

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ESTIMACIÓN DEL PLAZO DE LA ESTRUCTURA DE UNA OBRA
DE EDIFICACIÓN EN BASE AL SEGUIMIENTO DE LA
PROGRAMACIÓN MAESTRA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Luis Carlos Arce Tord

ASESOR:

Ing. Pablo Orihuela Astupinaro

Lima, junio, 2024

Informe de Similitud

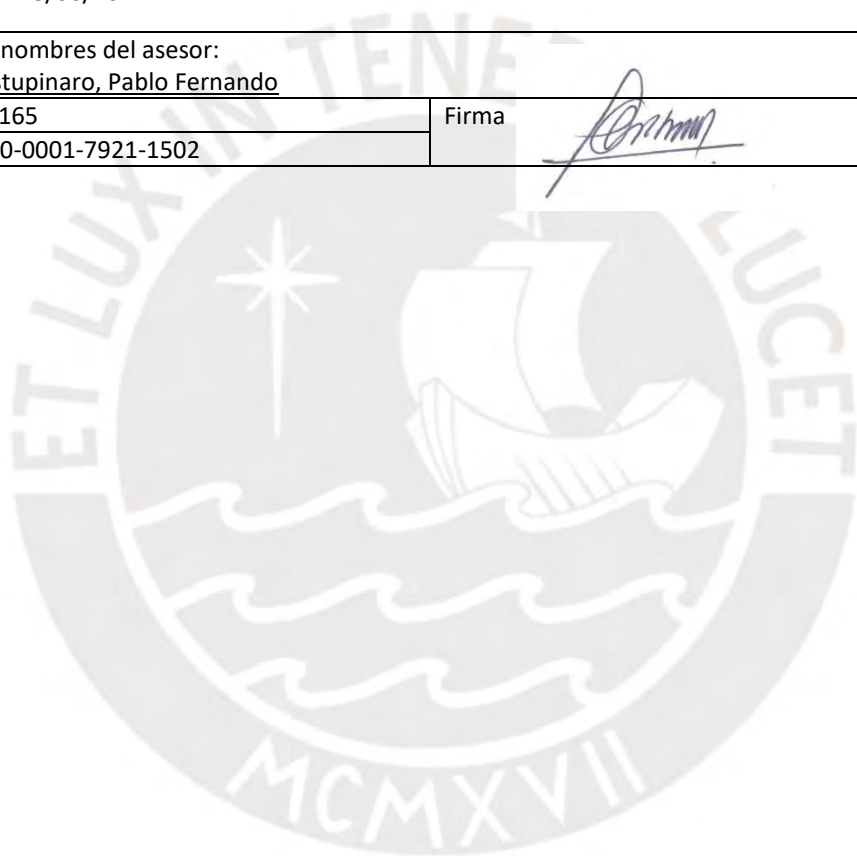
Yo, Pablo Fernando Orihuela Astupinaro, docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú, asesor de la tesis de investigación titulado "Estimación del Plazo de Obra en base al seguimiento de la Programación Maestra en Proyectos de Edificación".

Del autor Luis Carlos Arce Tord dejo constancia de lo siguiente:

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud de 9%. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software *Turnitin* el 11/06/2024.
- He revisado con detalle dicho reporte y la Tesis y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las pautas académicas.

Lugar y fecha: 18/06/2024

Apellidos y nombres del asesor: <u>Orihuela Astupinaro, Pablo Fernando</u>	
DNI: 07186165	Firma 
ORCID: 0000-0001-7921-1502	



Resumen

En el sector de construcción, se vuelve necesario el uso de un plan de gestión eficiente en donde se perciban resultados satisfactorios. El uso de sistemas nuevos de planificación en constructoras es aún poco frecuente en Perú, por lo que se vuelve importante visibilizar las herramientas de estos a partir de sus resultados.

La presente tesis tiene como primera hipótesis que el seguimiento del avance de diversas obras de edificación permite estimar las Partidas Maestras y el plazo de obra, y luego presentarse con el uso de Líneas de Flujo en la Programación Maestra. Como segunda hipótesis que la tendencia de las Líneas de Flujo en la Programación Maestra de proyectos de edificación similares permite obtener patrones homogeneizados basados en experiencia de procesos constructivos.

Existen diversos autores que presentan las ventajas en el uso de Líneas de Flujo para la programación de un proyecto de construcción. Así mismo, algunos autores sustentan que para el uso de Líneas de Flujo en la Programación Maestra se requiere de experiencia. Este sustento apertura la búsqueda de la experiencia para poder llegar a conclusiones.

Como conclusión del presente estudio se deduce que al realizar el seguimiento del avance de diversas obras de edificación se puede estimar las partidas maestras y, de este modo, el plazo general de una obra. La situación mencionada permitió que se pueda manifestar, con el uso de Líneas de Flujo, la Programación Maestra de proyectos de edificación típicos en Lima.

Dedicatoria

En el camino para la presentación del presente documento pase por varias etapas de mi vida, en compañía de personas que significan mucho. Gracias por la motivación en cada instante a publicar el estudio, por más complicada que estén las cosas. Gracias por adecuar el espacio, acompañarme para llegar a mis objetivos, por decirme una y otra vez que lo puedo todo, por la fidelidad y el compromiso.

Quisiera agradecer las enseñanzas y la apuesta de este estudio al Ing. Pablo Orihuela. Gracias por la compañía de ir puliendo la tesis, por confiar en mis capacidades y motivarme a la presentación de la tesis. El apasionamiento que demuestra por el conocimiento fue un gran aliciente para convencerme de que estaba construyéndose un aporte para el sector.

Agradecimientos especiales para mi familia: a Aria, mi hija perruna, por estar echada a mi costado las noches en las que iba redactando e investigando; Carlos Eduardo, por estar presente en los días de semana por la noche trabajando, y yo, imitando su esfuerzo por el trabajo; Carla, por saber cómo aconsejarme, darme mis espacios y cumplir el rol de hermana mayor de la mejor manera. A mi papá por los momentos de risas, los recuerdo y me quedo con ellos.

El mayor agradecimiento y el pilar de mis acciones es para mi mamá. Nunca podré cuantificar el amor, gratitud, y admiración que le tengo y estoy seguro no habrá persona en este planeta que pueda jamás superar tu fortaleza, nobleza, inteligencia y dedicación. Cada uno de los objetivos que voy cumpliendo en la vida están dedicados a ti y gracias a ti. Estamos juntos hoy y los estaremos siempre.

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Introducción general	1
1.2 Hipótesis y objetivos	2
1.3 Metodología	3
Capítulo 2: Marco teórico	4
2.1 Técnicas y métodos tradicionales de programación	4
2.1.1 Métodos de diagramas de Barras de Gantt	4
2.1.2 Métodos de red de diagramas de flechas	6
2.1.3 Métodos de red orientada a los nodos	9
2.2 Lean Construction	12
2.2.1 Sistema <i>Last Planner</i>	13
2.2.2 Programación Maestra según <i>Last Planner</i>	14
2.3 Líneas de Balance y Líneas de Flujo	16
2.3.1 Definición	16
2.3.2 Alcance	17
2.3.3 Ventajas	18
2.3.4 Desventajas	19
2.4 Aplicación de Líneas de Flujo en la Programación Maestra	20
Capítulo 3: Planteamiento de estudio	24
3.1 Tipología de obras	24
3.2 Selección de hitos	25
3.3 Toma de información	29
3.4 Estimación de duración	34
Capítulo 4: Resultados y análisis	37
4.1 Líneas de Flujo por proyecto	37
4.2 Líneas de Flujo por Partida Maestra	59
4.3 Cálculo de Cronograma Maestro	61
4.4 Discusión y análisis de resultados	90
Capítulo 5: Aplicación práctica de estudio	101
1. Diagramas de flecha: <i>Critical Path Method</i> (CPM)	101
2. Líneas de Flujo	103
Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones	104
Capítulo 7: Referencias bibliográficas	111
Anexos	114

Capítulo 1: Introducción

1.1 Introducción general

En la gestión de proyectos de edificación existen varios métodos y herramientas para planificar de la manera más adecuada. La mayoría de las empresas formales en el Perú hacen uso de diversos sistemas de planificación para optimizar el resultado de su producto. El desenvolvimiento del sector construcción en el país depende de qué tan satisfactorio sean los productos brindados al mercado y de la calificación que es otorgada por el demandante de lo que recibe. Para garantizar el éxito en los proyectos de edificación se vuelve necesario el uso de un plan de gestión eficiente en donde se perciban resultados satisfactorios, tal como se emplea en muchos países del mundo.

En el rubro de la construcción, varios proyectos evitan utilizar sistemas nuevos de planificación dada la falta de experiencia. La mayoría de estos prefieren continuar con el uso de una Programación Maestra apoyada en el Método del Camino Crítico (CPM), aunque ya algunas empresas han incluido el uso de un nuevo método llamado Sistema de Planificación Basado en Localización (LBMS). La dificultad con el uso del LBMS en la Programación Maestra radica en que se requiere de experiencia para definir la duración entre los hitos. Por este motivo, es necesario establecer algunos criterios prácticos para instaurar las pendientes en Líneas de Flujo en la Programación General. De esta forma, se podrá reflejar lo que realmente sucede en la práctica de los procesos constructivos y se asegurar una planificación con respaldo técnico.

En el presente trabajo se aplican las Líneas de Flujo, alternativa que se viene usando con resultados óptimos en las mejores empresas del mundo. Esta herramienta se empleará en la Programación Maestra de tal modo que se pueda poner en evidencia las ventajas de su uso. Además, bajo el estudio de plazo de obra de diversos proyectos de edificación, se identificarán los proyectos que tengan retrasos y se encontrarán las causas que lleven a tal situación.

Flowline es un término acuñado por Mohr (1979), la Línea de Flujo consiste en un método derivado de la Línea de Balance; sin embargo, la actividad se representa mediante una sola línea, que Kenley y Seppänen (2010) consideran una representación mucho más limpia que la Línea de Balance (Yucra, A. 2022)

1.2 Hipótesis y objetivos

Para el presente proyecto se plantean dos hipótesis:

- El seguimiento del avance de diversas obras de edificación permite la estimación de las Partidas Maestras y del plazo de obra, de tal modo que esto se pueda manifestar con el uso de Líneas de Flujo en la Programación Maestra.
- La tendencia de las Líneas de Flujo en la Programación Maestra de proyectos de edificación similares permite obtener patrones homogeneizados basados en la experiencia de los procesos constructivos.

Por otro lado, el objetivo general del proyecto es encontrar algunas tendencias en la conformación de las Líneas de Flujo en la Programación Maestra de los proyectos de edificación de características similares, mediante el seguimiento de edificaciones en construcción. Esto se logra con objetivos específicos:

- Estudiar el logro de los hitos principales en obras de edificación: lograr lo anterior al hacer el seguimiento de los avances de obra y registrar 4 hitos en obras en el distrito de Lima con características similares para que sean comparables en una escala de tiempo y lugar.
- Expresar la velocidad de avance de las partidas maestras en tiempo y espacio: con la información obtenida del objetivo anterior realizar un análisis estadístico básico de tal modo que se pueda estimar de forma aproximada el plazo de obra con el uso de Líneas de Flujo

1.3 Metodología

Para la presente investigación se hace el estudio de 28 proyectos de edificios de concreto armado en Lima, de cimentación superficial y con construcción de sótanos. La selección se hace de tal modo que se pueda tener acceso, por lo menos visual. En esta selección se identifican que hitos son factibles para registrar el avance de obra, los cuales son:

1. Excavación y sostenimiento
2. Cimentación e instalaciones enterradas
3. Pórtico inferior
4. Pórtico superior

No se consideraron las partidas maestras de los acabados porque esto implicaba ingresar a cada una de las obras y obtener información difícil de conseguir.

Los hitos se representan en la Programación Maestra con el uso de Líneas de Flujo.

Para realizar el seguimiento se usará un formato en donde se incluye información de la constructora, ubicación de la obra, fecha de registro fotográfico y variables adicionales, como el área de terreno, el área de planta típica, el plano de cimentaciones, índices de uniformidad, índice de compacidad y particularidades del proyecto. Con el registro obtenido, se realiza un análisis estadístico con el cálculo de la media y la desviación estándar de los tiempos por hito para las distintas obras. Luego, se estudian las variables que generen dispersión en el análisis de tal modo que se encuentren los factores que afectan el tiempo.

Capítulo 2: Marco teórico

2.1 Técnicas y métodos tradicionales de programación

Dentro de la planificación existen diversos métodos para la programación de tareas a realizar en los proyectos de edificación. Los métodos tradicionales son los más conocidos por las empresas de construcción y, por lo tanto, los más usados en los proyectos. Métodos como el CPM, el PDM y el PERT se diseñaron para proporcionar elementos útiles de información del proyecto en cuestión. Las diferencias entre los métodos radican en la manera en que se estiman las duraciones de actividades (Loría, 2010).

A continuación, se hará una recapitulación de los métodos más desatcados en la programación de proyectos.

2.1.1 Métodos de diagramas de Barras de Gantt

El método de programación fue desarrollado por Henry Laurence Gantt (1919) durante la primera guerra mundial, en donde tuvo como asesor principal al jefe de logística del ejército norteamericano para poder llevar control de los pretrechos de guerra. El diagrama de barras de Gantt es un calendario lineal de doble entrada, en donde el tiempo se encuentra en el eje horizontal y el trabajo, tareas o actividades a realizar, están en el eje vertical. Este diagrama se puede definir desde la representación de un programa que consta de dos partes (Ver tabla 1):

1. Un listado de actividades ordenadas en forma secuencial (en la medida de lo posible) de acuerdo con la logística constructiva junto con un campo en donde se pone como encabezado los atributos más importantes de cada tarea (venta, horas hombre, peso, etc.)
2. Una gráfica que consta de una escala de tiempo con una barra de tiempo de inicio y fin definidos en cada renglón y que es colineal a cada actividad

Tabla 1 - Partes de un diagrama de Gantt

LISTA DE ACTIVIDADES			CARACTERÍSTICAS ACTIVIDADES					ESCALA TEMPORAL												Características
C	Descripción	Días	ES	EF	LS	LF	Ht	ABRIL 2001												Área gráfica
								1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
10	INICIO	0	0	0	0	0	0													
20	OBRAS PRELIMINARES	15	0	15	0	15	0													
30	MOVIMIENTO TIERRAS	28	5	33	5	33	0													
40	CIMENTACIONES	20	15	35	15	35	0													
45	INST. SANITARIAS	22	18	38	46	66	28													
50	MUROS Y COLUMNAS	26	17	39	17	39	0													
55	INST. ELECTRICAS	20	18	38	18	38	28													
60	TECHO	20	24	50	24	50	0													
70	REVESTIMIENTO	23	31	54	31	54	0													
80	ACABADOS	21	51	72	51	72	0													
90	FIN DE OBRA	0	72	72	72	7	0													

Fuente: (Rodríguez, 2006)

Dentro de las características del método se puede evaluar lo siguiente (Rodríguez, 2006):

- Implantación: solo se requiere a una o dos personas para capacitación de personal para operar, no hay problemas en la orientación y asesoramiento del método, la mayor parte de registros se mantienen al nivel del trabajo y no hay requisitos especiales.
- Seguimiento: la actualización se da a cargo de los supervisores (diaria o semanalmente) sin problemas, el control del proceso es bueno, se usa una hoja de cálculo o software como S10 y la presentación de resultados genera gráficos fácilmente analizables.
- Aplicabilidad en planificación: óptimo para el control de producción, usa la Estructura de Descomposición de Trabajo (EDT), buena flexibilidad en cuanto a autocorrección de retrasos y cálculos innecesarios, útil para asignar recursos y relación entre actividades.
- Información producida: la información resumida para la gestión es adecuada, pero algunos detalles requieren un análisis exhaustivo. Ineficaz para el control de proyectos investigación y desarrollo complicados.

En la actualidad, los métodos de diagrama de barras de Gantt se usan como una técnica fundamental de control. Existen diversos softwares como Microsoft Project, Primavera *Project Planner* o *Sure Track* en donde se usa el método para el sistema de programación y para el

control de obras. El método es de uso en la programación de primer nivel o Programa Maestro (planeamiento por hitos).

2.1.2 Métodos de red de diagramas de flechas

El método de diagrama de flechas en redes cerradas se caracteriza por tener un único origen y fin; además, todas las actividades están relacionadas. Este método comenzó a utilizarse con la finalidad de mejorar la planeación y programación del diseño y construcción de una fábrica química en Lousville, Kentucky (Estados Unidos) para la empresa Dupont. La técnica fue denominada Critical Path Planning and Scheduling (CPPS). Posteriormente, se unió el Dr. Jhon W. Mauchly para adaptar esta técnica a la computadora digital y, de esta forma, se adopta el nombre de *Critical Path Method* (CPM) o Método del Camino Crítico (Weaver, 2006).

Como lo explica Rodríguez (2001), el método consiste en una red orientada a flechas donde las actividades o tareas se representan por flechas adimensionales que tienen como límite el nodo de inicio de evento y el nodo de fin de evento (Ver figura 1 elaborada). Los nodos de evento de inicio y de evento de fin no tienen duración. Se define como red cerrada porque tiene un único origen y fin. La única relación existente entre las tareas es de inicio-fin; es decir, una actividad sucesora no se inicia hasta concluir la actividad precedente.

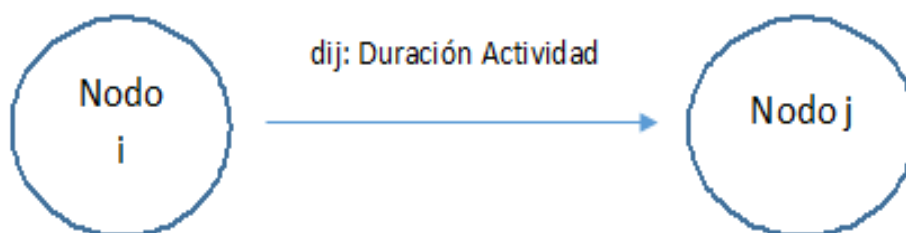


Figura 1 – Relaciones en el método de red de diagrama de flechas

Para desarrollar la red del CPM se requiere de un planeamiento estratégico en donde se definen las metas y objetivos. Luego, se elabora el planeamiento táctico (anticipar objetivos) desde la EDT. Seguido, se desarrolla el planeamiento operativo (objetivos a corto plazo) y se

hacen los metrados con el análisis de precios unitarios en función del planeamiento táctico. Más adelante, se cuantifican las tareas o actividades y se elabora una hoja de programación. Después, se elabora una matriz de lógica de la red en donde se ordenan los nodos de inicio y fin para luego ligar las tareas. Además, se define la duración de cada una de las tareas y se coloca la descripción de las actividades a desarrollar por cada una de ellas. Para finalizar, se desarrolla la red de flechas al emplear únicamente relaciones inicio-fin (Kelley & Walker, 1959).

Lo más importante al desarrollar la red CPM radica en elaborar la misma en base a la matriz lógica de la red. Además, es necesario verificar que toda tarea o actividad se definan por dos fechas de inicio y dos fechas de fin. Las dos fechas de inicio corresponden a la fecha inicial temprana y tardía, y las dos fechas de fin corresponden a la fecha final temprana y tardía. Al haber hecho esta distinción es posible que se pueda realizar una “marcha hacia adelante” y una “marcha hacia atrás” para definir la ruta crítica (Rodríguez, 2001).

La planificación mediante la metodología *Project Evaluation and Review Techniques* (PERT) o Técnica de Revisión y Evaluación de Programas supone que las duraciones de tareas son inciertas, sin que ello signifique que las duraciones estimadas sean falsas. Para cuantificar la incertidumbre para el plazo del proyecto, holguras y rutas parciales se emplean técnicas y principios probabilísticos. A cada actividad hay una asociación de incertidumbre con relación a la duración. La duración de todo un proyecto sería la duración más probable de una función de distribución desconocida (usualmente usada la curva normal). Por este motivo, se usan conceptos como tiempo medio esperado, varianza esperada, tiempo optimista, etc. (U.S. Department of the Navy, 1958)

Las ventajas que supone el método consisten en los buenos resultados que da en la práctica ya que es de buena utilidad en obras donde no se tiene referencia de rendimientos. La gran desventaja radica en la validez de su proceder ya que se define desde las duraciones estimadas. El tipo de duraciones estimadas (Ver figura 2) pueden ser aquellas catalogadas como: pesimistas, más probables y optimistas (Rodríguez, 2001).

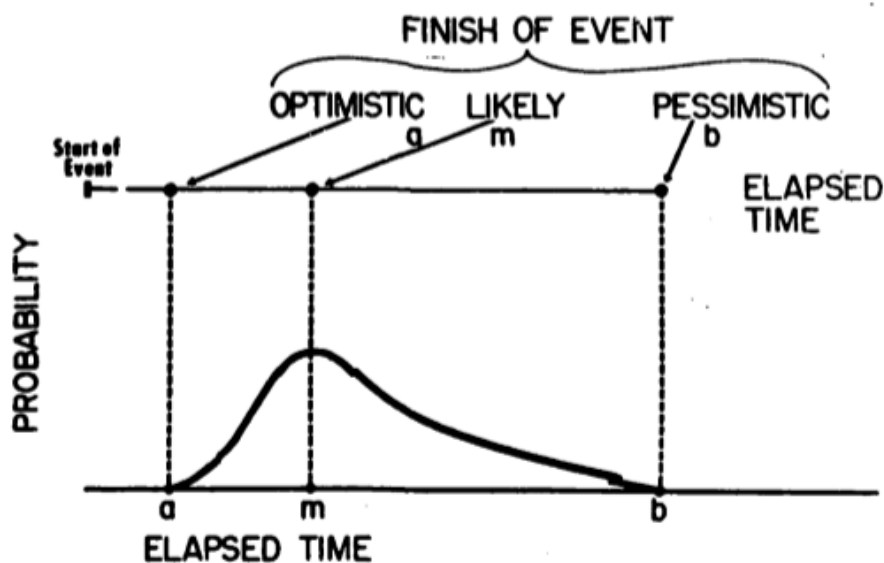


Figura 2 – Tipos de duraciones estimadas bajo distribuciones probabilísticas.

Fuente: (U.S. Department of the Navy, 1958)

Dentro de las características del método se puede evaluar lo siguiente (Rodríguez, 2006):

- **Implantación:** solo se requiere de tres o más personas calificadas para operar, se requiere una sencilla orientación y asesoramiento, el sistema de registro requerido es amplio y se requiere de asesoría especializada externa.
- **Seguimiento:** se requiere de considerable cantidad de datos procesados por computadora, el control del proceso es bueno, se usa una hoja de cálculo o software como S10 (*MS Project, Sure Track y Primavera Planner*) y la presentación de resultados se da en una serie de reportes en tablas y gráficos.

