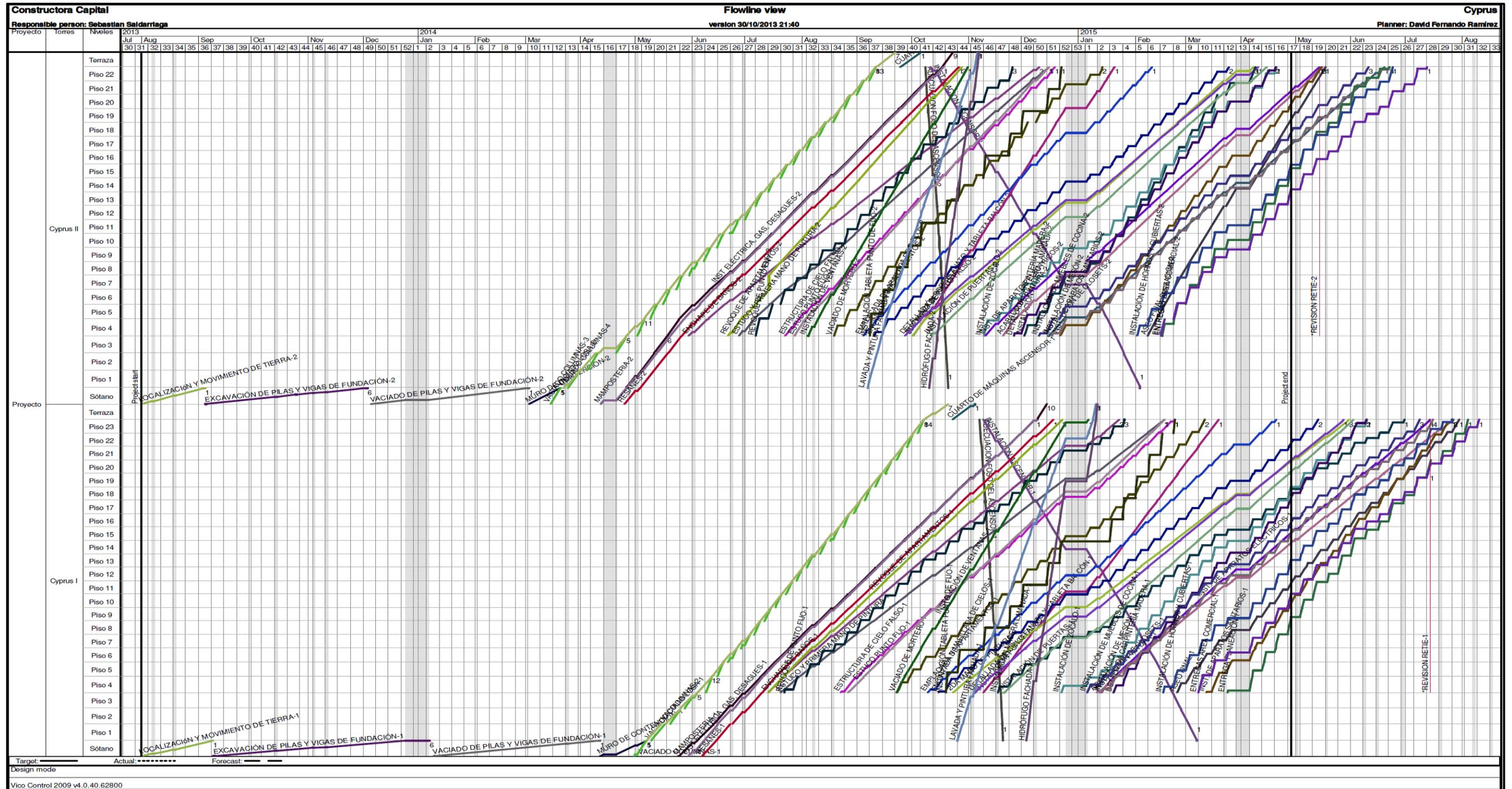


Figura 14. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 1