- Aplicabilidad en planificación: muy buena para presentar la información esencial, usa la EDT, buena flexibilidad, útil para asignar recursos, limitaciones en las relaciones entre actividades, determina la ruta crítica, utiliza redes de precedencia y enumera duraciones por tarea.
- Información producida: información resumida para la gestión es óptima pero no tiene buena disponibilidad de información histórica.

Actualmente, las redes de flechas se utilizan limitadamente como método genérico de ruta crítica para industrias comerciales, construcción y proyectos de desarrollo.

2.1.3 Métodos de red orientada a los nodos

En la red orientada a los nodos las actividades o tareas se representan dentro del nodo y no en la flecha (como sucede en la red de diagrama de flechas). Las flechas en este método representan enlaces o conexiones entre nodos. Los nodos representan las tareas o actividades y las flechas se usan únicamente para representar relaciones secuenciales. El método de los potenciales fue desarrollado por el francés Bertrand Roy al estudiar el problema del equilibrado de curva de carga de diferentes especialidades que intervienen en las operaciones de armamento de buques. El método en mención consiste en un diagrama de nodos (o nudos) en el cual los vértices representan tareas o actividades y las flechas se utilizan para representar las relaciones secuenciales. La ejecución de tareas está sometida a un conjunto de “ligaduras” que condicionan los valores correspondientes de sus características. Las condiciones por las cuales se manifiestan ligaduras pueden ser por problemas tecnológicos, de recursos limitados, por fabricación o por meteorología. En este método, aparte de la relación fin-comienzo hay relaciones fin-fin o comienzo-comienzo (Weaver, 2006).

Así mismo, el *Precedence Diagram Method* (PDM) o Método de Precedencia Mejorado, el cual introdujo Jhon Fondahl (1962) en su técnica “línea-círculo-conexión”, las tareas se

ubican dentro de los nodos y las flechas conectan tareas. Además, en la “marcha hacia adelante”, se hace referencia a las actividades anteriores o predecesoras. En este método se busca reducir el número de actividades al eliminar aquellas actividades ficticias o virtuales (denominadas *dummys*). Con el método se usan relaciones fin-fin, comienzo-comienzo, comienzo-fin y fin-comienzo (Ver figura 3 elaborada). El método en cuestión permite reducir el tiempo del proyecto al eliminar actividades ficticias; por lo tanto, se llega a tener un modelo más realista del proyecto.

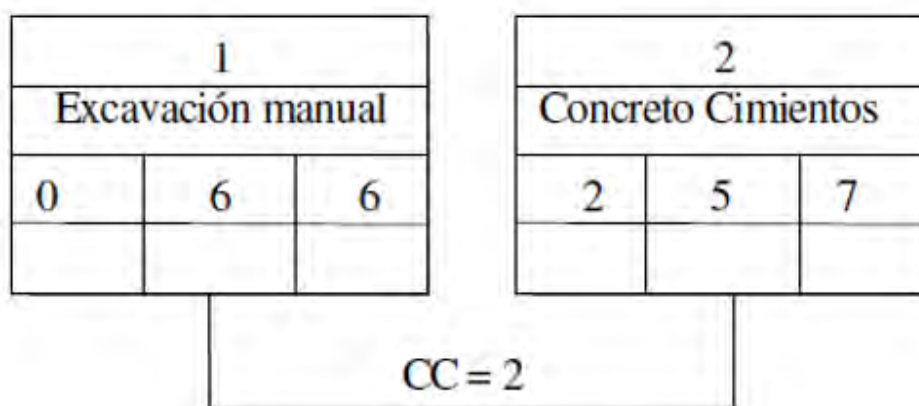


Figura 3 - Relación Comienzo-Comienzo en dos tareas usada en el método PDM

Por último, en el *Critical Chain Project Management* (CCPM) o Método de la Cadena Crítica se tiene en cuenta los recursos y la dependencia de precedencia en la determinación de la duración del proyecto. Además, se introduce el concepto de buffers de tiempo del proyecto y el apoyo a la gestión efectiva del tiempo (ya que este tiende a ser inflado). El enfoque explota el hecho de que es el proyecto (y no la tarea) la que necesita terminar a tiempo. Por este motivo, en el CCPM el buffer del proyecto protege la cadena crítica (Ver figura 4) y se introduce el concepto de los buffers alimentadores que se usan para evadir que todas las actividades se

vuelvan críticas. Se inicia reduciendo las actividades existentes y asignando tiempo a los buffers agrupados (Koskela, Stratton, & Koskenvesa, 2010).

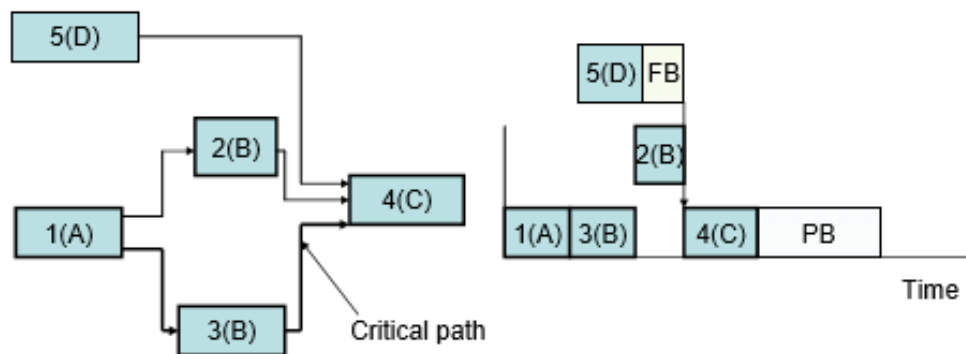


Figura 4 – Introducción de buffer alimentador (FB) para proteger la ruta crítica

Fuente: (Koskela, Stratton, & Koskenvesa, 2010)

Con el uso del CCPM se puede llegar a regular efectos indeseables que se dan con el uso de métodos como el del Camino Crítico. A continuación, se listan las medidas que toma el método frente a estas situaciones (González, Asensio, Diego & Alcaide, 2009):

1. Existe una alta variación en las estimaciones de duraciones, lo que provoca que las duraciones en actividades estimadas con una probabilidad de duración de 90% resultan superiores a las de probabilidad de 50%. Por este motivo, se propone agregar los márgenes de seguridad (aquellos que son producto de estimación de duración) en un buffer de proyecto y al final de este.
2. En el llamado “síndrome del estudiante” se discute que la mayoría del trabajo se deja para la última fracción de tiempo disponible. Esto significaría que no habrá tiempo para poder solucionar cualquier incidencia o problema, lo cual afectaría la fecha de fin de la tarea. Es por esto por lo que se expone la medida de quitar seguridades locales para que se evite pensar que se dispone de un margen de tiempo importante.
3. Debido a la existencia de fecha e hitos, se manifiesta una cultura en donde aun habiendo terminado la tarea antes de su fin, el trabajo no se entrega hasta la fecha prevista. El

CCPM busca no utilizar hitos y no trabajar con fechas de finalización de actividad, sino, con duración de estas.

4. Los retrasos se transmiten debido a que varios caminos se integran para dar lugar a otro. Por este motivo, se intenta evitar la multitarea, proteger la cadena crítica con los buffers alimentadores y minimizar el trabajo en progreso.
5. Existe dificultad del jefe de proyecto para enfocar la atención en los aspectos importantes que logren el alcance de objetivos. Usar el valor ganado o el exceso en niveles de actividad hace que no se visualice la realidad por no poder distinguir las tareas que influyen en el camino crítico y las que no. Es por esto por lo que se propone programar las tareas con inicios tardíos y minimizar el trabajo en progreso.

2.2 Lean Construction

“*Lean Production*” es una filosofía que se puede aplicar al sector industrializado y se enfoca, principalmente, en la reducción de los principales tipos de desperdicios. Además, posee metodologías que brindan mejores resultados de productividad en comparación con los métodos antiguos. La filosofía intenta reducir los elementos que no aporten de manera positiva al agregado de valor del producto. Por este motivo, se busca eliminar desperdicios al agregarle valor al producto (Botero, 2006).

En los intentos de adaptar la filosofía a la industria de la construcción hubo dificultades debido a que este sector resulta distinto en contraste con otras industrias más especializadas. Koskela (1992) muestra las primeras nociones de aplicación de la filosofía a la construcción y, de este modo, se propone una filosofía nueva de control en producción denominada “*Lean Construction*”. Con la nueva filosofía ya no se considera que la construcción es una transformación, sino, se ve como un flujo de materiales y recursos para llegar a la obtención de un producto. De esta manera, se pueden identificar las pérdidas que se encuentran en la construcción (Botero, 2006).

“*Lean Construction*”, de acuerdo con Koskela (2000), es una filosofía de gestión de proyectos basada en la entrega de estos en donde se maximiza el valor y se reducen las pérdidas. La filosofía determina que el control se define como “hacer lo que se pide” y que la gestión se caracteriza por la coordinación a través del “jalar”. También, se provee a los participantes del proyecto información sobre el estado de los sistemas de producción para darles confianza de realizar acciones. La filosofía usa herramientas como la sectorización, el tren de actividades, los buffers, entre otros; de tal modo que se puedan aplicar sus postulados en obras de construcción.

2.2.1 Sistema *Last Planner*

El sistema “*Last Planner*” es una de las principales herramientas de “*Lean Construction*”. Este sistema es una línea de investigación que lleva la aplicación de “*Lean Production*” junto al modelo de “Transformación, Flujo y Valor” (Koskela, 2000). Como menciona Ballard (2000), en el sistema en mención se crea un flujo de trabajo en donde se tiene a todas las personas involucradas en el proyecto en colaboración. La operación se ejecuta juntamente con el nivel operativo más bajo (o último trabajador). De este modo, se puede llegar a involucrar en el compromiso planificado a todos los trabajadores. Y son, precisamente, los últimos planificadores los responsables de asegurar que los prerrequisitos para realizar el trabajo sean previstos con tiempo.

El sistema propone que la brecha entre lo que debería hacerse y lo que realmente se hace puede mejorarse si se dispone de información confiable y en conjunto con los últimos planificadores, de tal modo que se pueda visualizar en plazos intermedios lo que se puede hacer y, en plazos inmediatos, lo que se hará (de lo cual se tiene mayor certeza) (Orihuela & Ulloa, 2011). El sistema en mención usa herramientas de control de producción como la Programación Maestra, la Planificación por Fases, el “*Lookahed*”, el Plan Semanal, el Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) y las Causas de No Cumplimiento (Botero, 2006).

Asimismo, busca tomar en cuenta el largo plazo, realizar mediciones de desempeño obtenido y analizar errores de programación junto con las causas que lo originan. El objetivo del último planificador es lograr que lo que se “quiera” hacer coincida con lo que “podemos” hacer y, luego, se convierta en lo que “haremos”. De este modo, la teoría del último planificado se fija en un esquema a corto plazo para trabajos de los cuales se tiene seguridad que serán cumplidos y, de este modo, cumplir con la programación a largo plazo (Ballard, 2000).

2.2.2 Programación Maestra según *Last Planner*

La Programación Maestra es el marco general del proyecto y es el cronograma de partida para el sistema “*Last Planner*”. En este se incluyen los hitos que se requieren para cumplir con los objetivos propuestos (Orihuela & Ulloa, 2011). El cronograma en mención expone las tareas que se deberían realizar en un futuro. Por este motivo, y dada la lejanía de la realización de la tarea, la Programación Maestra presenta la planificación a nivel macro: sin detalles. En este sentido, es la base para todo el sistema “*Last Planner*” ya que de ella se desprenden las programaciones de mediano y corto plazo; por este motivo, se vuelve necesario que esta sea realizada para conocer el desempeño real de empresas en obras (Tejada, 2014).

Para el sistema “*Last Planner*” el plan maestro se enfoca en la identificación del trabajo para completar un proyecto de manera satisfactoria. Este se debe hacer al inicio del proyecto y debe enfocarse en identificar los hitos más importantes para el mismo; es decir, tareas de duración cero. Los hitos se presentan como las fechas de término de cada una de las principales fases para un proyecto, por lo que es conveniente la participación del último planificador involucrado. En el plan maestro se establecen promesas y compromisos de las personas responsables de las actividades, y se plantea lo que se “debe” hacer para el proyecto (Ballard, 2000).

La programación a este nivel es para todo el proyecto y puede estar sujeta a modificaciones y ajustes de acuerdo con el estado en que se encuentre el mismo. Se trabaja en nivel de grupo de actividades, por lo que se vuelve a reafirmar la identificación de los hitos principales (Orihuela y Ulloa, 2011). La fecha de hitos se determina usando el proceso de “jala” de los hitos sucesores. La descripción de las actividades más importantes la realizan los expertos de planificación desde estimaciones de tiempo que demoraría la totalidad del proyecto. La finalidad es ser el arco general de tiempo de proyecto en donde se definan los objetivos principales de los clientes (Calampa, 2014).

El sistema “*Last Planner*” no proporciona un marco específico que ayude a estimar el plazo de obra desde un cronograma macro. Existe una aproximación a este propósito con el “Modelo Heurístico de Clancey”, el cual es un método de “pensamiento rápido” que se usa para el desarrollo de una estructura de inferencia donde se relaciona sistemáticamente datos con un conjunto de soluciones previamente listados (Clancey, 1985). El intento de generar patrones al reducir estos a representaciones primitivas resulta ser un acercamiento poderoso para modelos de procesos. Con esta aproximación, la clasificación heurística permite mover argumentos a modo de “abstracciones recurrentes” y desarrollar técnicas que concluyen en el aporte del conocimiento (Clancey, 1985)

Es el “pensamiento rápido” el proceso de aprender de la experiencia (Kahneman y Egan, 2011), por lo que su uso aporta en la elaboración de respaldo experimental a la gestión de proyectos en la construcción. Por este motivo, para el aporte del conocimiento en la construcción, se puede llegar a reconocer que el “Modelo Heurístico de Clancey” es un importante punto de partida para el desarrollo de sistemas basados en experiencia (Clancey, 1985).

2.3 Líneas de Balance y Líneas de Flujo

Las Líneas de Flujo fueron desarrolladas por la compañía Goodyear Tire & Rubber Company en los años 40s para luego ser implementada por la armada norteamericana en los años 50s. Inicialmente, fue aplicada en la industria manufacturera como una técnica de programación y control de flujo de línea de producción de los productos terminados. Introducir los conceptos de las Líneas de Flujo en la construcción ha sido difícil debido a que los usuarios, al usar métodos tradicionales de planificación, no consideran las conexiones lógicas entre actividades. A pesar de la dificultad en su inclusión, los conceptos del método se han ido implementando en el sector de la construcción como método de planificación. Se han realizado diferentes variaciones de la técnica con la finalidad de ajustarla a las necesidades del programador constructor (Botero & Acevedo, 2011).

2.3.1 Definición

Las Líneas de Flujo son un método gráfico de planificación en donde se considera la localización como dimensión de tal modo que se pueda facilitar la planificación de recursos. Para poder graficarla, en las abscisas del plano se muestra la dimensión de tiempo y en las ordenadas se muestra la dimensión de localización (o lugar donde se realizarán los trabajos). Las líneas marcan pendientes, las cuales vienen a ser la información de la velocidad de trabajo de cada actividad (Orihuela & Esteves, 2013). Desde la información representada, se puede calcular la velocidad de producción y la productividad (Ver Figura 5 elaborada).

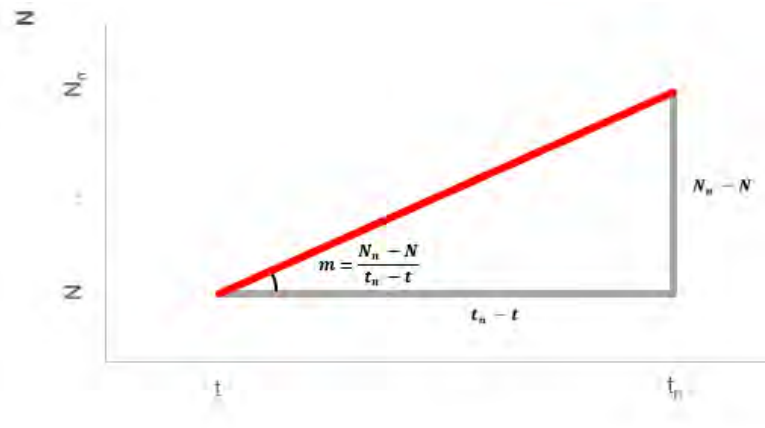


Figura 5 - Modo de determinar la velocidad de trabajo desde la pendiente de la Línea de Flujo

2.3.2 Alcance

Las Líneas de Flujo permiten mostrar el trabajo en un proyecto de construcción como una línea gráfica en vez de una serie de actividades. Desde el uso de estas se puede llegar a consolidar un grupo de actividades similares en una sola línea. De este modo se puede representar un gran número de actividades con características similares en un documento sencillo y pequeño al mismo tiempo (Loría, 2010).

La gráfica de Líneas de Flujo no da detalle del trabajo interno entre actividad, sino proporciona información de la correlación entre las mismas y el desempeño de una actividad respecto a otra. De este modo, desde el uso de las Líneas de Flujo, se puede medir la productividad global. Esta medición cumple con los objetivos de la Programación Maestra, la cual presenta una programación orientada en fases y con hitos con los cuales empresas deben comprometerse antes de firmar el contrato de conformidad del proyecto (Orihuela y Esteves, 2013).

El sistema crea un flujo de trabajo confiable en donde se tienen a todas las personas involucradas para crear un plan de fase para los segmentos de trabajo. La filosofía del método LBS pretende asegurar que los prerrequisitos de los trabajos sean previstos antes de la ejecución de estos. El trabajo se enfoca en confiar en el “último planificador”, quien es el encargado de

revisar que se hayan levantado los prerrequisitos, ya que es aquel agente el que se encuentra más cerca de la actividad a llevar a cabo (Calampa, 2014).

2.3.3 Ventajas

Dentro de las ventajas con el uso de las Líneas de Flujo en la planificación se pueden nombrar las siguientes (Calampa, 2014):

- Visualización:

Se tiene una mejor visualización en cuanto a la viabilidad de escenarios y puntos de control para la operación, tal como lo indican Botero y Acevedo (2011). Además, la presentación permite tener información desde una sola vista, de tal modo que se tenga una visualización global.

- Considera tres dimensiones:

Transmite mejor información por tener tres dimensiones graficadas. Por tener la localización como una de sus dimensiones, se puede obtener mejor uso del lugar. De este modo, el uso de la herramienta se vuelve una alternativa de programación que facilita el análisis.

- Facilita relación entre tareas:

Se tiene una visualización eficiente de impacto entre tareas ya que se manifiesta la dependencia entre actividades. De este modo se facilita la relación entre las tareas realizadas.

- Muestra la velocidad de trabajo:

Se muestra la velocidad de avance desde las pendientes y se obtiene la velocidad de producción.

- Se tiene un mejor control del proyecto:

El control del proyecto es mejor a comparación de otras técnicas de programación y esto permite eliminar o reducir actividades que generan tiempos y costos adicionales.

- Disminuye riesgo en la programación:

Dada a las ventajas que posee en cuanto al control del proyecto, el riesgo en cuanto a programación disminuye. La disminución del riesgo se debe a las decisiones acertadas tomadas, producto de la confiabilidad en la programación.

- Mejora gestión de recursos:

La gestión de recursos es óptima ya que se considera la continuidad de estos.

- Recorte en duración del proyecto:

La reducción en la duración en el proyecto se debe al grado de control que se puede obtener del proyecto con el uso de las Líneas de Flujo en la programación.

- Toma las ventajas expuestas anteriormente para establecer plazos del Cronograma Maestro mediante la representación de hitos.

2.3.4 Desventajas

Dentro de las desventajas con el uso de las Líneas de Flujo en la planificación se pueden nombrar las expuestas por Calampa (2014):

1. Tiempo de aplicación MANUAL:

El tiempo requerido para la aplicación manual del método es largo. Se requiere del uso de softwares especializados para la aplicación de este, pero estos escasean.

2. Falta de un software especializado:

No se tiene un software especializado para su aplicación en la construcción. Se ha creado un software genérico en Finlandia: el DYNAPROJECT.

3. Falta de conocimiento en el país:

No hay mucho conocimiento de su uso en el Perú y tampoco se tiene una gran lista de aplicaciones exitosas del método.

4. Temor y poco interés:

Se tiene esa perspectiva al intentar sustituir las herramientas asiduas y ya conocidas en el sector de la construcción.

5. Baja probabilidad de éxito rápido en el país:

El éxito en la aplicación de las Líneas de Flujo no muestra resultados óptimos a corto plazo, por lo que la evolución de uso éxito es lenta ya que los programadores ven con cautela la aplicación de esta técnica de programación.

2.4 Aplicación de Líneas de Flujo en la Programación Maestra

Para el sistema “*Last Planner*”, la Programación Maestra solo estima tiempos de los grupos de actividades y se fijan los hitos más importantes del proyecto. A pesar de esto, hay varias empresas constructoras que realizan sus programaciones con muchas tareas y con un nivel elevado de detalle, como las que métodos de programación como el CPM. El uso de Líneas de Flujo en el Programa Maestro no es solo aplicable como alternativa eficiente en proyectos repetitivos, sino, se puede extender a la mayoría de los proyectos de edificación (Orihuela y Estebes, 2013).

En la programación detallada, como ocurre en el sistema “*Last Planner*”, ocurren varios cambios y las fechas de inicio previstas pueden resultar perjudiciales ya que obligan al planificador a “empujar” el plan para poder nivelar el inicio de las tareas (sin tener en cuenta la producción). La repetitividad de una obra en construcción depende de la eficiencia con la que se realiza la estructura fraccionada de localización. Sin embargo, las actividades a nivel de Programación Maestra son casi siempre repetitivas, por lo que elaborar un plan con Líneas de Flujo permite elaborar un plan global y lograr interacción entre contratista y propietario. (Orihuela y Estebes, 2013). Tal como lo indica Calampa, (2014) el PMI sugiere que la planificación de proyectos macro, como es el Cronograma Maestro, no debe entrar en mucha definición porque se encuentra sujeta a error.

El método de Líneas de Flujo (basado en la localización) tiene la ventaja, a diferencia de los métodos PERT o CPM (basados en la actividad), de considerar la localización en el proceso constructivo como parte del dimensionamiento en la programación (Ver figura 6). Esto permite que se genere una relación tanto en la duración como en la ubicación de una partida específica. La velocidad, definida como la relación de espacio entre tiempo, en las Líneas de Flujo es la velocidad de las partidas dentro del avance de obra y son representadas con la pendiente de cada una de las líneas trazadas.

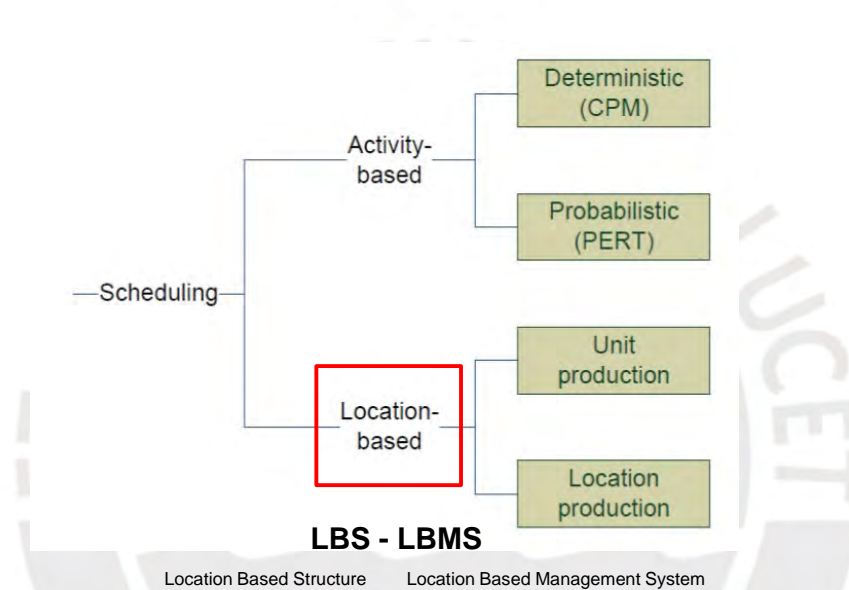


Figura 6 - Esquema donde se muestra el enfoque de los distintos sistemas de planificación

Fuente: (Kenley & Seppänen, 2009)

Los métodos mencionados, como el CPM, sirven para poder organizar el planeamiento de actividades en la construcción en base al encadenamiento de actividades. Por este motivo, se puede percibir que estas técnicas solo controlan la unidad del tiempo; sin embargo, dentro de las desventajas, estas herramientas no presentan la localización como dimensión. Por este motivo se puede generar un mal uso del sitio al no poder visualizar el flujo productivo en la percepción completa de obra. (Calampa, 2014)

A continuación, se muestra un programa de vivienda (Figura 7.a y 7.b) que usa los Diagramas de Gantt y que tiene relaciones inicio-fin (que se pueden identificar en los métodos de programación tradicionales indicados anteriormente).

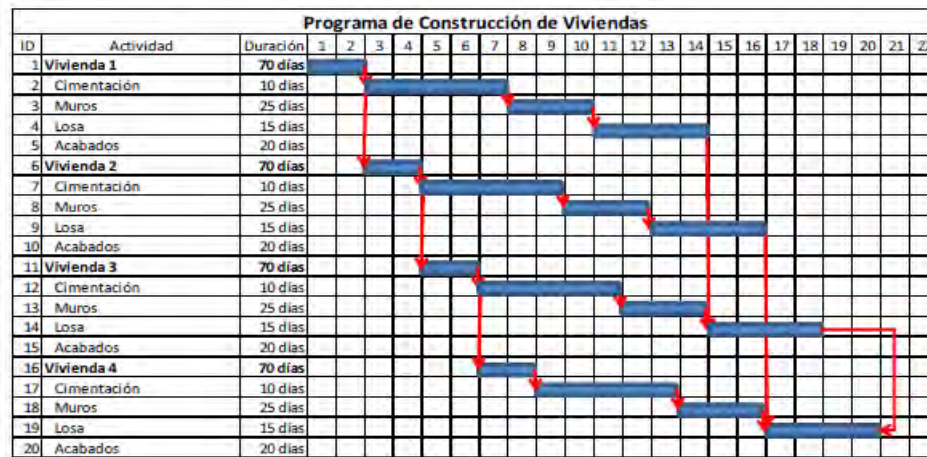


Figura 7.a - Programa de vivienda que usa Diagramas de Gantt

Fuente: (Loría, 2010)

A modo de comparación, la misma programación fue representada usando Líneas de Flujo. En la siguiente figura se puede ver que las Líneas de Flujo han sido dimensionadas en el eje de las ordenadas por unidades de viviendas (criterio válido para Líneas de Flujo); sin embargo, en el presente estudio tal eje será para definir la localización.

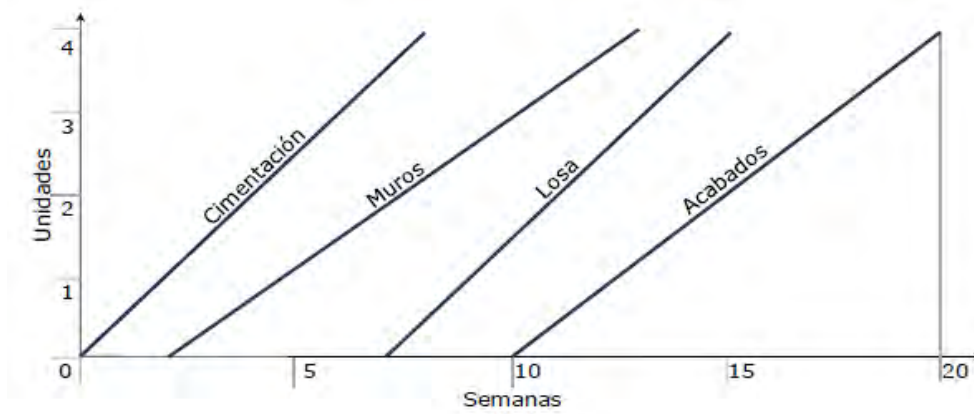


Figura 7.b - Programa de vivienda que usa Líneas de Flujo

Fuente: (Loría, 2010)

El uso tradicional del diagrama de Gantt para la comunicación con los subcontratistas y clientes se debe a la falta de familiarización que se tiene del método LDB. Por lo general, tal como lo indican Soini, Leskela y Seppänen (2004), se suele plantear un diagrama de Gantt para luego convertirlo en Líneas de Flujo. Al realizar esto, las dependencias entre actividades no son planteadas explícitamente, por lo que se vuelve difícil revisar si el cronograma es factible o no.

En general, las Líneas de Flujo es un método que representa de forma gráfica actividades que consideran una distribución temporal y de localización. Además, abarca la gestión de tiempo, la estimación de duración de actividades, el desarrollo del cronograma y el control de este (Calampa, 2014). El método es reconocido por presentar una visualización más cercana a la realidad. Usar las Líneas de Flujo en la Programación Maestra, de acuerdo con Orihuela y Esteves (2013), requiere de experiencia, conocimiento y criterio. La pauta que indica el uso de la experiencia no es muy clara y resulta subjetiva.

Capítulo 3: Planteamiento de estudio

3.1 Tipología de obras

En la presente investigación se han seleccionado progresivamente obras de edificación que pertenecen al sector de la construcción de oficinas o viviendas. La selección se realizó de tal modo que se pueda comparar el avance de estas en la Programación Maestra con el uso de Líneas de Flujo. En conjunto con la información que se va obteniendo en el estudio se seleccionarán aquellas obras que mejor representen la velocidad de avance y se rechazarán aquellos datos que generen dispersión. De este modo, se puede conservar la homogeneidad en la información recopilada para conseguir la estimación en el plazo de obra desde la Programación Maestra.

Las obras seleccionadas son aquellas que sean construidas con concreto reforzado con acero (más conocido como concreto armado). La decisión en la elección se debe a la difusión y al uso que se tiene de este material en el medio y para las obras seleccionadas. La mayoría de las obras de construcción de viviendas y de oficinas usan el material en mención bajo distintos métodos. Algunos de los métodos radican en el vaciado del material con camiones de premezclado, bombas telescópicas, bombas estacionaras o plantas productoras de concreto *in-situ*. Incluso, se puede construir con el uso de elementos estructurales pre-fabricados con el material en cuestión, lo cual depende de la necesidad en obra.

Por otro lado, el sistema estructural puede tratarse de pórticos (conocido tradicionalmente como “sistema aporticado”), muros estructurales o sistema dual. En el sistema de pórticos se disponen de pórticos en un mismo sentido. Por otro lado, los muros estructurales son conocidos como “placas” y la mayoría de la fuerza de sismo es aplicada en estos elementos estructurales. Finalmente, el sistema dual está conformado tanto por pórticos como por muros estructurales. En los proyectos de edificación en Lima se pueden encontrar cualquiera de los sistemas estructurales mencionados, ya que, tanto la zona como las necesidades de la obra

obligan al ingeniero a diseñar la estructura según lo indicado por la norma. Cualquiera de los procesos constructivos de los sistemas estructurales en mención resulta ser comunes ya que se tiene gran experiencia en los procesos constructivos de los mismos.

Para finalizar, se eligieron obras que cuenten con excavaciones como parte de su proceso constructivo. Ya que se eligió la construcción de oficinas y viviendas, la mayoría de estas debe pasar por el proceso de excavación para la construcción de sótanos. Según los parámetros urbanísticos, se especifica la cantidad de sótanos que se tengan que instalar. La gran diferencia entre los procesos constructivos para la construcción de sótanos radica en el uso de muros anclados o calzaduras. Si bien es cierto que los muros anclados resultan ser el método más efectivo en la actualidad, se pueden usar calzaduras (procedimiento antiguo) para la construcción de pocos niveles excavados. Para el propósito del presente trabajo se estudiará cualquier de los dos procedimientos constructivos.

3.2 Selección de hitos

En el presente estudio se han diferenciado diversos hitos para poder realizar la toma de datos que, luego, serán evaluados. La diferenciación se ha realizado de tal modo que se pueda consolidar las etapas constructivas de una obra de edificación en la Programación Maestra. Los hitos no tienen duración, por lo que se conocen como actividades o tareas de duración cero. Además, con ellos simbolizan logros importantes en los proyectos y; por este motivo, se simbolizan con el uso de punto. Para conocer el avance de proyectos se puede hacer uso de los hitos sin necesidad de conocer a detalle el proyecto.

Debido a lo indicado, la Programación Maestra se puede realizar de manera satisfactoria con la inclusión de hitos. En esta sección en los proyectos se expone la planificación de manera general y sin detalles, por lo que el uso de hitos servirá como referencia para demostrar la llegada a etapas importantes en el proceso constructivo de la obra. Esta identificación es una

herramienta de información para los involucrados en el proyecto y es de ayuda para el desarrollo de este.

Por este motivo, los 4 hitos propuestos para el presente estudio son expuestos a continuación:

1. Excavación y sostenimiento

En los proyectos de edificación estudiados en el presente trabajo es necesario realizar la partida de excavación. En esta partida se procede a realizar una cavidad al quitar el suelo que hay en el terreno. Para poder realizar las funciones de excavación es necesario contar con retroexcavadoras. Junto con la actividad de excavación se encuentra la secuencia de transporte de material, para lo cual se usan los volquetes. De este modo se logra conseguir la excavación del proyecto de edificación.

Uno de los criterios a considerar durante la excavación es la inclusión del elemento estructural que soportará el empuje del terreno excavado. Para este propósito, se puede optar por la implementación de muros anclados o calzaduras. El método más común resulta ser el de muros anclados en donde los muros de concreto son anclados bajo la aplicación de tensión. Para el anclaje se usan cables que se fijan al suelo a través de los bulbos que se forman inyectando lechada de cemento. Por otro lado, en la construcción de calzaduras se usa concreto vaciado alternadamente en el perímetro del terreno.

Para la construcción de un muro anclado es necesario iniciar con el proceso de movimiento de tierras. Una vez realizado esto, se realiza el método de perforación, en donde una tubería es insertada al interior del terreno para luego inyectar y alcanzar la presión deseada. Luego, se realizan los paños de concreto los cuales pueden ser con encofrado y concreto convencional o solo con concreto lanzado. Es necesario dejar el tiempo necesario para llegar a la resistencia

especificada. Finalmente, luego de pasado los 7 días desde la inyección, se tensan los mismos cuya carga dependerá del diseño.

La construcción de calzaduras se hace en conjunto con las excavaciones. Se usa un concreto de baja resistencia para el vaciado del elemento. Se excavan piques (excavaciones perimétricas) debajo de los muros vecinos de manera alternada, de tal modo que entre piques no habrá excavación. Luego, se coloca el encofrado y se realiza el vaciado logrando que las cimentaciones vecinas se encuentren el menor tiempo posible sin el soporte del suelo.

En el presente trabajo se ubicarán hitos en la finalización de cada uno de los niveles de muros anclados. Por lo expuesto, la excavación y construcción de muros anclados o calzaduras no representará, necesariamente, los niveles en los cuales se construirán los sótanos. Es decir, si se realiza, por ejemplo, la construcción de tres niveles de muros anclados, no necesariamente se tendrán tres sótanos; algunos proyectos pueden optar por tomar un semisótano, por lo que la numeración de niveles pasa a ser decimal (en este caso, el último sótano podría tomar el “nivel -2.5”). Por este motivo, será importante para la construcción de Líneas de Flujo considerar distintos ejes verticales antes del gráfico que represente al hito de “pórtico inferior” y luego de este.

2. Cimentaciones y elementos enterrados

Una vez que se haya llegado al último nivel de excavación, por lo menos, en algún sector se procede a la construcción de las Cimentaciones e Instalaciones Enterradas. Estas instalaciones incluyen la cisterna o el cuarto de máquinas.

Junto con los elementos enterrados, las cimentaciones deben ir por debajo del nivel final de la excavación masiva y se realizan mediante excavaciones localizadas. A continuación, se coloca el acero de la columna o placa (según sea el caso) según los criterios indicados en el plano para, luego, vaciar el concreto a la altura indicada en el peralte de las especificaciones.

Finalmente, se coloca el material de relleno según la disposición y se elimina todo material excedente.

La posición de este hito a lo largo del tiempo para una misma obra mostrada en Líneas de Flujo no será necesariamente continua a la fecha de finalización de excavación masiva, ya que se puede trabajar por sectores o la posición del elemento enterrado garantiza que se puedan iniciar los trabajos con anticipación. Por este motivo, los hitos a considerar serán fecha de inicio y fecha final de cimentaciones y elementos enterrados.

3. Pórtico inferior

Una vez concluida la construcción de las cimentaciones se podrá continuar con la ejecución de las columnas y placas del pórtico inferior. Se refiere a “pórtico inferior” al hito en donde se concluye con niveles subterráneos; es decir, por debajo del nivel de vereda (nivel 0). Por este motivo, los niveles en la representación de las Líneas de Flujo se representan con números negativos.

Al finalizar las cimentaciones, el acero vertical será de uso para la construcción de columnas o placas, según sea el caso. Luego se colocan los puntos de instalaciones eléctricas y sanitarias para, luego, realizar el encofrado y el respectivo vaciado de concreto. Una vez concluido con los elementos verticales se procede al encofrado de vigas el armado del acero en las vigas. A continuación, se coloca el encofrado de las losas. De tratarse de una losa aligerada, se colocan los ladrillos. Luego se coloca el acero horizontal para, inmediatamente, continuar con el recorrido de las instalaciones. Finalmente, se realiza el vaciado de concreto en los elementos horizontales.

Los hitos de esta fase no necesariamente continúan a la fecha de finalización de cimentaciones e instalaciones, lo que puede significar el inicio del pórtico en un sector antes de la fecha de fin de las cimentaciones. Además, como se indicó, para fines gráficos, el eje vertical

(que corresponde a la localización de la actividad) de la Líneas de Flujo para este periodo del proyecto será medido en una escala distinta a la de excavaciones, ya que los niveles de excavación y de los anillos, no serán necesariamente igual que para los de sótanos.

4. Pórtico superior

La distinción de hitos para el pórtico superior se basa en aquellos niveles que son construidos por encima del nivel del terreno (nivel 0). El pórtico superior se separa del inferior porque aquí hay que construir las placas que dan a los bordes exteriores, las cuales en el Pórtico Inferior ya se encuentran realizadas, además se estudia este hito por separado ya que el alcance de la investigación permite documentar el avance del pórtico superior desde afuera del cerco perimetral de la obra a diferencia del pórtico inferior, en donde se requiere del ingreso a la obra para poder documentar el avance de esta. Al igual que el hito anterior, los hitos se ubican en cada nivel y, para este periodo, los niveles se indican con signos positivos. Los procesos constructivos continúan la misma secuencia que la indicada anteriormente y el alcance en cuanto al seguimiento es igual.

3.3 Toma de información

Para poder plasmar el avance real de obras de construcción en las Líneas de Flujo se han determinado dos procedimientos:

1. El registro de avance mediante el seguimiento fotográfico de diversas obras de edificación
2. La solicitud de información respecto a plazo de ejecución de obras en proceso de construcción u obras cuyo proceso de construcción ya se encuentre finalizado

Por este motivo, a modo que se pueda tener control desde una base de datos, se generó un formato desde donde se pueda tomar la información necesaria desde el procedimiento 1. El

formato en mención (Figura 8 elaborada) se empleó en cada observación realizada a los proyectos y se reservaba para la actualización en cada visita.

FORMATO PARA EL REGISTRO DE PLAZO DE OBRA

Dirección: _____ Distrito: _____

Nombre obra: _____ Constructora: _____

Contacto: _____ Fecha de contacto: _____

Procesos a considerar: _____

	Fecha	Situación	Observación
SEMANA 1			
SEMANA 2			
SEMANA 3			
SEMANA 4			
SEMANA 5			
SEMANA 6			
SEMANA 7			
SEMANA 8			
SEMANA 9			
SEMANA 10			
SEMANA 11			
SEMANA 12			
SEMANA 13			
SEMANA 14			

Hito anterior: _____

Fecha: _____

Figura 8 – Formato de visita a obras

En el formato se puede revisar que es de importancia para el análisis el registro de la dirección de obra y, en general, el distrito en el cual se encuentra. Así mismo, se puede observar que se anota el nombre de la obra en construcción y la constructora ejecutora. Luego, se especifica la persona de contacto, con la cual se realizan la gestión respectiva para la obtención de información de datos adicionales que sean de utilidad. También, se reconoce la partida maestra a considerar en la ficha, de tal modo que el levantamiento de datos recopile en la tabla

con divisiones por semana. Esta tabla contiene una columna en donde se ingresa la fecha del dato, la situación de la obra y las observaciones encontradas. Para finalizar con el formato, se indica el hito anterior al registrado con la fecha de finalización de este.

Del mismo modo, la ejecución del procedimiento 2, requiere de un modo de almacenamiento de datos. La información se solicitaba vía presencial y electrónica, de tal modo que se obtengan las fechas de ejecución realizadas antes del inicio del estudio. La recopilación de la información bajo este procedimiento debe centrarse en ser confiable. De tal modo que se asegure la confiabilidad de los datos, se determinó que los mismos sean obtenidos desde distintas bases de datos empleadas para comparar avance de obra programado versus real. Del mismo modo, los agentes que proporcionan la información deben ser partícipes de procedimientos formales y consolidados en el sector de la construcción.

La información tomada bajo cualquiera de los dos procedimientos es almacenada en una base de datos en un programa de hoja de cálculo (Microsoft Excel). Dentro de la información almacenada, se detallan la siguiente:

- Partida Maestra:

Se especifica la partida del cronograma maestro cuyo plazo de ejecución se requiere estimar.

- Fecha de dato:

Se anota la fecha en el cual se ha realizado el registro de avance fotográfico o la información proporcionada por el ingeniero residente de cada obra. La fecha se encuentra sujeta a las limitaciones expresadas en la sección de selección de hitos y obedecen al criterio de incluir el nivel en el cual se encuentra la obra.

- Constructora del proyecto:

De tal modo que se pueda mantener la discreción de las distintas empresas involucradas en el estudio, el nombre de la constructora del proyecto se identifica bajo un código. Sin embargo, es importante reconocer que partidas maestras o que proyectos pertenecen a una misma constructora, ya que, en los resultados se puede evidenciar patrones de trabajo similar.

- Área del terreno y área en planta típica:

Para poder interpretar la capacidad de trabajo en las diversas obras de edificación se presenta un esquema en planta del área de terreno del proyecto y el área de los pisos típicos. El área del terreno es de utilidad para el control de la capacidad de trabajo en la partida de excavación y sostenimiento. Por otro lado, el área de pisos típicos se emplea para el análisis en la partida maestra referida al pórtico superior. Para poder obtener una idea del grado de concentración de las masas que componen el edificio se usa el índice de compacidad.

- Plano de cimentaciones y elementos enterrados:

Se vuelve necesaria la identificación de los cimientos, su distribución y los elementos involucrados en el proceso de cimentación para poder identificar los esfuerzos realizados en las obras analizadas. Se incluye, por este motivo, el esquema general de los cimientos y elementos enterrados para poder analizar la partida maestra en mención.

- Notas e información relevante:

Se resalta de cada uno de los proyectos información relevante e importante que podría significar una variable importante para el análisis de duración de proyecto. Entre aquellas notas a considerar se incluye la posición de la grúa, uso de elementos especiales, tráfico de avenida o calle en dónde se encuentra el proyecto, en otras variables.

A continuación, se presenta una tabla que se elaboró de aquellos proyectos analizados con las respectivas partidas maestras incluidas en el estudio:

Tabla 2 - Proyectos estudiados

<u>Proyecto</u>	<u>Partida Maestra estudiada</u>
P1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento 2. Cimentación y estructuras enterradas 3. Pórtico inferior 4. Pórtico superior
P2	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento 2. Cimentación y estructuras enterradas 3. Pórtico inferior 4. Pórtico superior
P3	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento 2. Cimentación y estructuras enterradas 3. Pórtico inferior 4. Pórtico superior
P4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento 2. Cimentación y estructuras enterradas
P5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cimentación y estructuras enterradas 2. Pórtico inferior 3. Pórtico superior
P6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento 2. Cimentación y estructuras enterradas 3. Pórtico superior
P7	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pórtico superior
P8	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento

	<ol style="list-style-type: none"> 2. Cimentación y estructuras enterradas 3. Pórtico inferior 4. Pórtico superior
P9	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento
P10	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento 2. Cimentación y estructuras enterradas 3. Pórtico inferior 4. Pórtico superior
P11	<ol style="list-style-type: none"> 1. Excavación y sostenimiento

3.4 Estimación de duración

En proyectos de edificación, uno de los principales factores que aportan valor al proyecto es el tiempo. La duración de las actividades es motivo de análisis para los planificadores, de tal modo que al momento de ejecutarlas se tenga previsto el periodo de ejecución expresado a modo de valor en el proyecto. Estimar la duración de las actividades a realizar es, entonces, una forma de controlar el valor aportado a la obra.