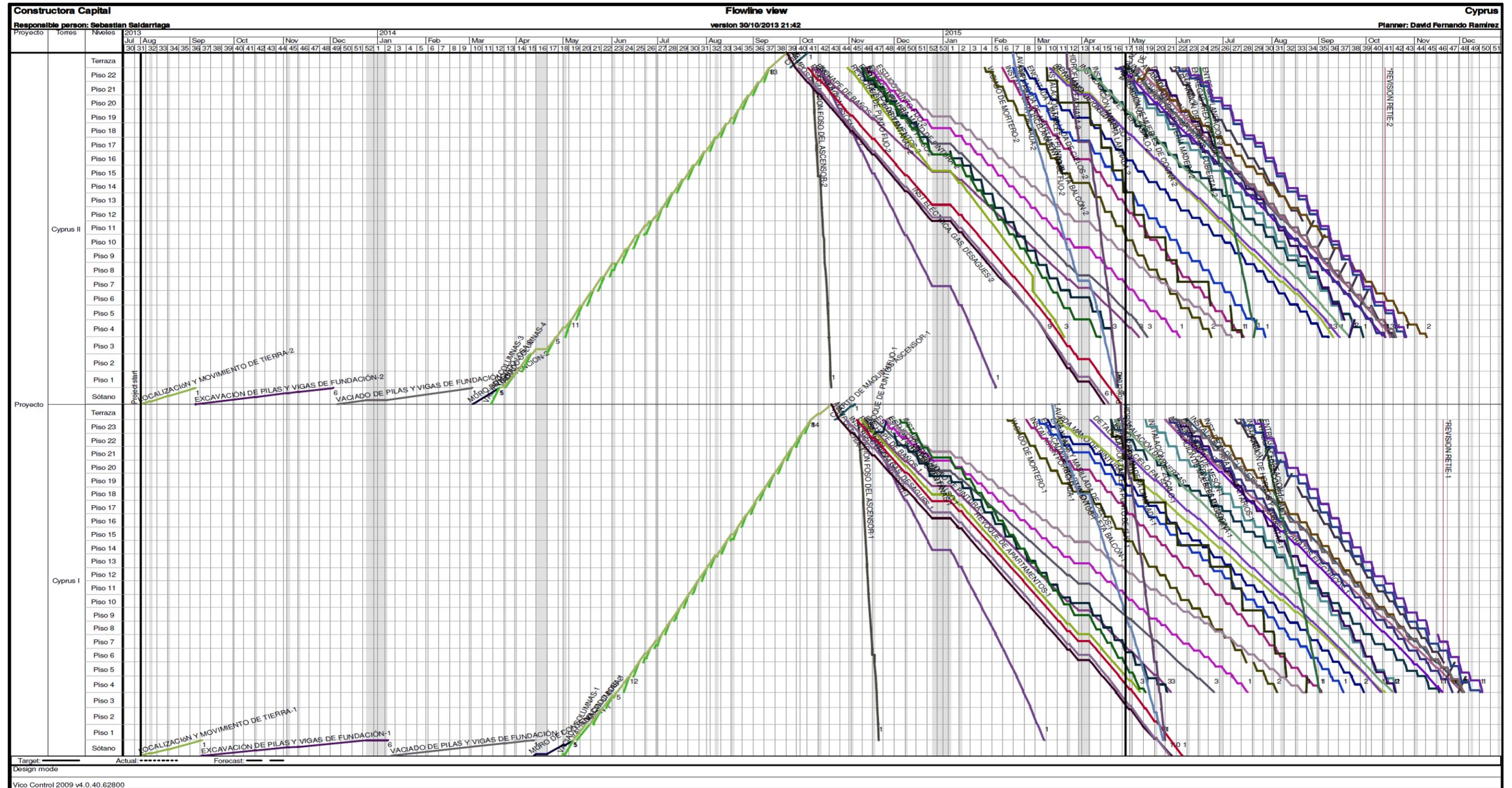
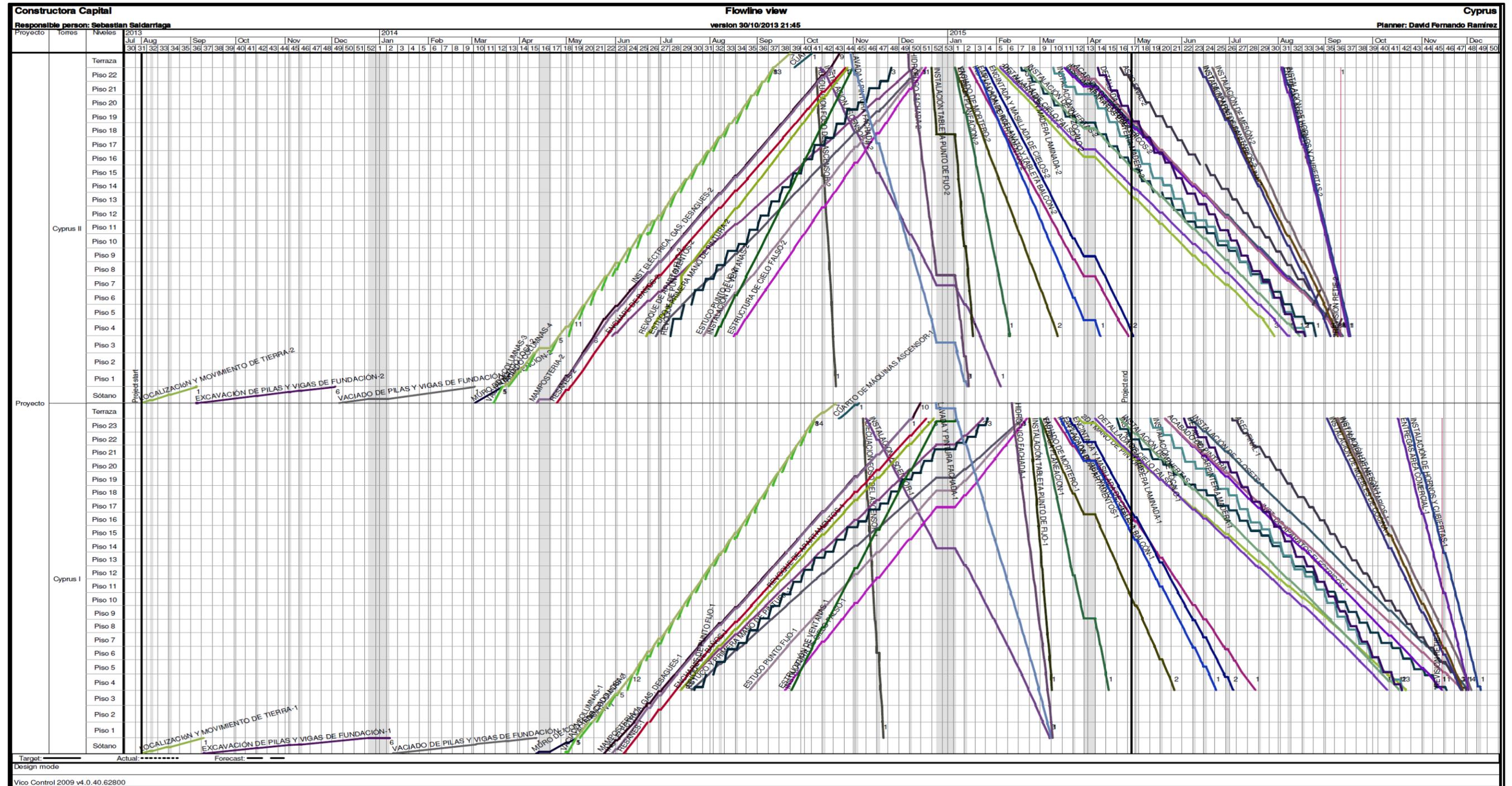