En la gestión del tiempo del proyecto, definir las actividades desde la creación de una Estructura de Descomposición del Trabajo (EDT) permite generar una lista de hitos, actividades y atributos a las mismas que concluyen en la estimación de duración de las actividades. La lista en mención describe las actividades del cronograma del proyecto y describe el alcance de la obra con un nivel de detalle lo suficientemente elevado para que los miembros del equipo lo puedan comprender. Por otro lado, la lista de los hitos del cronograma del proyecto son eventos significativos o puntos en el proyecto.

Para planificar el tiempo a nivel macro se debe identificar que cada hito se conecta con un sucesor y un predecesor. Por este motivo, la necesidad de secuenciar eventos implica la

identificación y determinación de dependencia entre los mismos. A nivel de detalle, de tal modo que se pueda estimar la duración de las actividades se requiere reconocer los recursos disponibles, las capacidades, los calendarios de planificación, los trámites administrativos, entre otra información.

Para la estimación de duración de actividades se presentan ciertas herramientas y técnicas que podrían resultar viables a nivel de detalle (Ochoa, 2017):

1. Uso de datos históricos de un proyecto similar anterior
2. Estimar la definición incompleta del alcance
3. Estimación basada desde el juicio de expertos por la falta de información
4. Uso de relación estadística de datos históricos y variables adicionales para generar una estimación paramétrica
5. Se puede realizar una estimación probabilística en base a riesgo e incertidumbre
6. Uso de reservas (o colchones) en el tiempo para contingencias
7. Tormenta de ideas desde las técnicas grupales de toma de decisiones

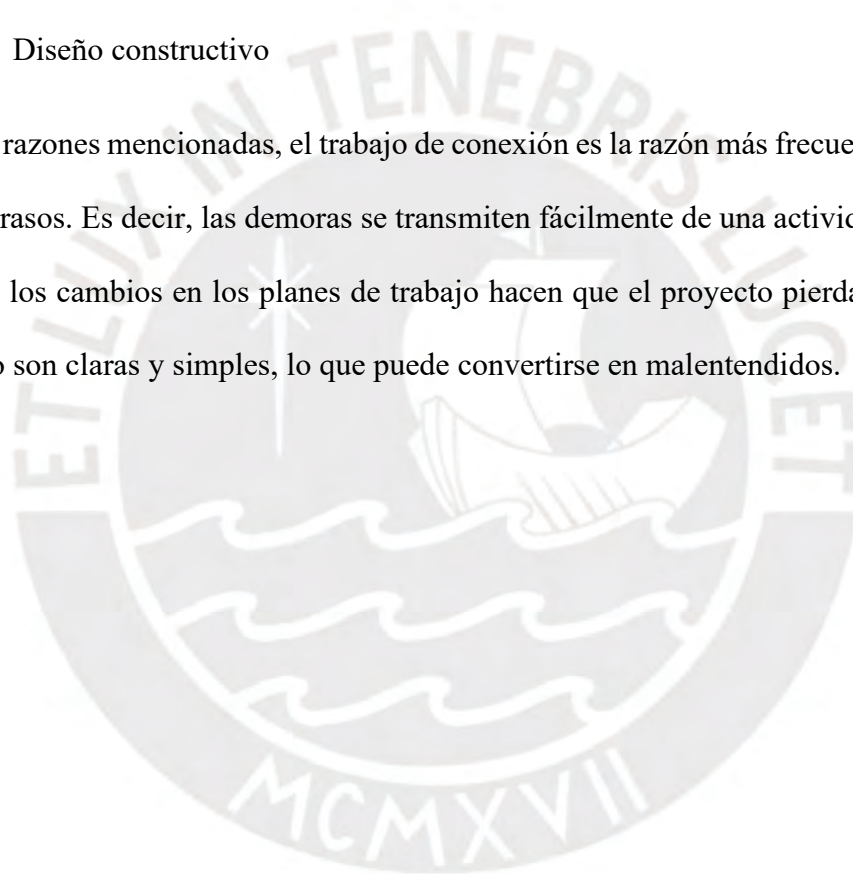
Como consecuencia, los documentos del proyecto son supuestos adoptados para la duración de actividades. La estimación de duración de actividades permite, como consecuencia, el desarrollo de un cronograma de actividades (entre ellos, el diagrama de hitos).

La identificación de las causas de los retrasos en proyectos de construcción ha sido de discusión por distintos expertos en el tema; sin embargo, Lindhard y Wandahl (2014) centraron el estudio de las razones de retraso en la construcción desde un enfoque especial. Los autores en mención hicieron su estudio al relacionar los hallazgos de retraso en las precondiciones manifestadas por Koskela (1999). Estas precondiciones aseguran la conducción óptima de las actividades, ya que pueden ser desarrolladas en su totalidad por estar absueltas de restricciones.

Dentro de las razones de retraso en las construcciones, desde el estudio realizado, se pueden identificar las siguientes razones ocurridas frecuentemente (Linhard y Wandahl, 2014):

1. Trabajo de conexión
2. Cambio en los planes de trabajo
3. Fuerza laboral
4. Condiciones climáticas
5. Materiales
6. Diseño constructivo

De las razones mencionadas, el trabajo de conexión es la razón más frecuente por la cual se generan retrasos. Es decir, las demoras se transmiten fácilmente de una actividad a otra. Del mismo modo, los cambios en los planes de trabajo hacen que el proyecto pierda credibilidad, las órdenes no son claras y simples, lo que puede convertirse en malentendidos.



Capítulo 4: Resultados y análisis

Se realizó el levantamiento de datos conforme a la metodología expuesta en los apartados anteriores. De este modo, se realizó el arreglo de datos de tal modo que se pueda presentar los resultados del estudio realizado. Es así como se presentan las Líneas de Flujo generadas, se expone el Cronograma Maestro desde el análisis numérico y estadístico; y, por último, se discuten los resultados obtenidos.

4.1 Líneas de Flujo por proyecto

Se organizó la información obtenida por cada proyecto con las Partidas Maestras indicadas en la tabla 2. De este modo, se ha realizado un conjunto de fichas en donde se expone la siguiente información:

1. Proyecto estudiado
2. Distrito en el cual se encuentra el proyecto.
3. Constructora encargada del proyecto
4. Representación del plano de cimentaciones del proyecto
5. Representación del terreno en la obra y de la planta típica (zona achurada). Junto con los bosquejos se puede observar la presencia de los datos de área del terreno (A_T), índice de compacidad del terreno (I_T), área en planta (A_P) e índice de compacidad en planta (I_P). El índice de compacidad es aquella relación entre relación entre el perímetro del terreno o planta y el perímetro de un círculo de área equivalente. Con este valor se puede expresar que tan alejado está la planta o el terreno de parecerse a la forma ideal de trabajo: un círculo. La fórmula para el trabajo con el índice se presenta en la ecuación 4-3:

$$\text{Índice de compacidad} = \frac{\text{Perímetro de terreno o planta}}{\text{Perímetro de circunferencia ideal}} \dots (4-1)$$

Además:

$$A = \pi R^2 \text{ y } P_i = 2\pi R$$

Donde,

A = Área equivalente

P_i = Perímetro de circunferencia ideal

R = Radio de circunferencia ideal

Por lo tanto:

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots (4-2)$$

De esta manera, la ecuación queda del siguiente modo:

$$\text{Índice de compacidad} = \frac{P}{2\pi R} = \frac{P}{2\pi \sqrt{\frac{A}{\pi}}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots (4-3)$$

Donde,

P = Perímetro de terreno o planta

6. La imagen del prospecto del proyecto
7. El gráfico donde se presentan las Líneas de Flujo en el Cronograma Maestro según el levantamiento de información realizado por cada proyecto. Se diferencian las Partidas Maestras por estar colocadas con distintos colores en el gráfico. El gráfico se encuentra representado en la escala de tiempo según la fecha real de ejecución.
8. Las imágenes del registro fotográfico realizado en el levantamiento de información. Cada imagen se encuentra detallada con la fecha en la que se realizó el registro y se encuentra en concordancia con el gráfico de Líneas de Flujo incluido.

P1
Distrito Miraflores
Constructora C1

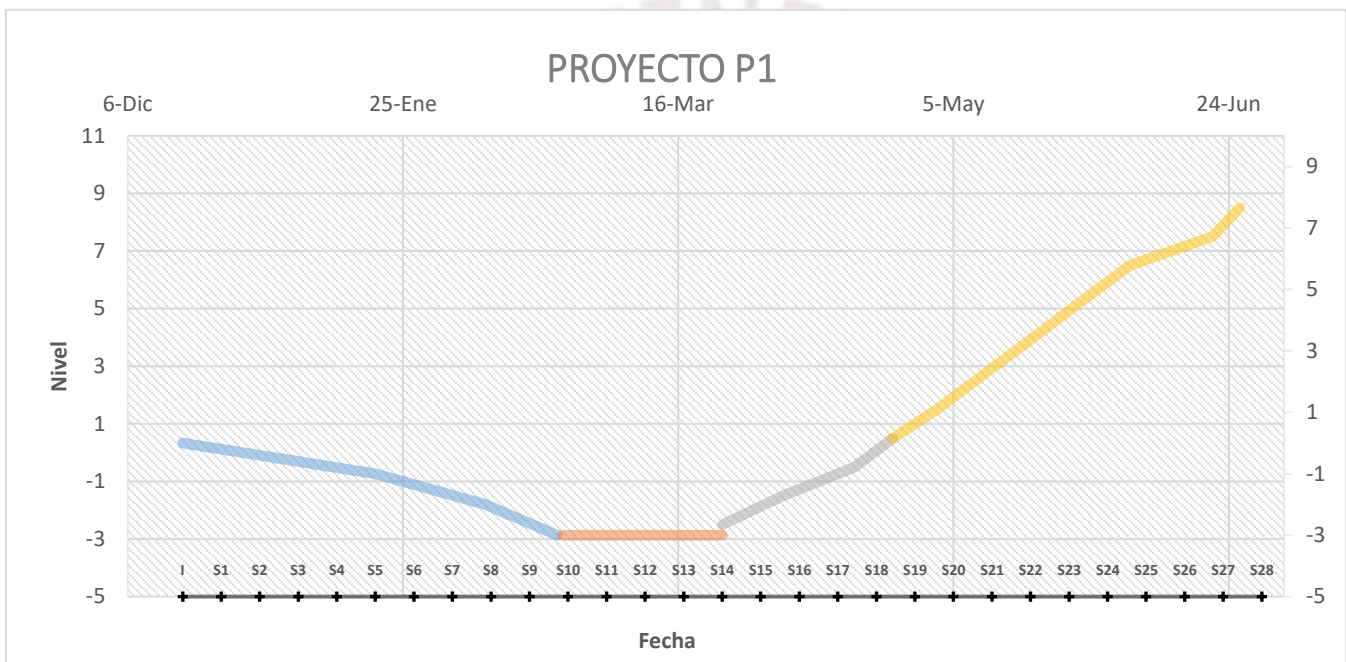
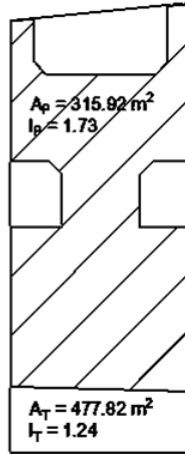
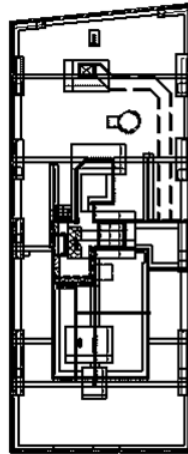


Diagrama 1 - Líneas de Flujo de P1



P2
Distrito
Miraflores
Constructora
C2

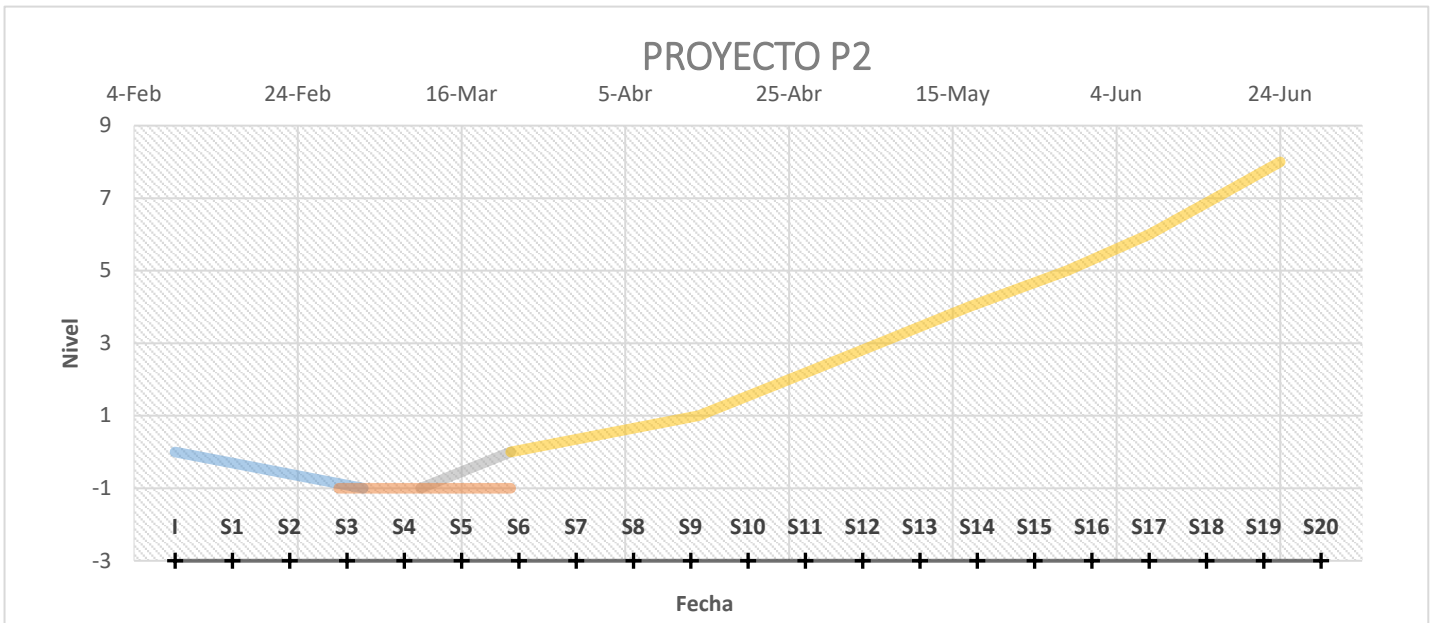
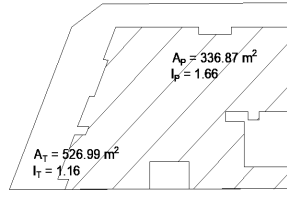
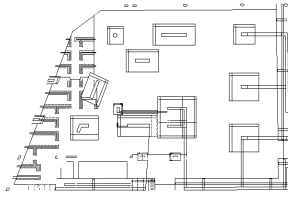


Diagrama 2 - Líneas de Flujo de P2



P3
Distrito
Miraflores
Constructora
C3

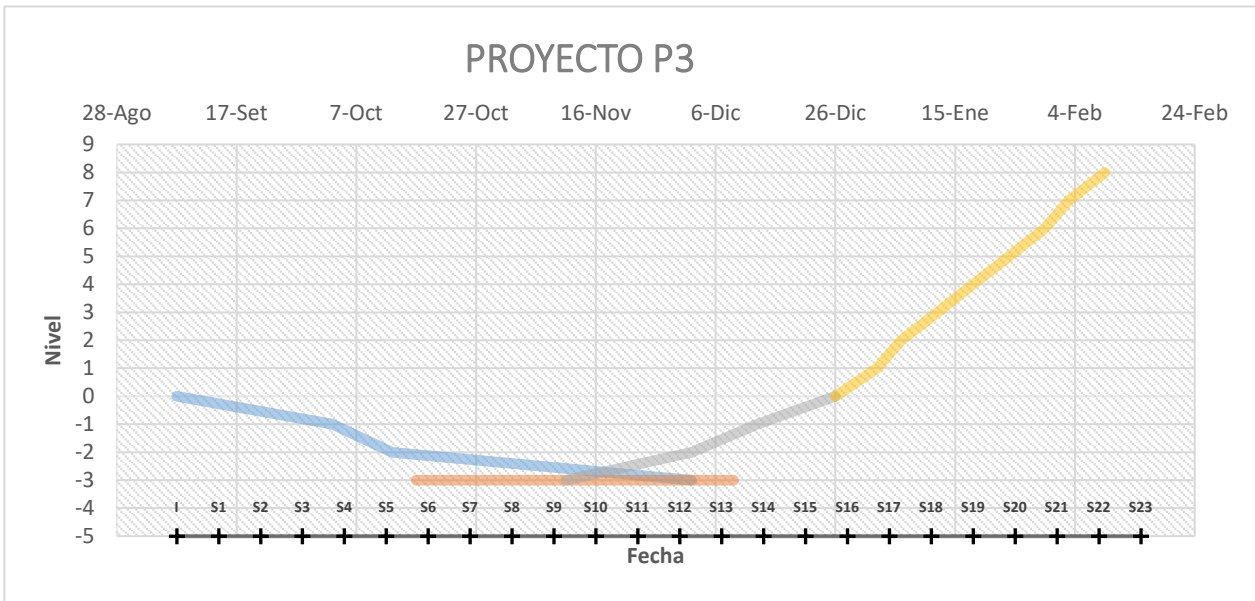
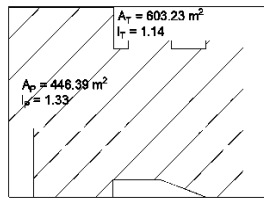
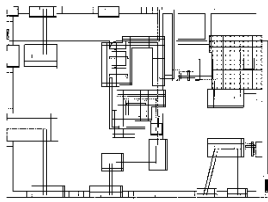


Diagrama 3 - Líneas de Flujo de P3



P4
Distrito
Santa Beatriz
Constructora
C4

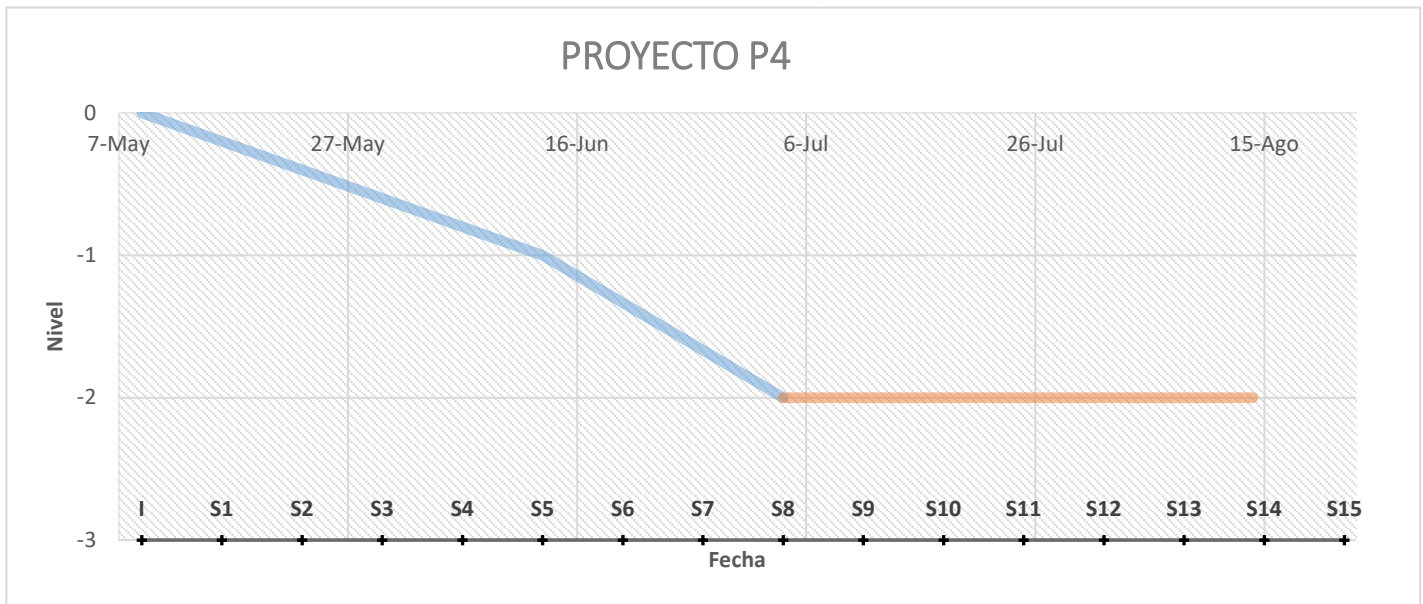
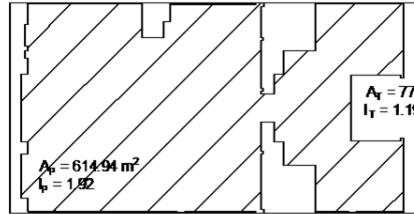
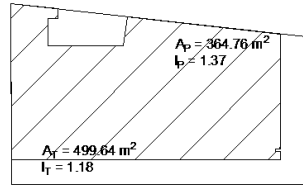
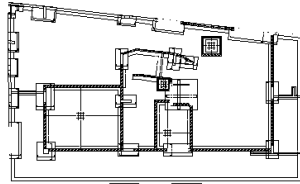


Diagrama 4 - Líneas de Flujo de P4



P5
Distrito
Surco
Constructora
C5



PROYECTO P5

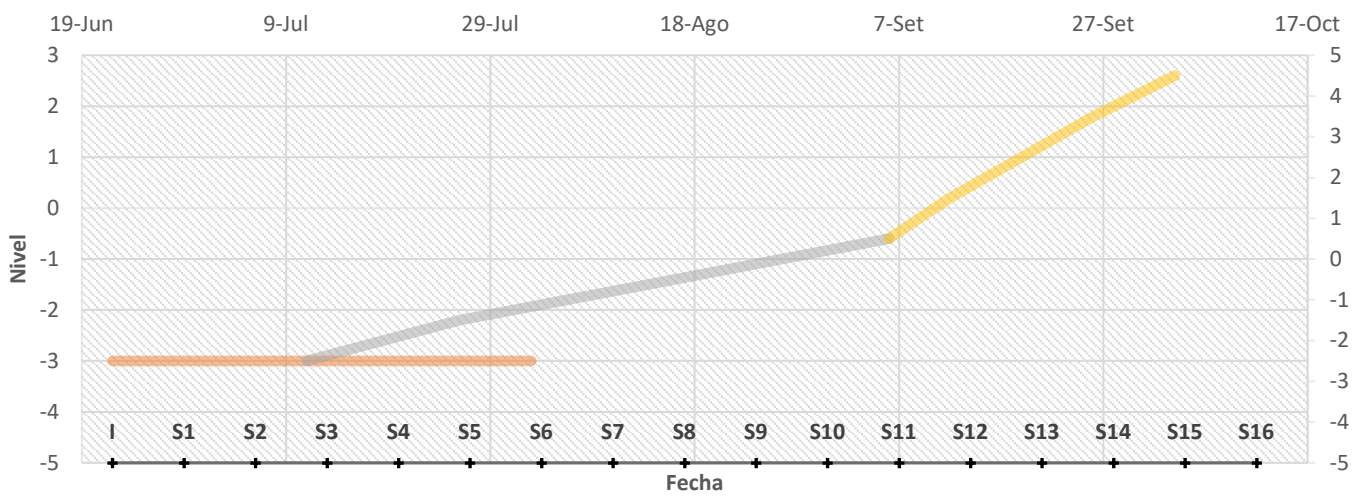
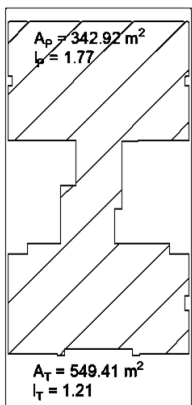
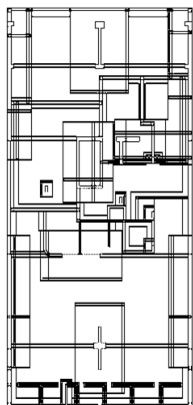


Diagrama 5 - Líneas de Flujo de P5



P6
Distrito San Miguel
Constructora C6



PROYECTO P6

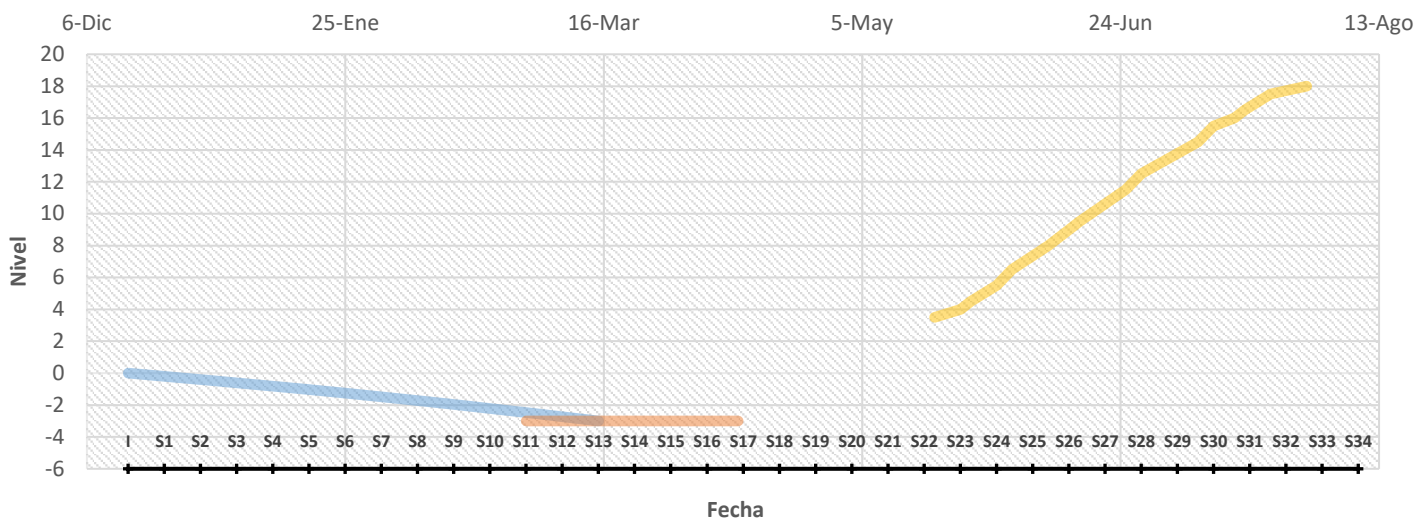
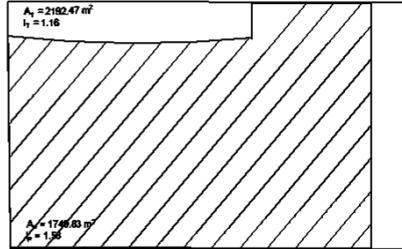
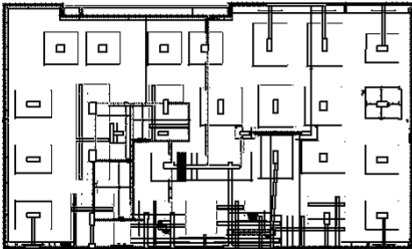


Diagrama 6 - Líneas de Flujo de P6



P7
Distrito
Surco
Constructora
C7



PROYECTO P7

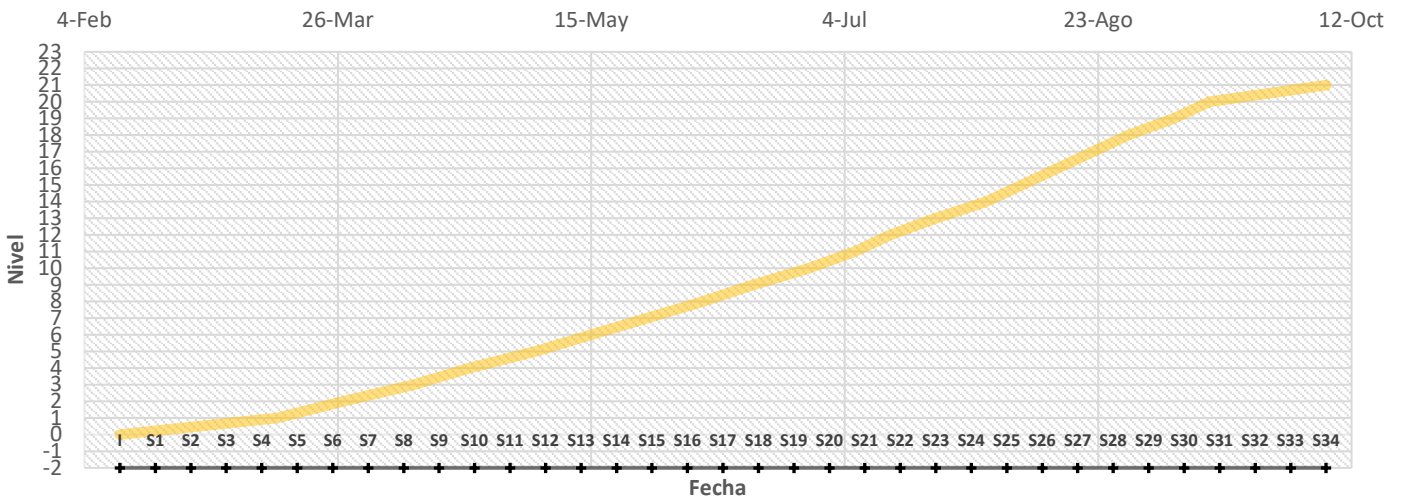


Diagrama 7 - Líneas de Flujo de P7

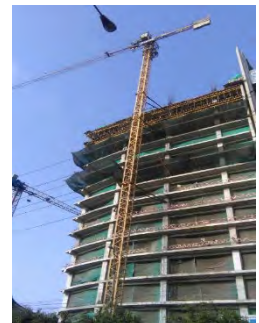


16/06/2017

12/07/2017



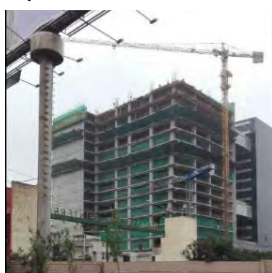
13/08/2017



22/08/2017

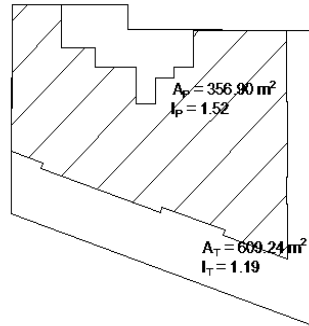
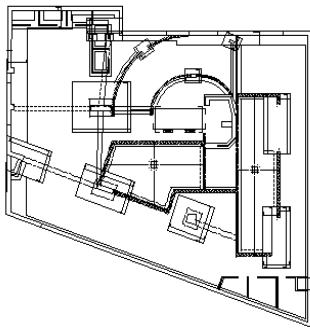


12/09/2017



10/08/2017

P8
Distrito
Magdalena
Constructora
C8



PROYECTO P8

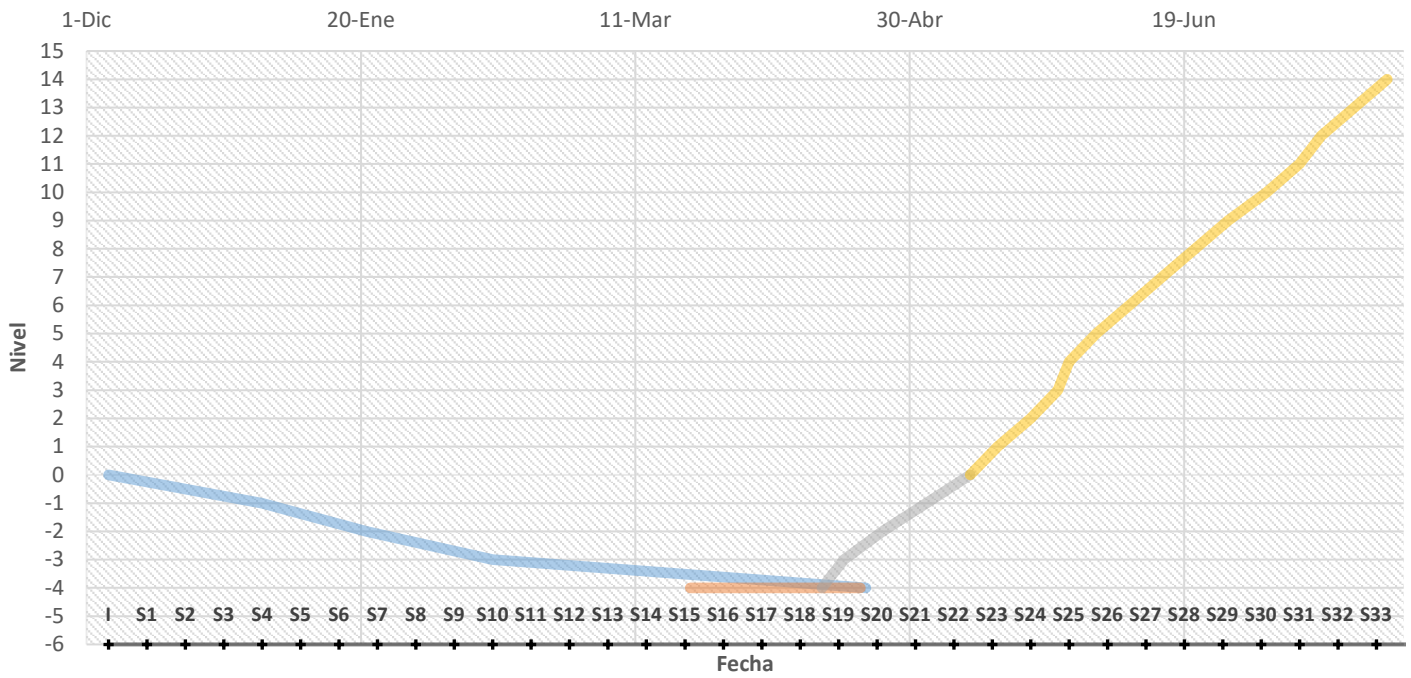
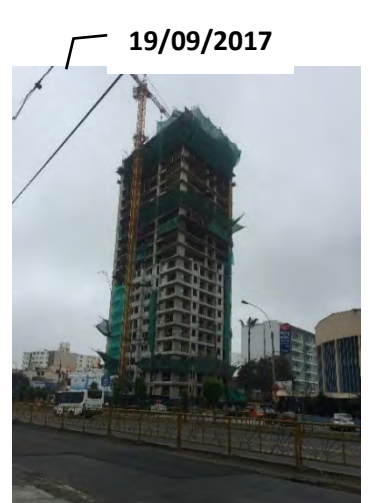
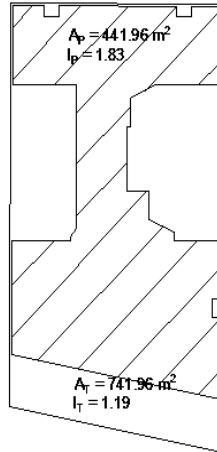
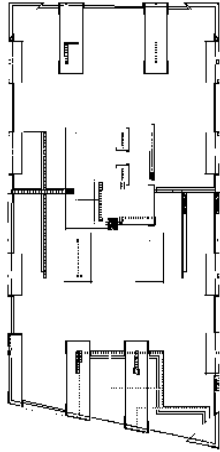


Diagrama 8 - Líneas de Flujo de P8



P9
Distrito
Jesús María
Constructora
C9



PROYECTO P9

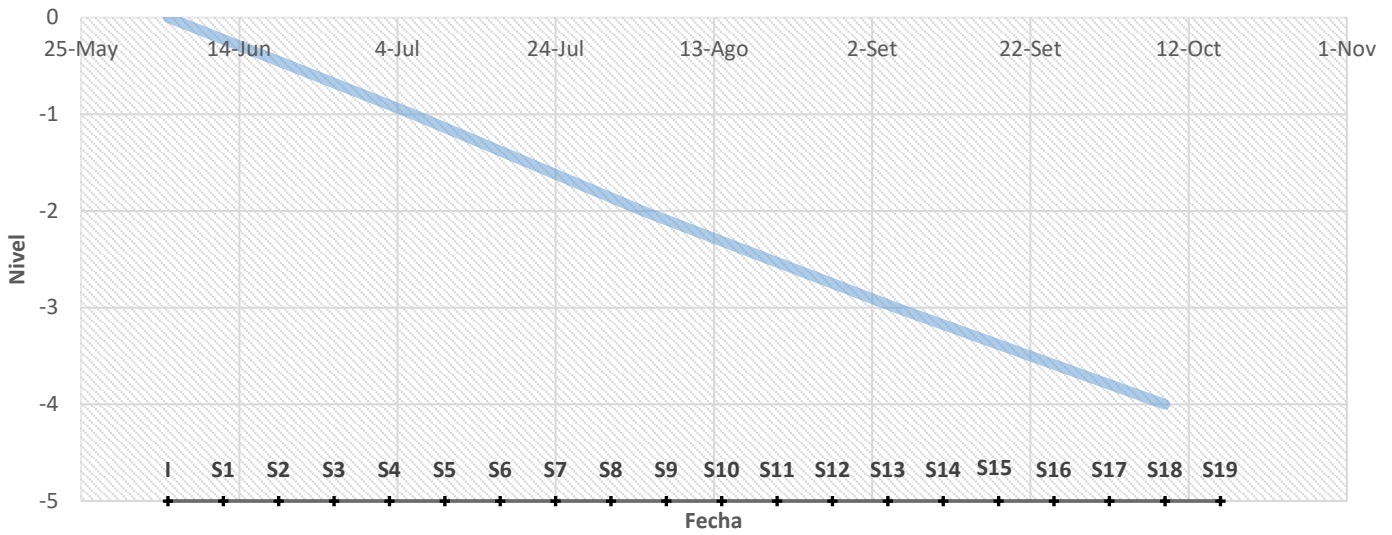
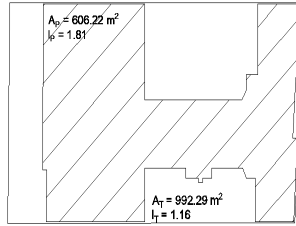
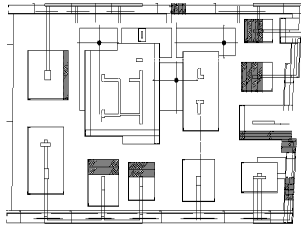


Diagrama 9 - Líneas de Flujo de P9



P10
Distrito
Magdalena
Constructora
C8



PROYECTO P10

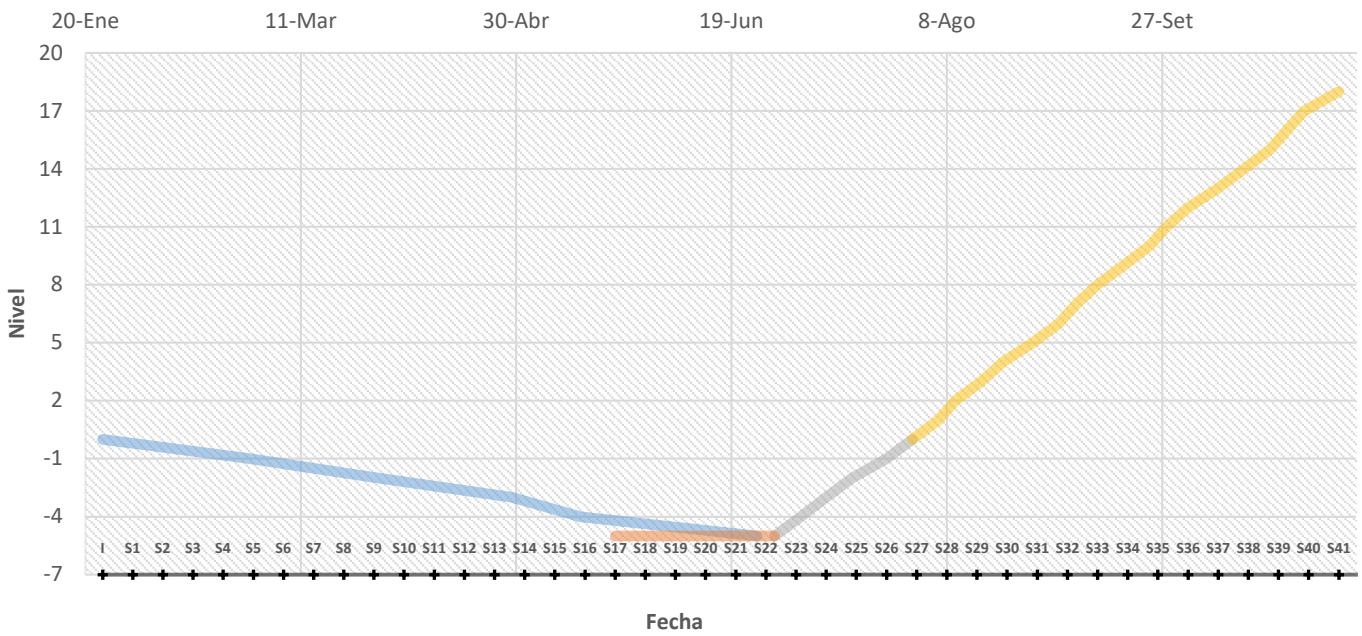


Diagrama 10 - Líneas de Flujo de P10

25/09/2017



02/10/2017



20/10/2017



P11
Distrito
San Isidro
Constructora
C5

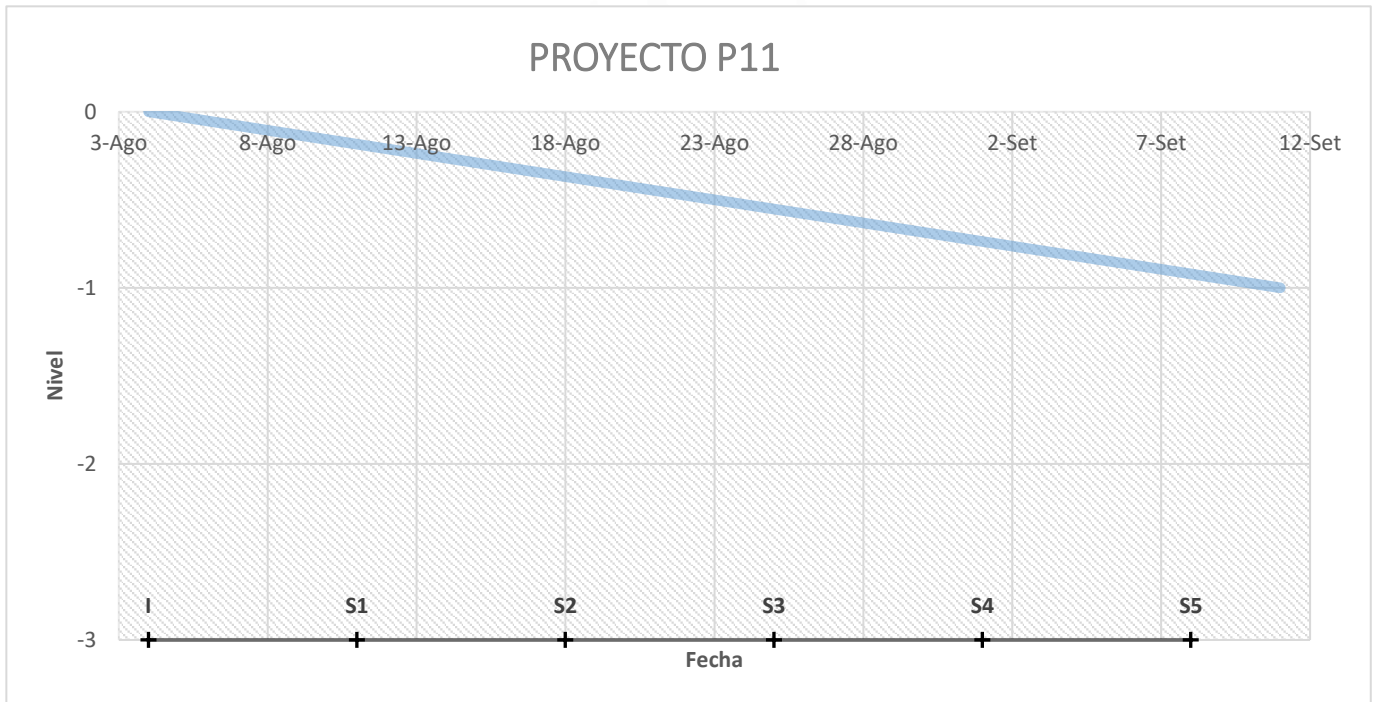
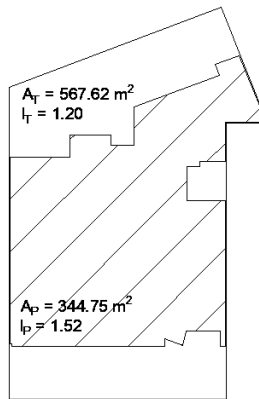
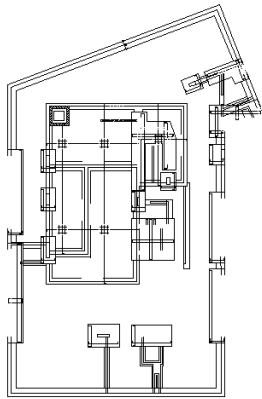