Figura 16. Programación de Cyprus según criterios de obra - Alternativa 3



En todas las programaciones anteriores, se observa una falta de continuidad en las cuadrillas de trabajo en algunas de las actividades, ya que según lo expresado por el ingeniero de productividad de la empresa, dichas cuadrillas no trabajarían la semana completa. Esta falta de continuidad puede ser peligrosa para la obra porque podría presentarse mucha rotación de personal debido a que los trabajadores pueden encontrar una mejor propuesta laboral y no cumplirían con los objetivos planteados.

En la séptima fase, se analizaron alternativas para mejorar la continuidad de los recursos de las actividades que sufrieron los cambios anteriormente mencionados. Se calcularon los recursos necesarios para optimizar las programaciones de todas las alternativas que se tienen y se compararon con los recursos que se tienen proyectados para la obra. La cantidad de cuadrillas para optimizar las alternativas se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Cantidad de cuadrillas para optimización alternativas

ACTIVIDADES	CUADRILLAS										
	EN OBRA		ORIGINAL		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		
	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	
ESTRUCTURA CYPRUS											
Excavación de pilas y vigas de fundación	6	6	7	6	7	6	7	6	7	6	
ACABADOS CYPRUS											
Mampostería	10	9	11	11	20	20	11	11	11	11	
Inst. eléctrica, gas, desagües	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	
Resanes	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	
Enchape de baños	3	3	3	3	5	5	3	3	3	3	
Revoque de apartamentos	3	3	3	3	5	5	3	3	3	3	
Estuco y primera mano de pintura	3	3	4	4	6	6	4	4	4	4	
Estructura de cielo falso	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	
Revoque de punto fijo	3	3	2	2	2	3	2	2	2	2	
Vaciado de mortero	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	
Estuco punto fijo	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Instalación porcelanato y tableta balcón	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Emplacada de apartamentos	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
Encintada y masillada de cielos	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
2da mano de pintura	3	3	5	5	6	6	5	5	5	5	
Detallada de cielo falso	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	
Instalación de puertas	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	
Instalación de closets	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	

ACTIVIDADES	CUADRILLAS										
	EN OBRA		ORIGINAL		ALTERNATIVA 1		ALTERNATIVA 2		ALTERNATIVA 3		
	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	TORRE 1	TORRE 2	
Inst. de aparatos eléctricos	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Acabado de pintura	3	3	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Detallada carpintería madera	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Aseo final	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Con los recursos calculados anteriormente, se obtuvieron las programaciones de las alternativas optimizadas para ser contrastadas y encontrar la mejor alternativa de todas las planteadas. En la Tabla 16 se presenta el resumen con las duraciones de las alternativas, mostrando la fecha de inicio y la fecha de finalización del proyecto.

Tabla 16. Resumen de duraciones de alternativas optimizadas

ALTERNATIVAS	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Cyprus	472	01/08/2013	26/03/2015	460	01/08/2013	11/03/2015
Cyprus - alternativa 1	568	01/08/2013	30/07/2015	554	01/08/2013	13/07/2015
Cyprus - alternativa 2	452	01/08/2013	02/03/2015	447	01/08/2013	24/02/2015
Cyprus - alternativa 3	528	01/08/2013	10/06/2015	514	01/08/2013	23/05/2015

Las programaciones detalladas de la programación del proyecto Cyprus y las tres alternativas más que se realizaron según los criterios que se manejan en la obra, se presentan en la Tabla 17, Tabla 18, Tabla 19 y Tabla 20. Y visualizadas en la línea de balance en la Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20

Tabla 17. Programación de Cyprus optimizada

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	472	01/08/2013	26/03/2015	460	01/08/2013	11/03/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	411	10/09/2013	19/02/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	76	10/09/2013	11/12/2013	74	05/09/2013	03/12/2013