Diagrama 11 - Líneas de Flujo de P11

26/09/2017



20/10/2017



Del mismo modo, se organizó el segundo grupo de data obtenida por cada proyecto con las Partidas Maestras estudiadas. Los diagramas que presentan contienen la siguiente información:

1. Proyecto estudiado
2. Información de área terreno, perímetro terreno, área planta típica y perímetro planta típica
3. Cálculo de índice de compacidad terreno y planta típica
4. Gráficos de Líneas de Flujo

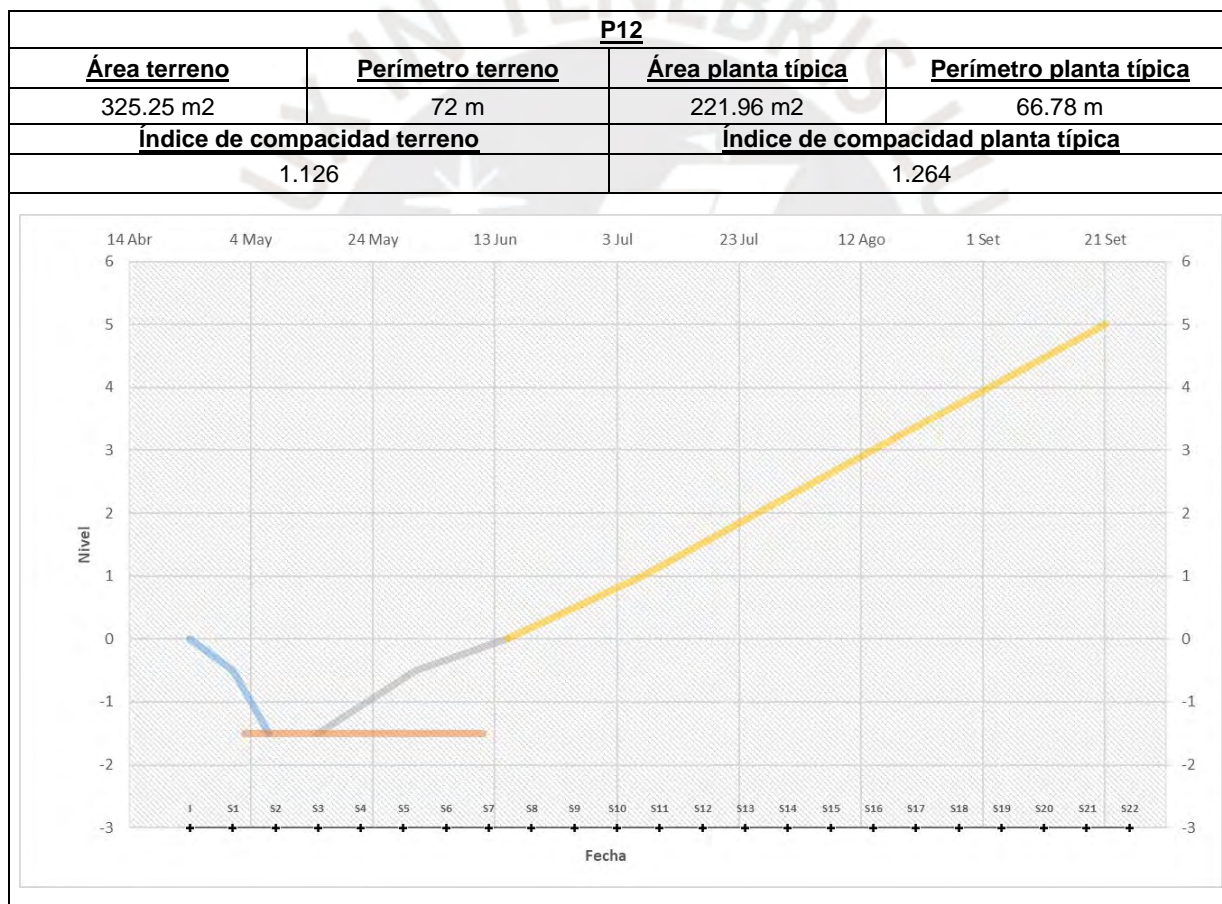


Diagrama 12 - Líneas de Flujo de P12

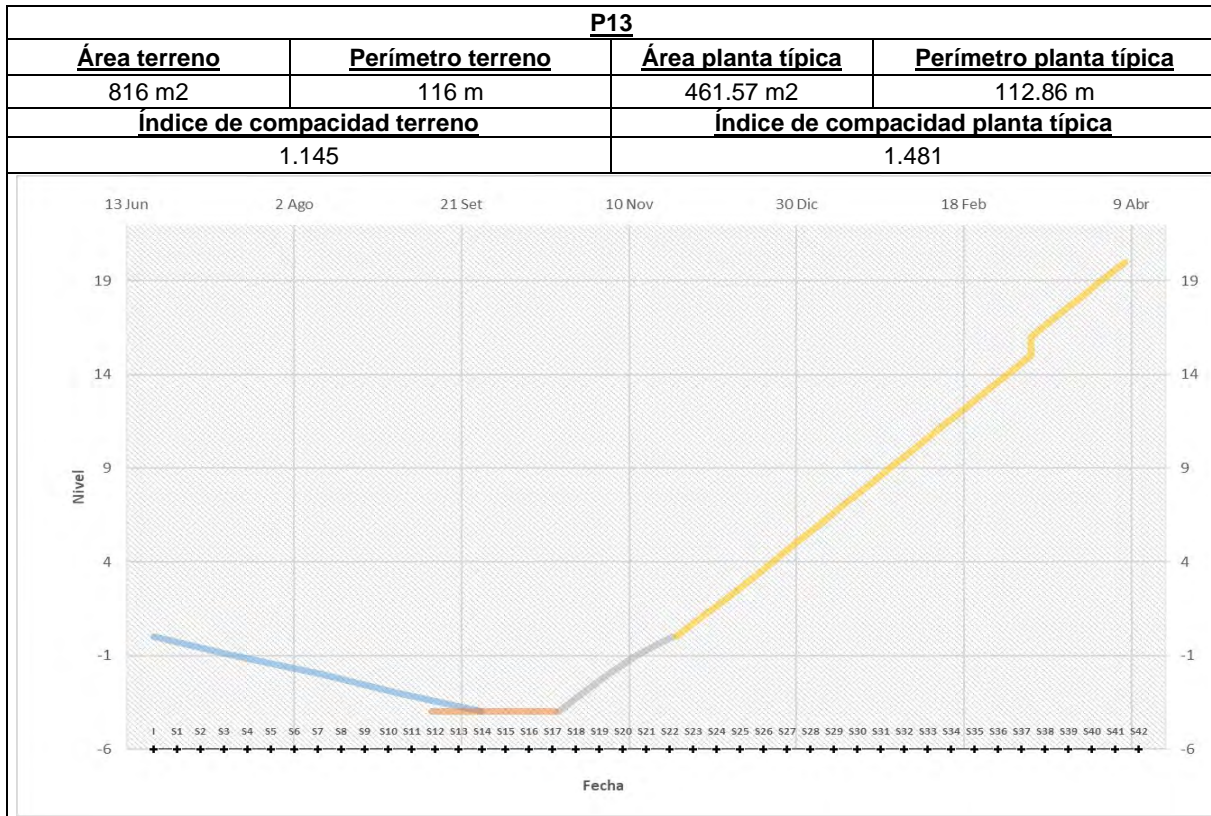


Diagrama 13 - Líneas de Flujo de P13

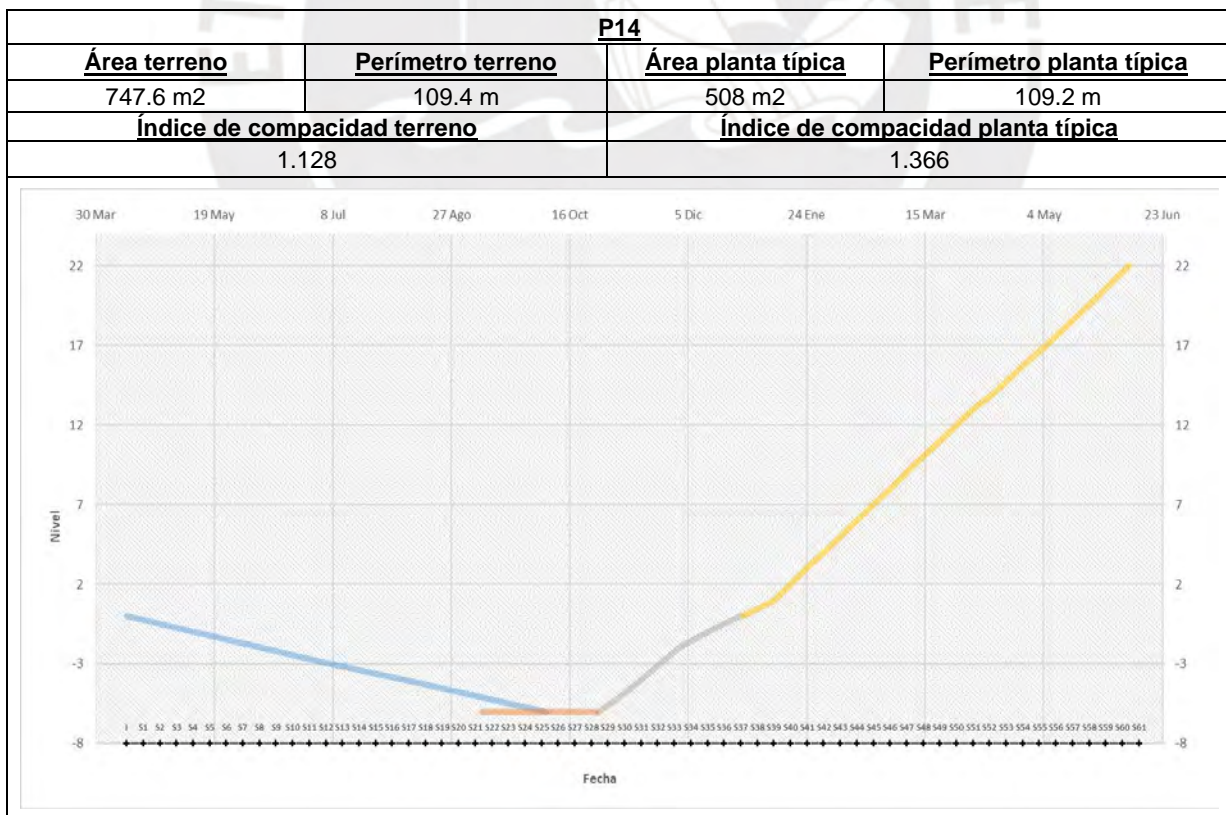


Diagrama 14 - Líneas de Flujo de P14

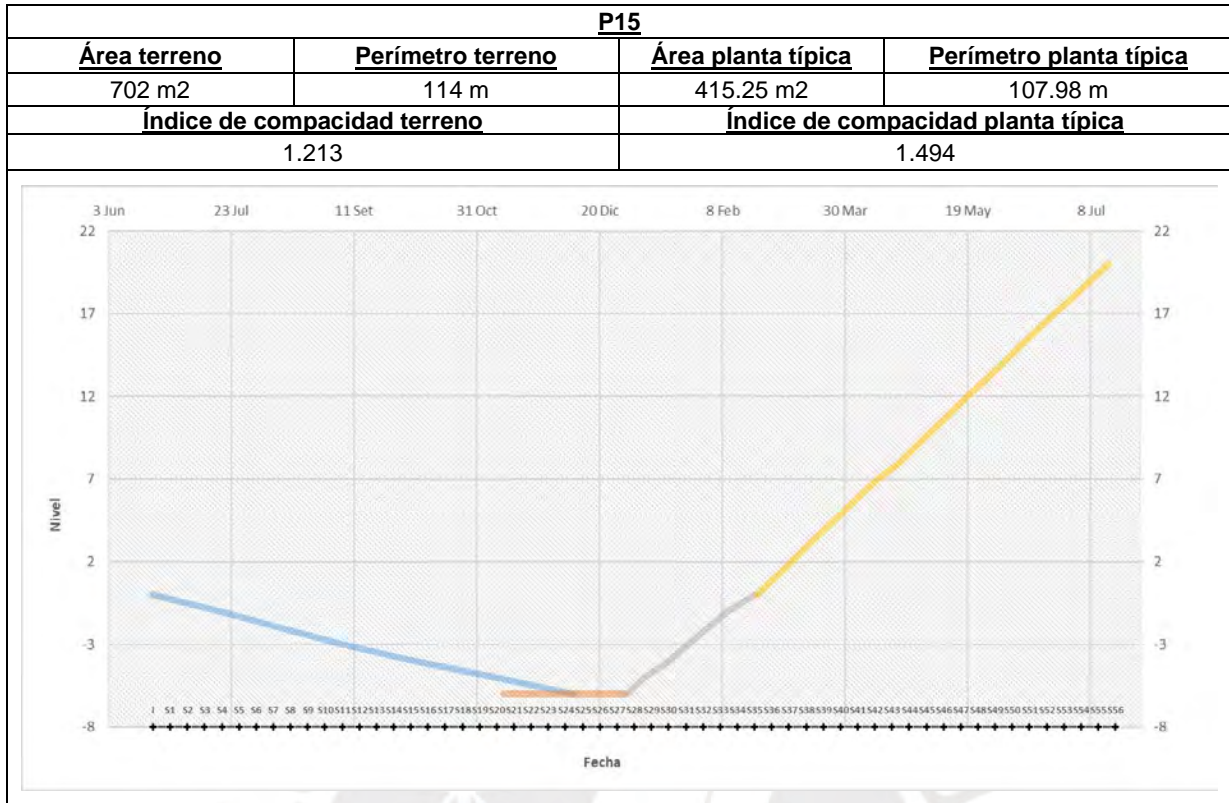


Diagrama 15 - Líneas de Flujo de P15

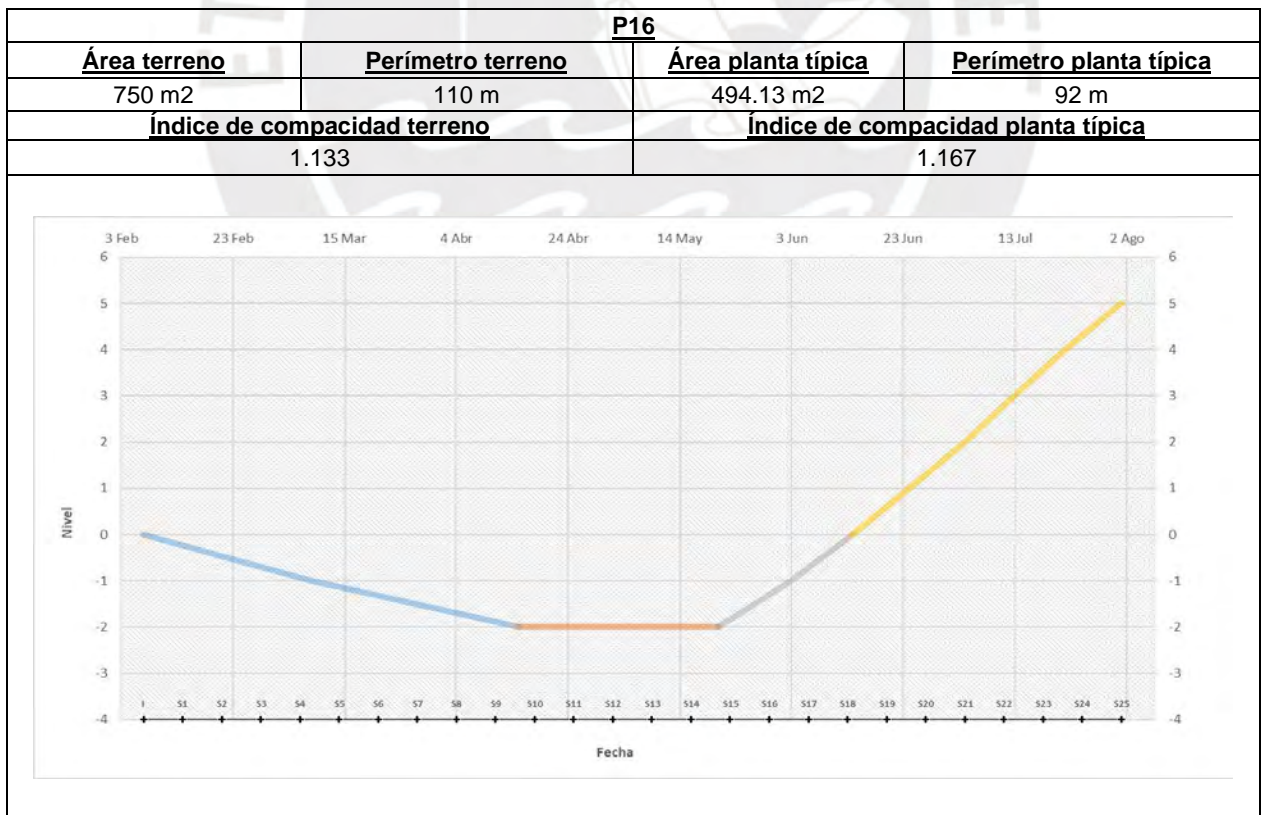


Diagrama 16 - Líneas de Flujo de P16

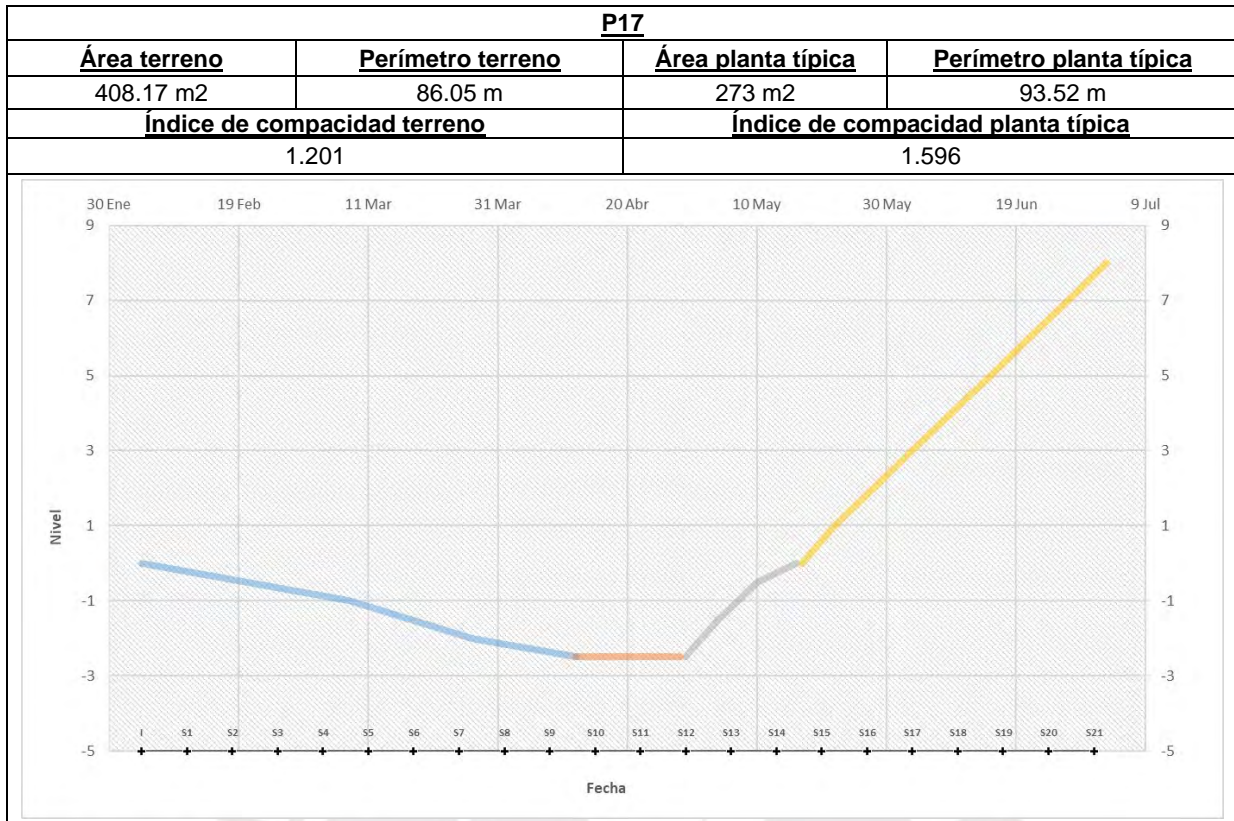


Diagrama 17 - Líneas de Flujo de P17

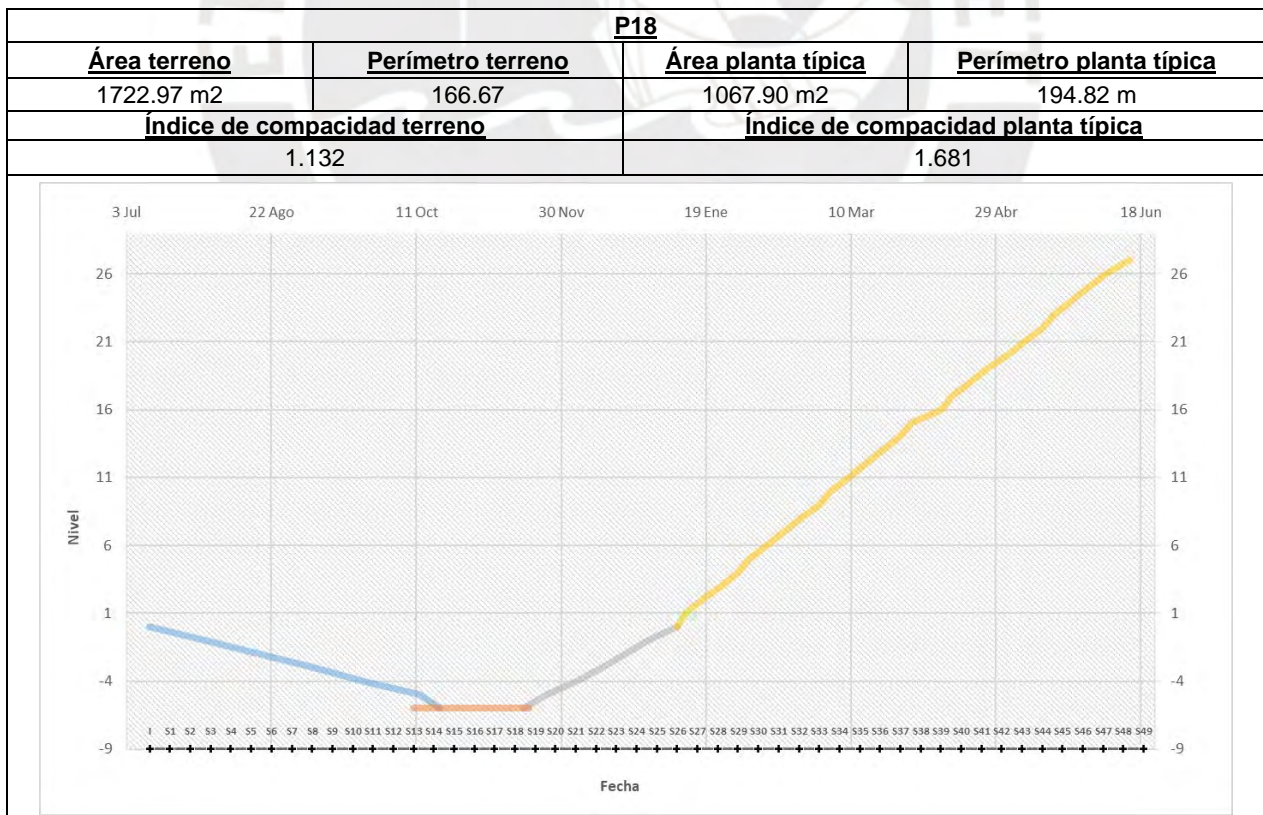


Diagrama 18 - Líneas de Flujo de P18

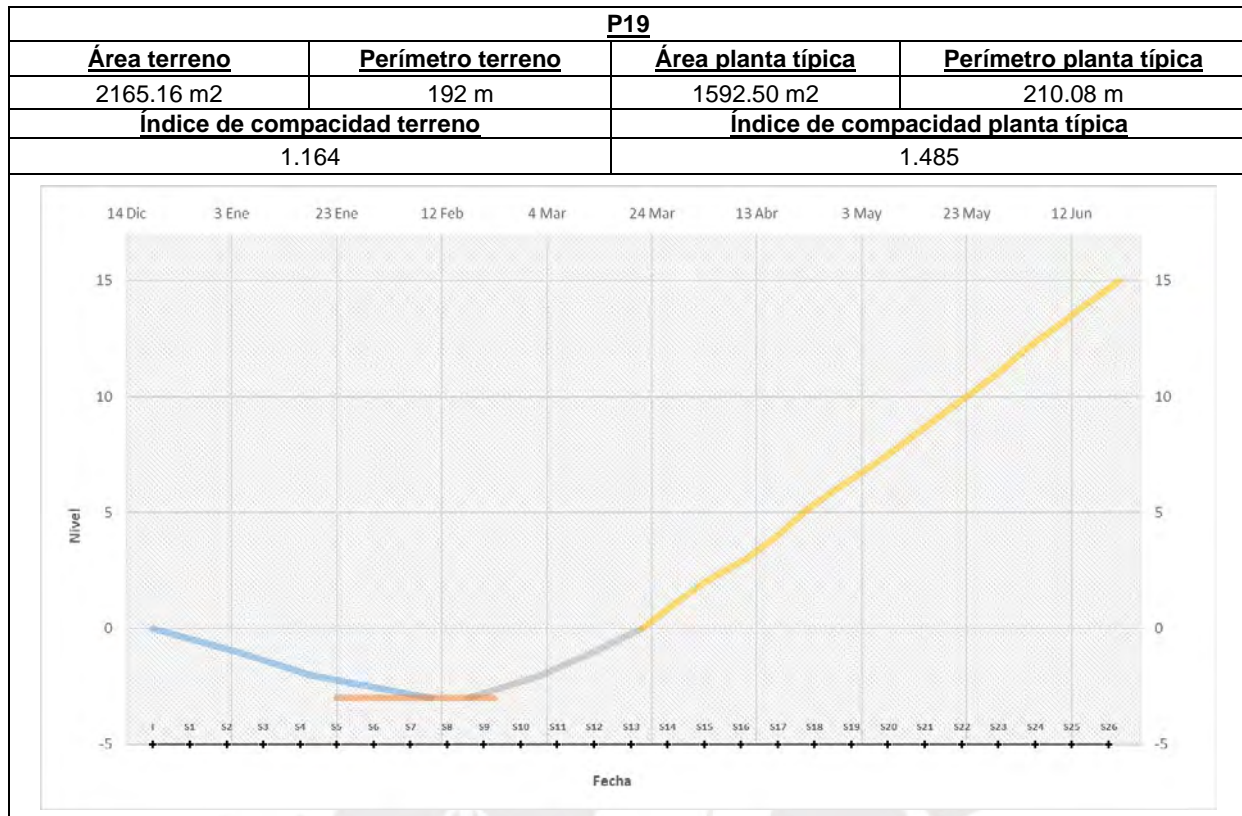


Diagrama 19 - Líneas de Flujo de P19

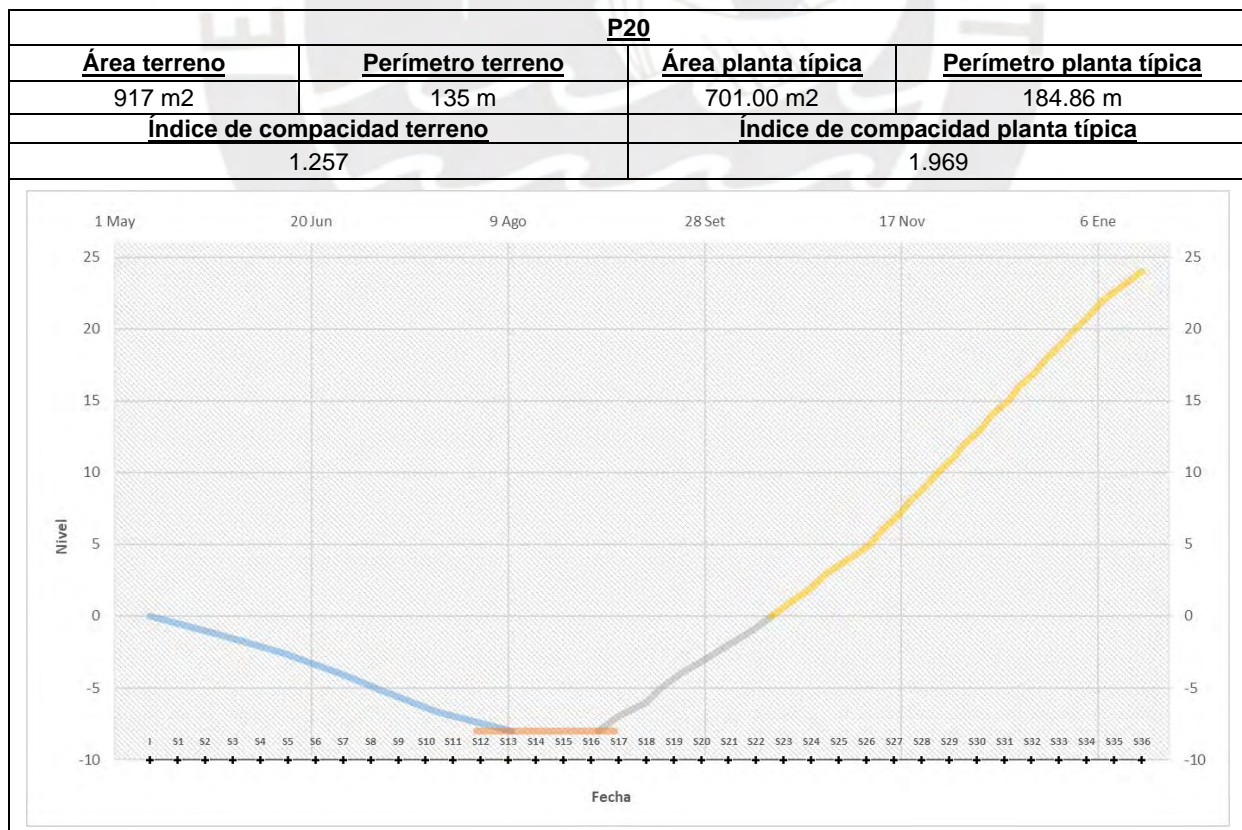


Diagrama 20 - Líneas de Flujo de P20

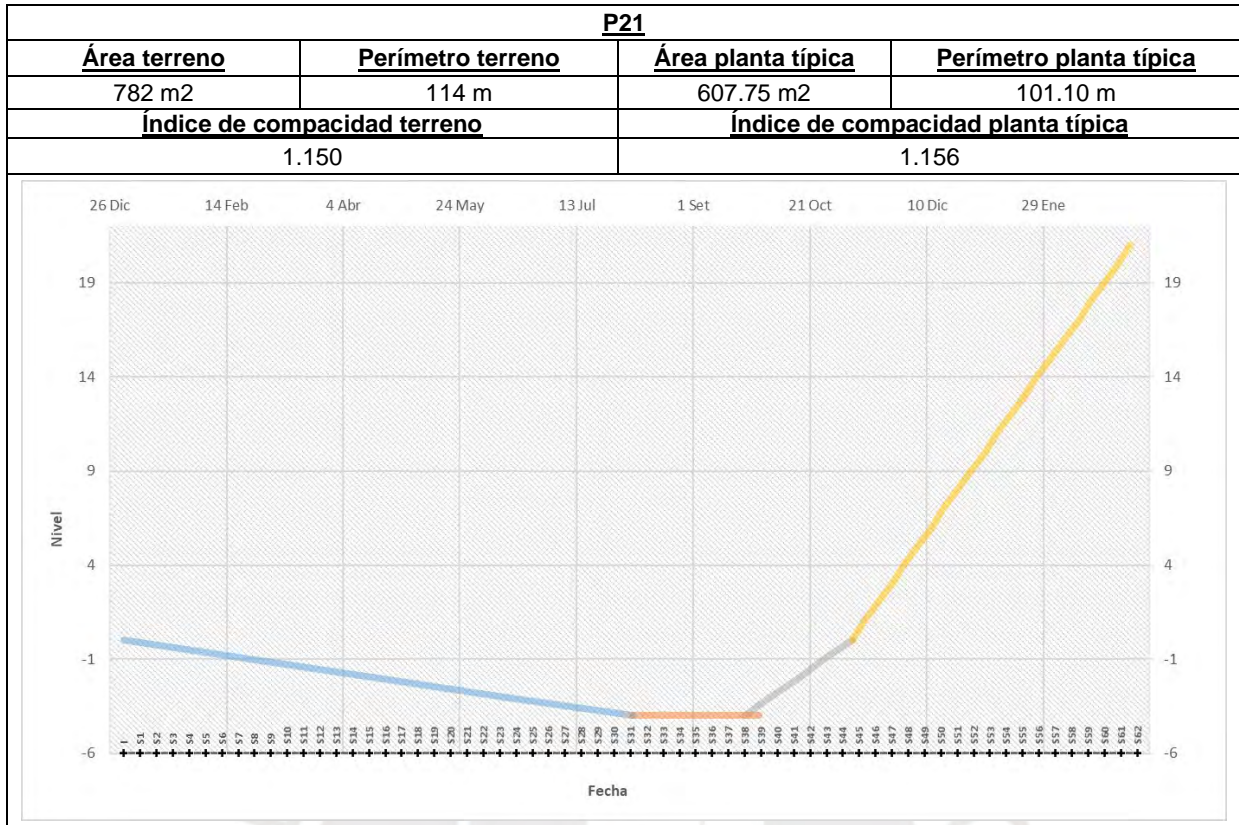


Diagrama 21 - Líneas de Flujo de P21

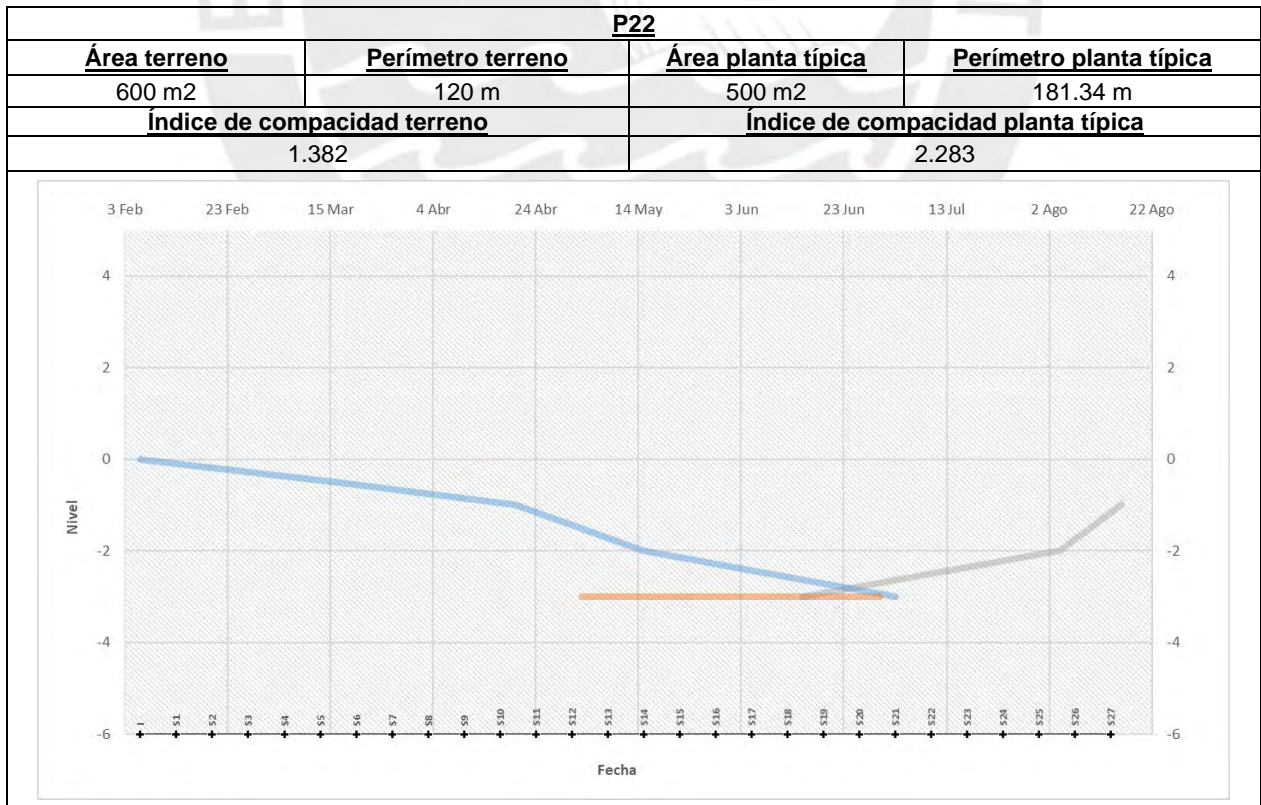


Diagrama 22 - Líneas de Flujo de P22

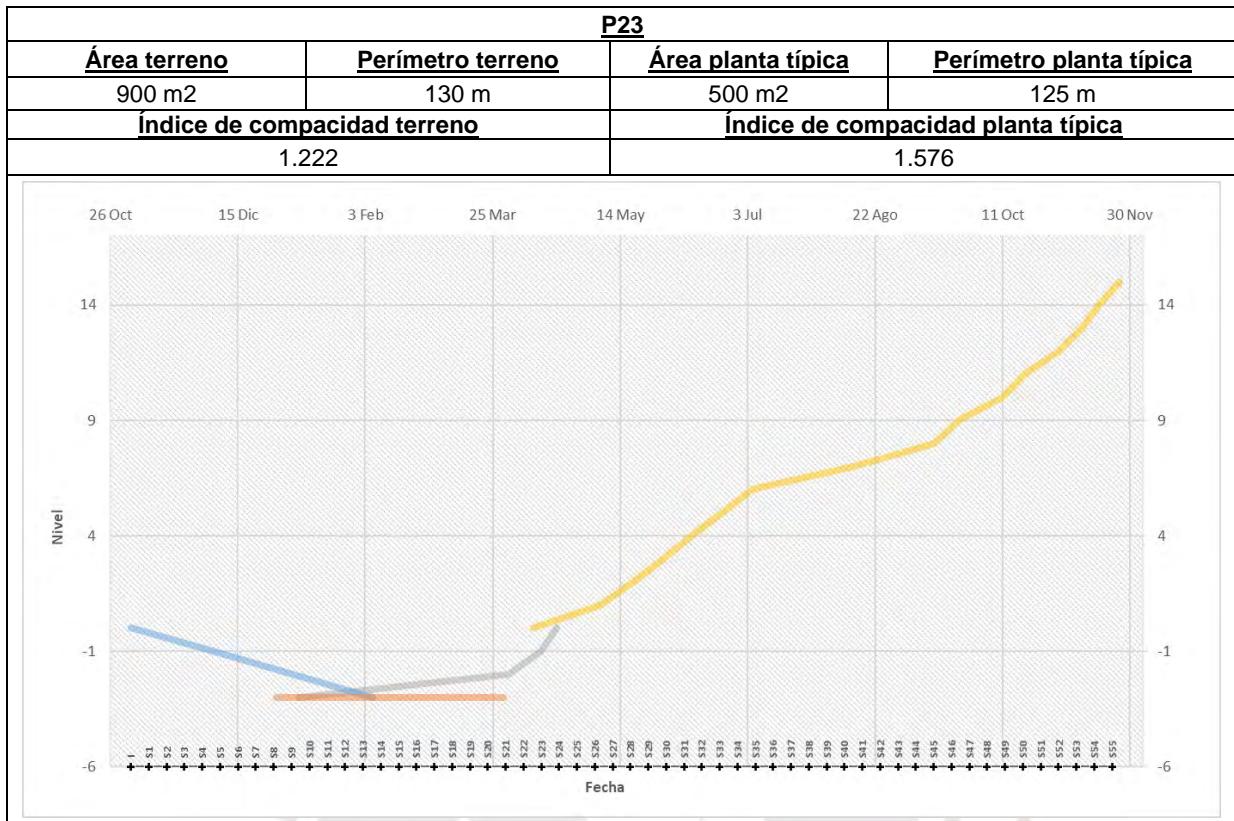


Diagrama 23 - Líneas de Flujo de P23

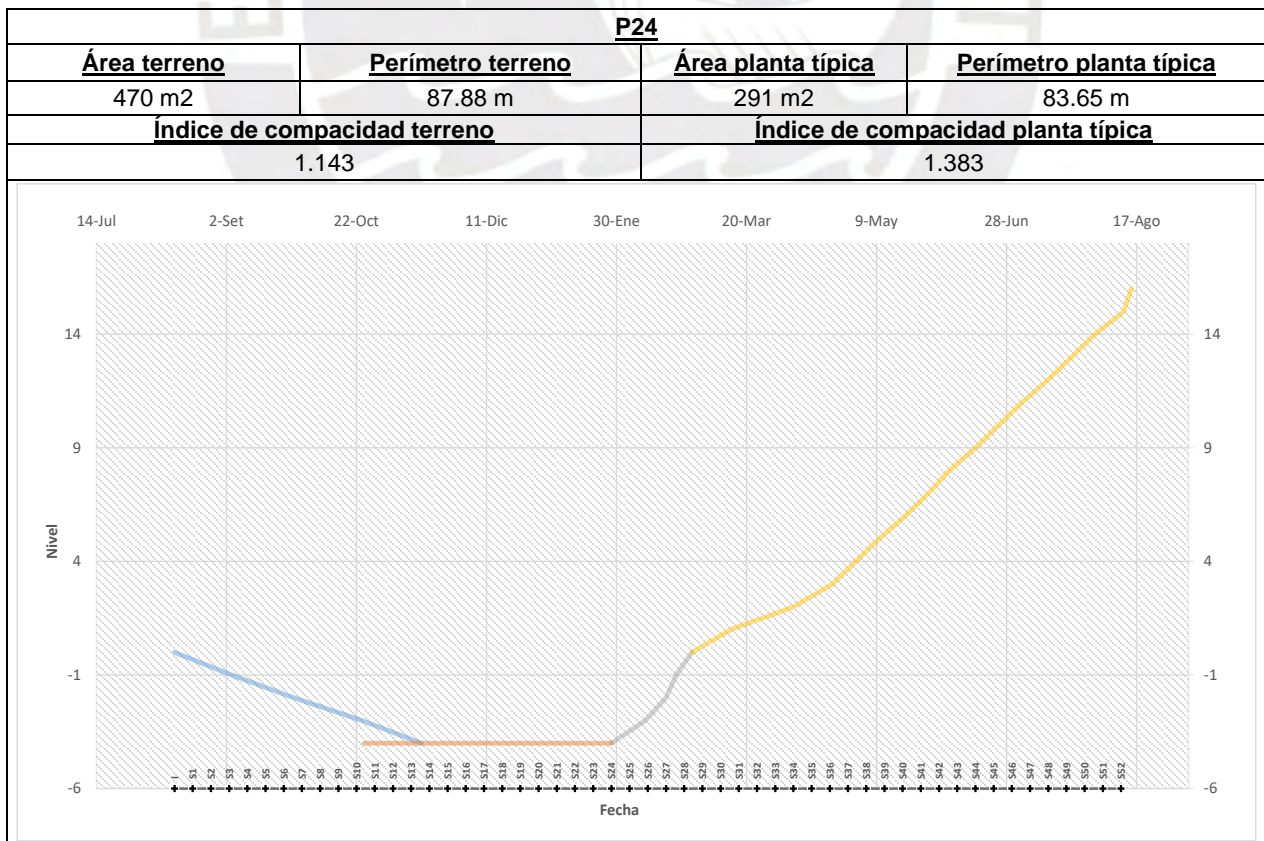


Diagrama 24 - Líneas de Flujo de P24

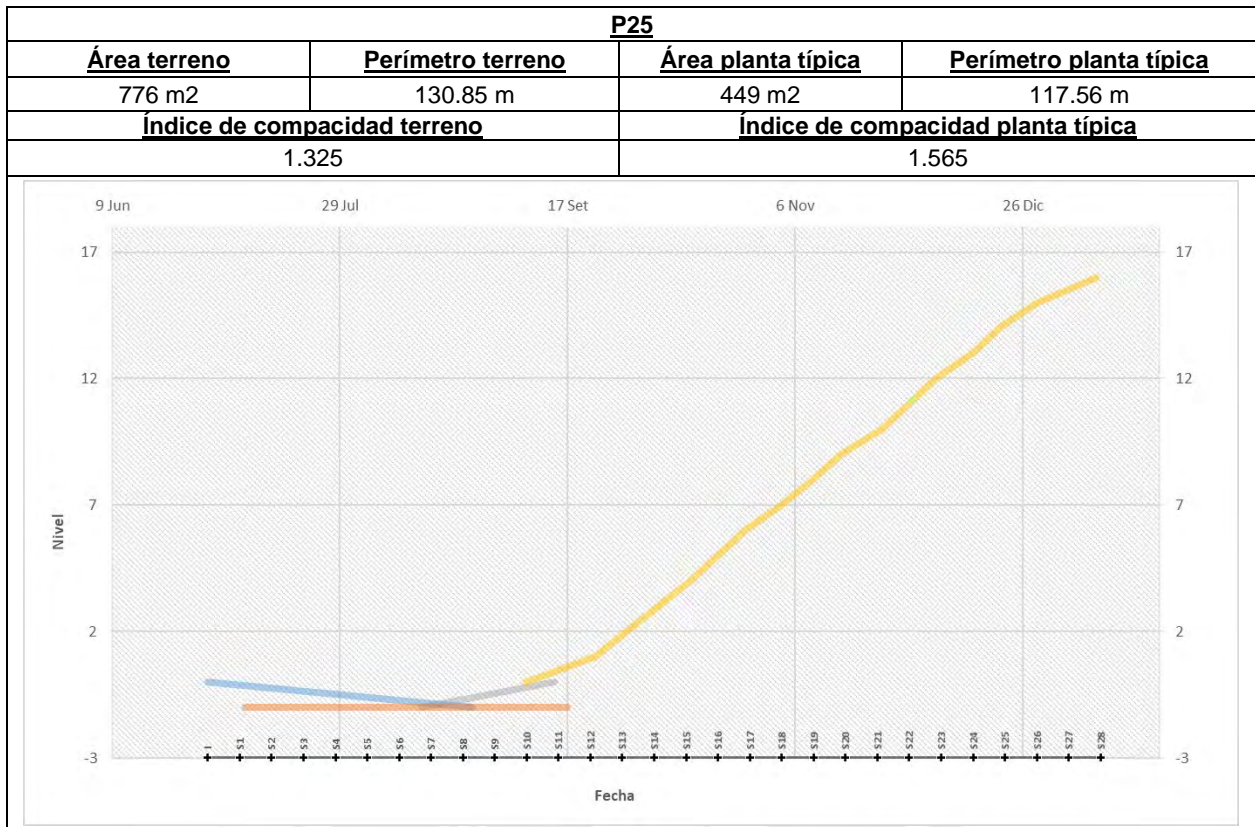


Diagrama 25 - Líneas de Flujo de P25

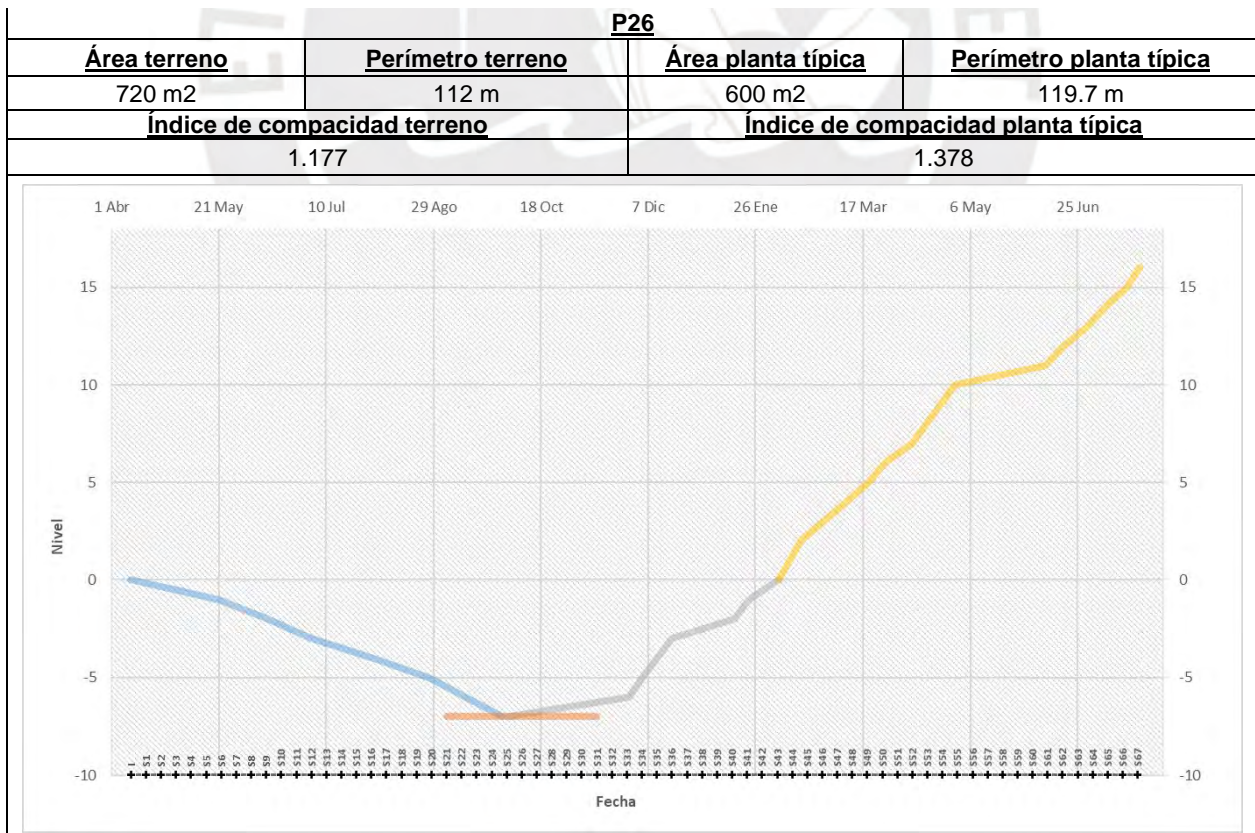