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	13/12/2013	27/03/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	27/03/2014	21/04/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	08/04/2014	23/09/2014	80	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	21/04/2014	04/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	06/10/2014	18/10/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	20/10/2014	31/10/2014	10	08/10/2014	21/10/2014
Inst. ascensor	88	22/10/2014	19/02/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	255	09/05/2014	26/03/2015	249	02/05/2014	11/03/2015
Mampostería	150	09/05/2014	10/11/2014	130	02/05/2014	08/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	10/05/2014	19/11/2014	150	02/05/2014	31/10/2014
Resanes	158	17/05/2014	27/11/2014	152	09/05/2014	10/11/2014
Enchape de baños	149	21/06/2014	23/12/2014	157	13/06/2014	24/12/2014
Revoque de apartamentos	133	21/06/2014	03/12/2014	106	05/07/2014	11/11/2014
Estuco y primera mano de pintura	124	10/07/2014	09/12/2014	105	14/07/2014	18/11/2014
Estructura de cielo falso	59	15/09/2014	11/12/2014	50	08/09/2014	20/11/2014
Revoque de punto fijo	67	20/09/2014	12/12/2014	57	12/09/2014	20/11/2014
Vaciado de mortero	65	06/10/2014	06/01/2015	55	26/09/2014	03/12/2014
Estuco punto fijo	68	25/09/2014	17/12/2014	57	16/09/2014	25/11/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	49	30/10/2014	10/01/2015	40	22/10/2014	11/12/2014
Instalación de ventanas	77	03/09/2014	05/12/2014	73	19/08/2014	14/11/2014
Emplacada de apartamentos	59	24/10/2014	19/01/2015	50	15/10/2014	16/12/2014
Encintada y masillada de cielos	52	08/11/2014	23/01/2015	49	22/10/2014	23/12/2014
2da mano de pintura	99	14/11/2014	26/03/2015	84	28/10/2014	19/02/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	11/12/2014	06/01/2015	12	20/11/2014	04/12/2014
Detallada de cielo falso	51	20/11/2014	02/02/2015	49	01/11/2014	13/01/2015
Instalación madera laminada	53	29/11/2014	13/02/2015	45	14/11/2014	21/01/2015
Instalación de puertas	48	29/11/2014	07/02/2015	46	11/11/2014	19/01/2015
Instalación de closets	72	09/12/2014	16/03/2015	69	24/11/2014	26/02/2015
Instalación de zócalo	40	16/12/2014	13/02/2015	38	27/11/2014	23/01/2015
Inst. de aparatos eléctricos	48	06/01/2015	04/03/2015	46	06/12/2014	12/02/2015
Acabado de pintura	58	06/01/2015	16/03/2015	49	06/12/2014	16/02/2015
Lavada y pintura fachada	53	06/10/2014	10/12/2014	50	18/09/2014	20/11/2014
Detallada carpintería madera	36	20/12/2014	12/02/2015	34	01/12/2014	23/01/2015
Aseo final	40	31/01/2015	19/03/2015	38	24/12/2014	19/02/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	24/12/2014	26/03/2015	72	04/12/2014	11/03/2015
Instalación de muebles de cocina	71	06/12/2014	13/03/2015	67	24/11/2014	24/02/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Instalación de mesón	71	15/12/2014	20/03/2015	67	01/12/2014	03/03/2015
Hidrófugo fachada	23	12/11/2014	11/12/2014	22	24/10/2014	20/11/2014
Entrega planeación	31	16/02/2015	25/03/2015	29	21/01/2015	24/02/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	10/02/2015	26/03/2015	35	27/01/2015	09/03/2015
Entregas área comercial	37	09/02/2015	25/03/2015	35	15/01/2015	25/02/2015
Revisión retie	0	04/03/2015	04/03/2015	0	12/02/2015	12/02/2015

Tabla 18. Programación de Cyprus optimizada - Alternativa 1

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	568	01/08/2013	30/07/2015	554	01/08/2013	13/07/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	411	10/09/2013	19/02/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	76	10/09/2013	11/12/2013	74	05/09/2013	03/12/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	13/12/2013	27/03/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	27/03/2014	21/04/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	08/04/2014	23/09/2014	80	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	21/04/2014	04/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	06/10/2014	18/10/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	20/10/2014	31/10/2014	10	08/10/2014	21/10/2014
Inst. ascensor	88	22/10/2014	19/02/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	229	04/10/2014	30/07/2015	226	22/09/2014	13/07/2015
Mampostería	83	04/10/2014	27/01/2015	83	22/09/2014	14/01/2015
Inst. eléctrica, gas, desagües	52	10/11/2014	24/01/2015	50	27/10/2014	08/01/2015
Resanes	79	18/11/2014	04/03/2015	76	04/11/2014	14/02/2015
Enchape de baños	90	21/11/2014	19/03/2015	95	07/11/2014	12/03/2015
Revoque de apartamentos	80	21/11/2014	09/03/2015	64	07/11/2014	04/02/2015
Estuco y primera mano de pintura	83	27/11/2014	17/03/2015	70	13/11/2014	17/02/2015
Estructura de cielo falso	59	09/01/2015	21/03/2015	50	13/12/2014	23/02/2015
Revoque de punto fijo	67	17/12/2014	18/03/2015	57	27/11/2014	16/02/2015
Vaciado de mortero	65	23/01/2015	17/04/2015	55	06/01/2015	12/03/2015
Estuco punto fijo	68	20/12/2014	24/03/2015	57	01/12/2014	20/02/2015
Instalación porcelanato y tableta balcón	49	20/02/2015	27/04/2015	40	03/02/2015	21/03/2015
Instalación de ventanas	77	29/11/2014	13/03/2015	73	13/11/2014	20/02/2015
Emplacada de apartamentos	37	07/03/2015	28/04/2015	31	16/02/2015	25/03/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Encintada y masillada de cielos	52	13/03/2015	23/05/2015	49	23/02/2015	29/04/2015
2da mano de pintura	83	19/03/2015	08/07/2015	70	02/03/2015	01/06/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	14/03/2015	06/04/2015	12	16/02/2015	02/03/2015
Detallada de cielo falso	51	25/03/2015	02/06/2015	49	04/03/2015	09/05/2015
Instalación madera laminada	53	10/04/2015	13/06/2015	45	17/03/2015	20/05/2015
Instalación de puertas	48	10/04/2015	09/06/2015	46	14/03/2015	16/05/2015
Instalación de closets	72	20/04/2015	18/07/2015	69	26/03/2015	25/06/2015
Instalación de zócalo	40	24/04/2015	13/06/2015	38	07/04/2015	22/05/2015
Inst. de aparatos eléctricos	48	02/05/2015	02/07/2015	46	09/04/2015	04/06/2015
Acabado de pintura	58	04/05/2015	15/07/2015	49	16/04/2015	17/06/2015
Lavada y pintura fachada	53	21/01/2015	25/03/2015	50	22/12/2014	03/03/2015
Detallada carpintería madera	36	29/04/2015	12/06/2015	34	10/04/2015	22/05/2015
Aseo final	40	29/05/2015	18/07/2015	38	04/05/2015	20/06/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	02/05/2015	25/07/2015	72	15/04/2015	13/07/2015
Instalación de muebles de cocina	71	18/04/2015	16/07/2015	67	25/03/2015	23/06/2015
Instalación de mesón	71	25/04/2015	24/07/2015	67	08/04/2015	01/07/2015
Hidrófugo fachada	23	26/02/2015	26/03/2015	22	07/02/2015	04/03/2015
Entrega planeación	31	20/03/2015	05/05/2015	29	23/02/2015	06/04/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	13/06/2015	30/07/2015	35	23/05/2015	07/07/2015
Entregas área comercial	37	06/06/2015	24/07/2015	35	13/05/2015	26/06/2015
Revisión retie	0	02/07/2015	02/07/2015	0	04/06/2015	04/06/2015

Tabla 19. Programación de Cyprus optimizada - Alternativa 2

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	452	01/08/2013	02/03/2015	447	01/08/2013	24/02/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	411	10/09/2013	19/02/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	76	10/09/2013	11/12/2013	74	05/09/2013	03/12/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	13/12/2013	27/03/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	27/03/2014	21/04/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	08/04/2014	23/09/2014	80	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	21/04/2014	04/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	06/10/2014	18/10/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	20/10/2014	31/10/2014	10	08/10/2014	21/10/2014

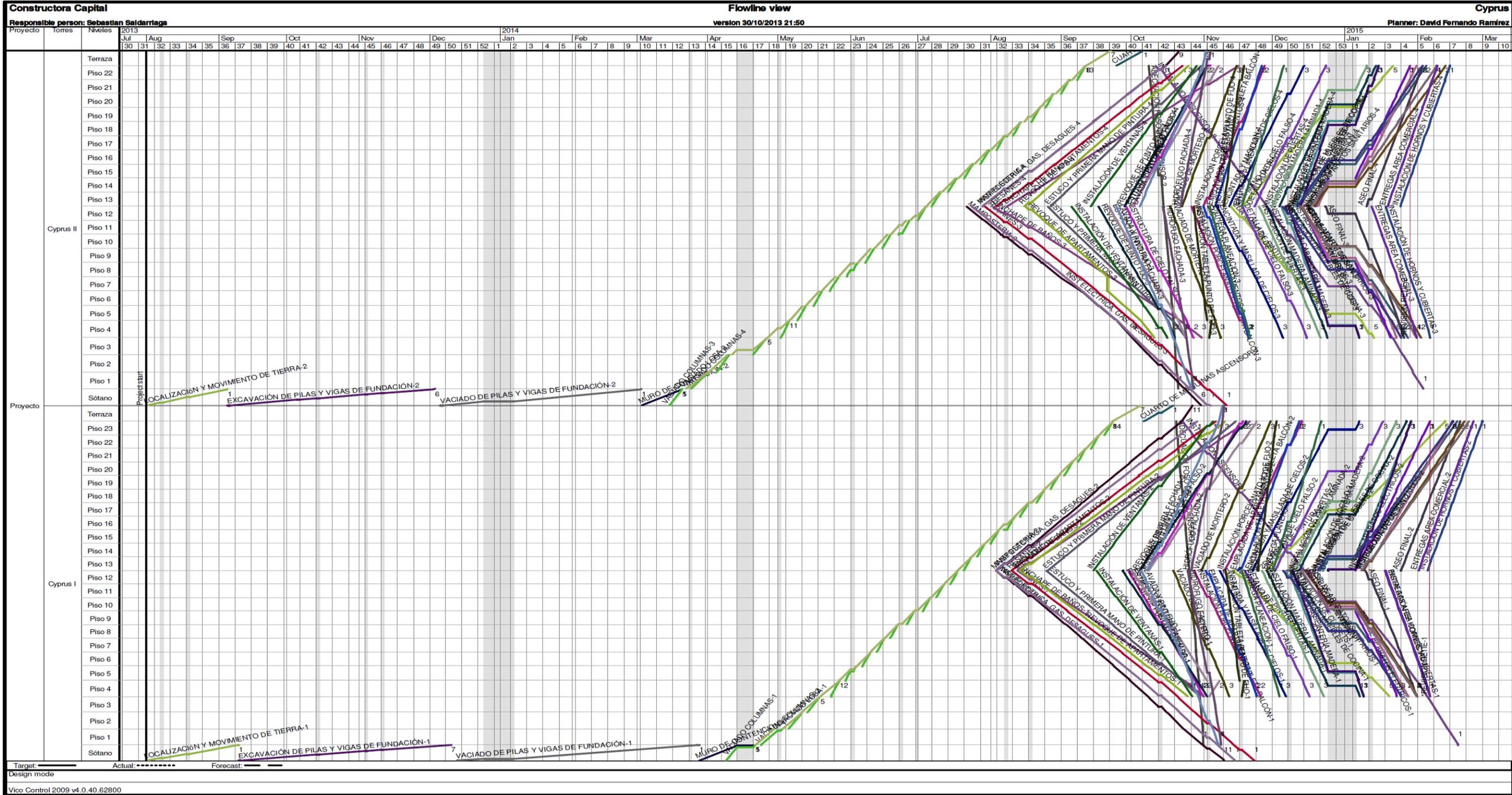
ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Inst. ascensor	88	22/10/2014	19/02/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	165	02/08/2014	02/03/2015	171	21/07/2014	24/02/2015
Mampostería	150	02/08/2014	10/11/2014	131	21/07/2014	18/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	02/08/2014	14/11/2014	150	21/07/2014	31/10/2014
Resanes	158	09/08/2014	22/11/2014	152	28/07/2014	08/11/2014
Enchape de baños	149	12/08/2014	20/11/2014	158	31/07/2014	26/11/2014
Revoque de apartamentos	133	13/08/2014	10/11/2014	106	14/08/2014	01/11/2014
Estuco y primera mano de pintura	124	25/08/2014	14/11/2014	105	23/08/2014	10/11/2014
Estructura de cielo falso	59	29/09/2014	18/11/2014	50	26/09/2014	12/11/2014
Revoque de punto fijo	67	26/09/2014	19/11/2014	57	15/09/2014	10/11/2014
Vaciado de mortero	43	18/10/2014	29/11/2014	37	16/10/2014	24/11/2014
Estuco punto fijo	68	01/10/2014	24/11/2014	57	19/09/2014	14/11/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	49	28/10/2014	13/12/2014	40	25/10/2014	04/12/2014
Instalación de ventanas	77	13/09/2014	05/11/2014	73	03/09/2014	07/11/2014
Emplacada de apartamentos	37	01/11/2014	12/12/2014	31	30/10/2014	05/12/2014
Encintada y masillada de cielos	52	07/11/2014	07/01/2015	49	05/11/2014	23/12/2014
2da mano de pintura	99	13/11/2014	13/02/2015	84	11/11/2014	30/01/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	11/11/2014	02/12/2014	12	27/10/2014	24/11/2014
Detallada de cielo falso	51	19/11/2014	17/01/2015	48	15/11/2014	13/01/2015
Instalación madera laminada	53	28/11/2014	28/01/2015	45	27/11/2014	21/01/2015
Instalación de puertas	48	26/11/2014	23/01/2015	46	24/11/2014	19/01/2015
Instalación de closets	72	09/12/2014	18/02/2015	69	05/12/2014	14/02/2015
Instalación de zócalo	40	06/12/2014	29/01/2015	38	04/12/2014	23/01/2015
Inst. de aparatos eléctricos	48	16/12/2014	06/02/2015	46	13/12/2014	04/02/2015
Acabado de pintura	58	16/12/2014	16/02/2015	49	13/12/2014	05/02/2015
Lavada y pintura fachada	53	04/10/2014	08/11/2014	50	22/09/2014	12/11/2014
Detallada carpintería madera	36	09/12/2014	29/01/2015	34	05/12/2014	23/01/2015
Aseo final	40	09/01/2015	19/02/2015	38	23/12/2014	09/02/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	15/12/2014	21/02/2015	72	11/12/2014	18/02/2015
Instalación de muebles de cocina	71	05/12/2014	17/02/2015	67	03/12/2014	12/02/2015
Instalación de mesón	71	12/12/2014	24/02/2015	67	10/12/2014	18/02/2015
Hidrófugo fachada	22	24/10/2014	10/11/2014	22	11/10/2014	12/11/2014
Entrega planeación	31	18/11/2014	22/12/2014	29	04/11/2014	12/12/2014
Instalación de hornos y cubiertas	37	19/01/2015	02/03/2015	35	15/01/2015	24/02/2015
Entregas área comercial	37	17/01/2015	25/02/2015	35	10/01/2015	14/02/2015
Revisión retie	0	06/02/2015	06/02/2015	0	04/02/2015	04/02/2015

Tabla 20. Programación de Cyprus optimizada - Alternativa 3

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
CYPRUS	528	01/08/2013	10/06/2015	514	01/08/2013	23/05/2015
LOCALIZACION Y MOVIMIENTO DE TIERRA	32	01/08/2013	10/09/2013	28	01/08/2013	05/09/2013
ESTRUCTURA CYPRUS	411	10/09/2013	19/02/2015	402	05/09/2013	04/02/2015
Excavación de pilas y vigas de fundación	76	10/09/2013	11/12/2013	74	05/09/2013	03/12/2013
Vaciado de pilas y vigas de fundación	78	13/12/2013	27/03/2014	64	05/12/2013	03/03/2014
Muro de contención	15	27/03/2014	21/04/2014	15	03/03/2014	20/03/2014
Vaciado columnas	81	08/04/2014	23/09/2014	81	14/03/2014	11/09/2014
Vaciado losa	135	21/04/2014	04/10/2014	126	22/03/2014	22/09/2014
Cuarto de máquinas ascensor	10	06/10/2014	18/10/2014	10	24/09/2014	06/10/2014
Adecuación foso ascensor	10	20/10/2014	31/10/2014	10	08/10/2014	21/10/2014
Inst. ascensor	88	22/10/2014	19/02/2015	84	10/10/2014	04/02/2015
ACABADOS CYPRUS	311	09/05/2014	10/06/2015	303	02/05/2014	23/05/2015
Mampostería	150	09/05/2014	10/11/2014	130	02/05/2014	08/10/2014
Inst. eléctrica, gas, desagües	156	10/05/2014	19/11/2014	150	02/05/2014	31/10/2014
Resanes	158	17/05/2014	27/11/2014	152	09/05/2014	10/11/2014
Enchape de baños	149	21/06/2014	23/12/2014	157	13/06/2014	24/12/2014
Revoque de apartamentos	133	21/06/2014	03/12/2014	106	05/07/2014	11/11/2014
Estuco y primera mano de pintura	124	10/07/2014	09/12/2014	105	14/07/2014	18/11/2014
Estructura de cielo falso	59	29/09/2014	11/12/2014	50	19/09/2014	20/11/2014
Revoque de punto fijo	67	20/09/2014	12/12/2014	57	12/09/2014	20/11/2014
Vaciado de mortero	43	20/12/2014	23/02/2015	37	29/11/2014	26/01/2015
Estuco punto fijo	68	25/09/2014	17/12/2014	57	16/09/2014	25/11/2014
Instalación porcelanato y tableta balcón	49	09/01/2015	10/03/2015	40	10/12/2014	07/02/2015
Instalación de ventanas	77	03/09/2014	05/12/2014	73	19/08/2014	14/11/2014
Emplacada de apartamentos	37	21/01/2015	06/03/2015	31	19/12/2014	06/02/2015
Encintada y masillada de cielos	52	27/01/2015	06/04/2015	49	06/01/2015	05/03/2015
2da mano de pintura	99	02/02/2015	09/06/2015	84	13/01/2015	28/04/2015
Instalación tableta punto de fijo	12	06/01/2015	21/01/2015	12	03/12/2014	18/12/2014
Detallada de cielo falso	51	06/02/2015	15/04/2015	49	16/01/2015	14/03/2015
Instalación madera laminada	53	16/02/2015	25/04/2015	45	29/01/2015	25/03/2015
Instalación de puertas	48	16/02/2015	21/04/2015	46	27/01/2015	21/03/2015
Instalación de closets	72	25/02/2015	30/05/2015	69	09/02/2015	08/05/2015
Instalación de zócalo	40	03/03/2015	25/04/2015	38	11/02/2015	27/03/2015
Inst. de aparatos eléctricos	48	12/03/2015	16/05/2015	46	18/02/2015	21/04/2015
Acabado de pintura	58	12/03/2015	29/05/2015	49	20/02/2015	27/04/2015

ACTIVIDADES	TORRE 1			TORRE 2		
	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN	DURACIÓN [días]	FECHA INICIO	FECHA FIN
Lavada y pintura fachada	53	04/12/2014	17/02/2015	50	13/11/2014	26/01/2015
Detallada carpintería madera	36	06/03/2015	25/04/2015	34	14/02/2015	27/03/2015
Aseo final	40	13/04/2015	01/06/2015	38	09/03/2015	30/04/2015
Inst. de aparatos sanitarios	67	11/03/2015	09/06/2015	72	19/02/2015	23/05/2015
Instalación de muebles de cocina	71	24/02/2015	28/05/2015	67	06/02/2015	05/05/2015
Instalación de mesón	71	03/03/2015	04/06/2015	67	13/02/2015	12/05/2015
Hidrófugo fachada	23	22/01/2015	18/02/2015	22	19/12/2014	27/01/2015
Entrega planeación	31	13/01/2015	17/02/2015	29	10/12/2014	26/01/2015
Instalación de hornos y cubiertas	37	24/04/2015	10/06/2015	35	28/03/2015	16/05/2015
Entregas área comercial	37	22/04/2015	06/06/2015	35	17/03/2015	07/05/2015
Revisión retie	0	16/05/2015	16/05/2015	0	21/04/2015	21/04/2015

Figura 19. Programación de Cyprus Optimizada - Alternativa 2



De las gráficas anteriores, se observa que la programación de la alternativa 2 es la que se finaliza en el menor tiempo y la que sigue en eficiencia es la programación que tiene la secuencia original planteada por CAPITAL, que finaliza 20 días después; cabe aclarar que la alternativa 2, al tener unos frentes de los pisos superiores hacia los pisos inferiores y, otros frentes de los pisos inferiores hacia los superiores, requiere el doble de recursos y debe tener una mayor logística.

Según los datos de la obra, los gastos generales mensuales (director, residente, maestros, almacenista, servicios, instalaciones provisionales, herramientas menores) son de \$50.000.000; y los costos adicionales en los que se incurría al duplicar las cuadrillas son de \$30.000.000, debido al aumento del personal de logística, de los recursos para el transporte vertical y de los servicios públicos.

Para la alternativa 2, se tendría un incremento aproximado de \$210.000.000 debido a que las tareas que requieren el doble de recursos durarían aproximadamente 7 meses; en cambio, la alternativa original duraría 20 días más, lo cual tendría un costo aproximado de \$50.000.000.

7 CONCLUSIONES

Al implementar el LBMS en el proyecto Cyprus, se concluye que a)son ciertos los planteamientos de los diferentes autores cuando expresan que el nivel de desglose y homogeneidad en el volumen de trabajo es lo que le da carácter de repetitivo al proyecto, b) que el LBMS tiene las ventajas en relación a los métodos basados en actividades, tales como: la visualización de los grupos de actividades en los diferentes lugares de trabajo en un documento más sencillo, detallado y fácil de interpretar; la visualización de la secuencia constructiva; el uso continuo de los recursos y el flujo continuo de las cuadrillas de trabajo.

En la línea de balance se visualiza las actividades (¿Qué?), el tiempo de inicio y de finalización (¿Cuándo?), la localización (¿Dónde?) y, además el ritmo de trabajo al cual deben ser realizadas las actividades. En comparación con el CPM, en el cual solo es posible visualizar las actividades (¿Qué?) y, el tiempo de inicio y de finalización (¿Cuándo?).

Con la implementación del LBMS se logra:

- Eliminar interferencias y conflictos entre actividades en lugares específicos
- Corregir las incongruencias constructivas en actividades en lugares específicos
- Disminuir los tiempos de holgura entre actividades en lugares específicos
- Optimizar el flujo continuo de las cuadrillas específicamente en las actividades “Acabados”

Al hacer una evaluación a través de la optimización de 4 opciones de programación teniendo en cuenta las secuencias del método constructivo del proyecto (Programación original y 3 alternativas) se ha logrado concluir que la mejor alternativa, desde punto de vista funcional y de orden de obra, para este proyecto fue la programación original de construir de los pisos inferiores a los pisos superiores, debido a que el tiempo que se lograría disminuir no se justifica frente a la alternativa 2.. Lo anterior se hace evidente al comprobar que la reducción de los gastos generales en la alternativa 2, no supe los gastos en que se incurriría para el uso del doble de recursos.

A la luz de la experiencia en este proyecto se hace posible afirmar que en cada proyecto, al ser único, no se puede descartar ninguna de las alternativas y se debe buscar la mejor de acuerdo a las restricciones de los límites del tiempo de entrega, toda vez que, para el caso concreto de Cyprus, si al alternativa 2 lograra una reducción mayor a 3 meses sería la mejor opción ya que la reducción de los gastos generales superaría los costos en que se incurre al usar el doble de recursos.

8 BIBLIOGRAFÍA

ANDERSSON, Niclas y CHRISTENSEN, Knud. Practical implications of Location-Based Scheduling. En : Construction Management and Economics: past, present and future (2007).

ANDREWS, Chris. et al. Line of Balance Analysis of the New WPI Residence Hall. Worcester, 2008, 68 p. A Major Qualifying Project (Bachelor of Science).

BOTERO BOTERO, Luis Fernando y ACEVEDO AGUDELO, Harlem. Simulación de operaciones y línea de balance: herramientas integradas para la toma de decisiones. En : Ingeniería y Ciencia. Vol. 7, No. 13 (enero-junio, 2011); p. 29-45

BÜCHMANN-SLORUP, Rolf. Criticality in Location-Based Management of Construction. (2012). Tesis Doctoral. MT Hojgaard A/SMT Hojgaard A/S.

CAPUZ RIZO, Salvador. Gestión de Proyectos. En : CAPUZ RIZO, Salvador. et al. Cuaderno de Ingeniería de Proyectos III : Dirección, Gestión y Organización de Proyectos. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia, 2000. p. 25-46.

KALA, Tanmaya; MOUFLARD, Christopher y SEPPÄNEN, Olli. . Production control using location-based management system on a hospital construction project. En : Proceedings for the 20th Annual Conference of the International Group for Lean Construction (s.f.)

KENLEY, Russell y SEPPÄNEN, Olli. Location-Based Management for Construction. 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon : Spon Press, 2010. 554 p.

KENLEY, Russell y SEPPÄNEN, Olli. Location-based management of construction projects: part of a new typology for project scheduling methodologies. En : Winter Simulation Conference. Winter Simulation Conference, (2009). p. 2563-2570.

KELLEY JR, James E; WALKER, Morgan R. Critical-path planning and scheduling. En : Papers presented at the December 1-3, 1959, eastern joint IRE-AIEE-ACM computer conference. ACM, (1959) p. 160-173.

LORÍA ARCILA, José Humberto. Programación de obras con la técnica de la línea de balance. México : Academia de Ingeniería A.C., s.f. 45 p.

MALCOLM, Donald G., et al. Application of a technique for research and development program evaluation. Operations research (1959), vol. 7, no 5, p. 646-669.

MÉNDEZ ÁLVAREZ, Carlos Eduardo. Metodología. Guía para elaborar diseños de investigación en ciencias económicas, contables y administrativas. Bogotá D.C : Mc Graw Hill Latinoamericana, 1988. 129 p.

ORIHUELA, Pablo y ESTEBES Delfín. Aplicación del método de la línea de balance a la planificación maestra. En : ELAGEC. Encuentro Latinoamericano de Gestión y Economía de la Construcción, Cancún : (2013); 29 p.

SEPPÄNEN, Olli y AALTO, Erno. A case study of line-of-balance based schedule planning and control system. En : 13th Annual conference of Lean Construction. (2005); p. 271-279.

SEPPÄNEN, Olli; BALLARD, Glen y PESONEN, Sakari. The combination of Last Planner System and Location-Based Management System. En : Lean Construction Journal, Haifa : (Julio, 2010); p. 53-54.

SOINI, Mika; LESKELÄ, Ilkka y SEPPÄNEN, Olli. Implementation of line-of-balance based scheduling and project control system in a large construction company. En : 12th Annual conference of Lean Construction. (2004); p. 1-11.

TORO JARAMILLO, Iván Darío y PARRA RAMÍREZ, Rubén Darío. Método y conocimiento. Metodología de la investigación. Medellín:Fondo editorial Universidad Eafit, 2006. 387 p.

ANEXOS

ANEXO A MANUAL DE USUARIO DE VICO CONTROL