Diagrama 26 - Líneas de Flujo de P26

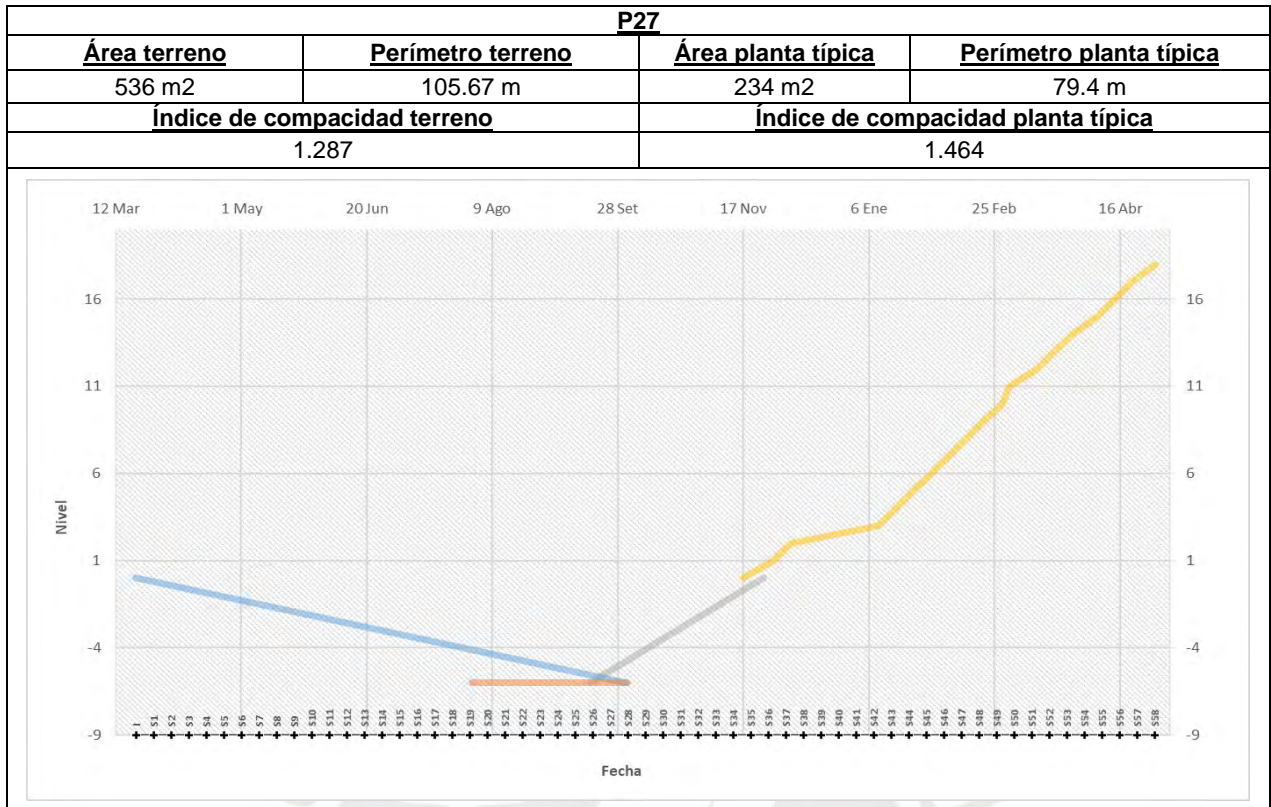


Diagrama 27 - Líneas de Flujo de P27

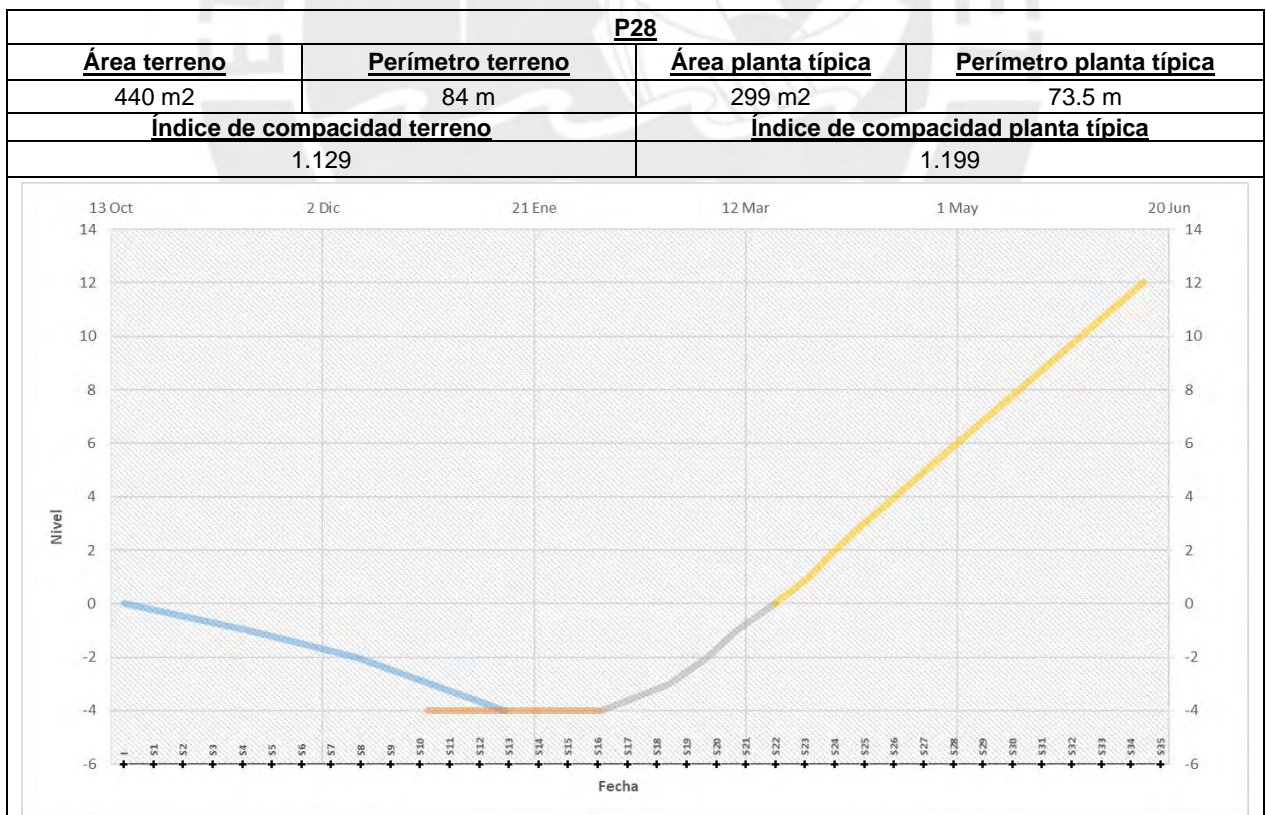


Diagrama 28 - Líneas de Flujo de P28

4.2 Líneas de Flujo por Partida Maestra

Luego de representadas las Líneas de Flujo por proyecto, estas se agrupan por Partidas Maestra en gráficos donde, idealmente, se ubica el inicio de cada una de las partidas en la misma fecha, de tal modo que luego se puedan hacer los arreglos estadísticos.

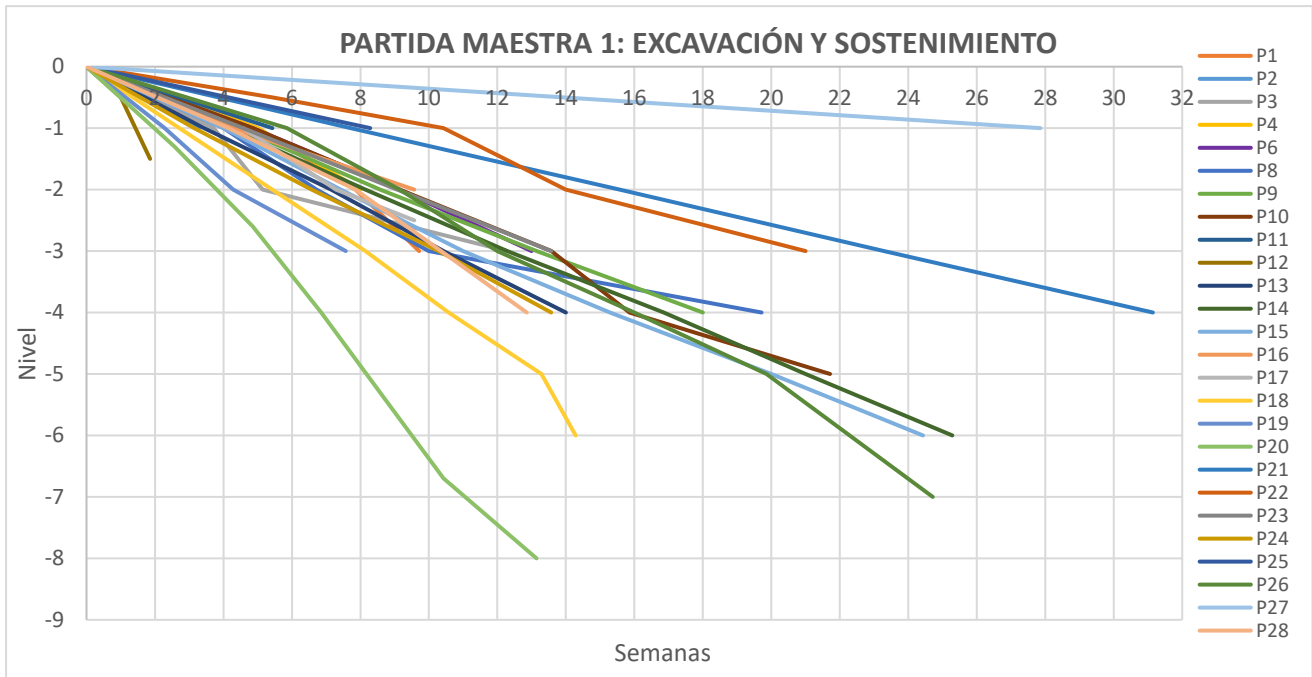


Diagrama 29 - Líneas de Flujo para Excavación y sostenimiento

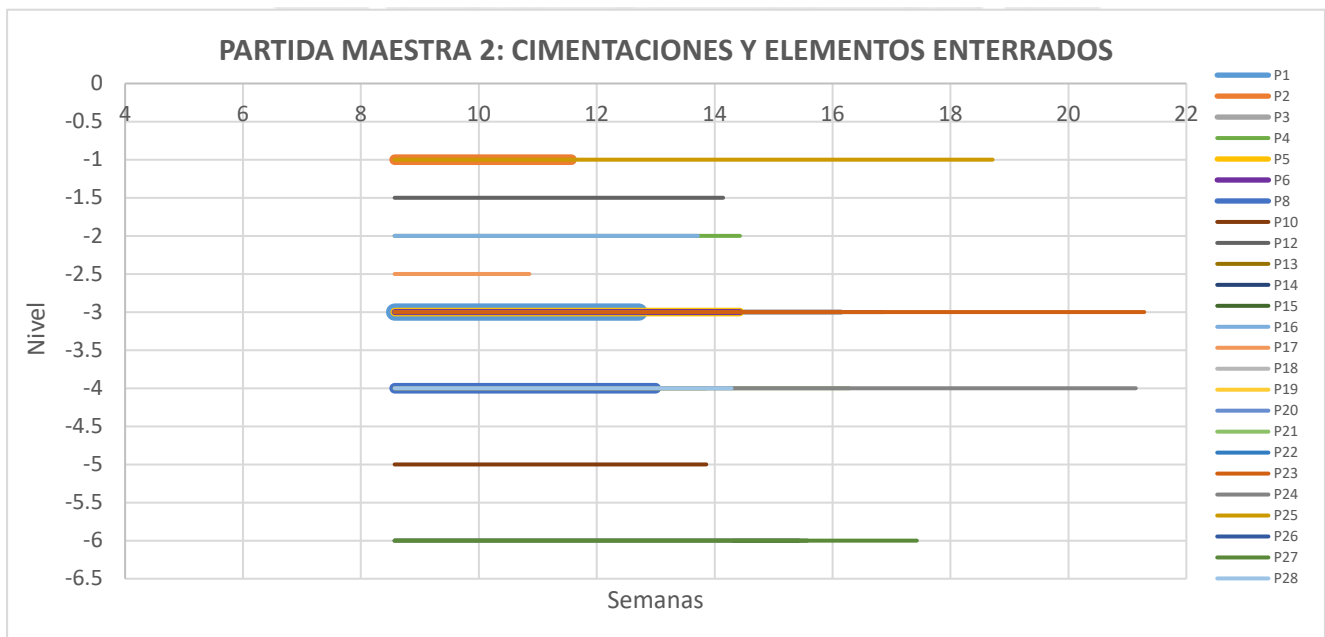


Diagrama 30 - Líneas de Flujo para Cimentaciones y elementos enterrados

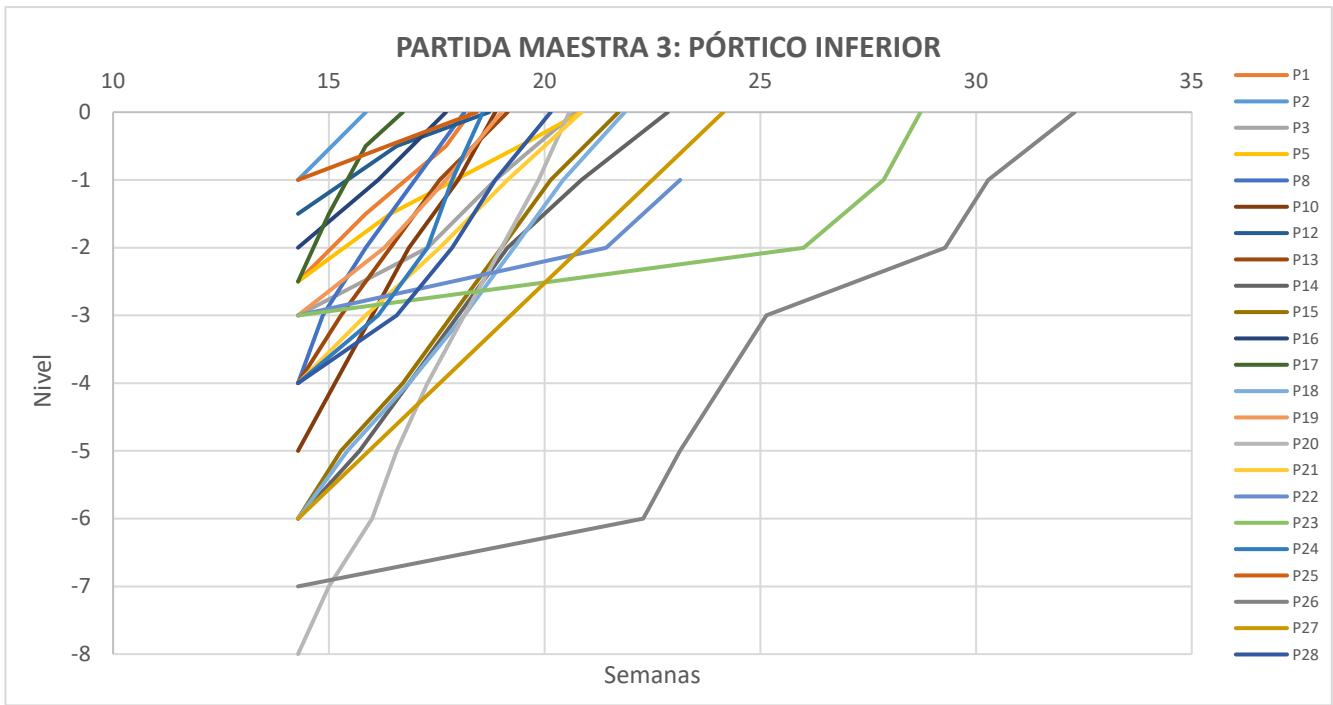


Diagrama 31 - Líneas de Flujo para Pórtico inferior

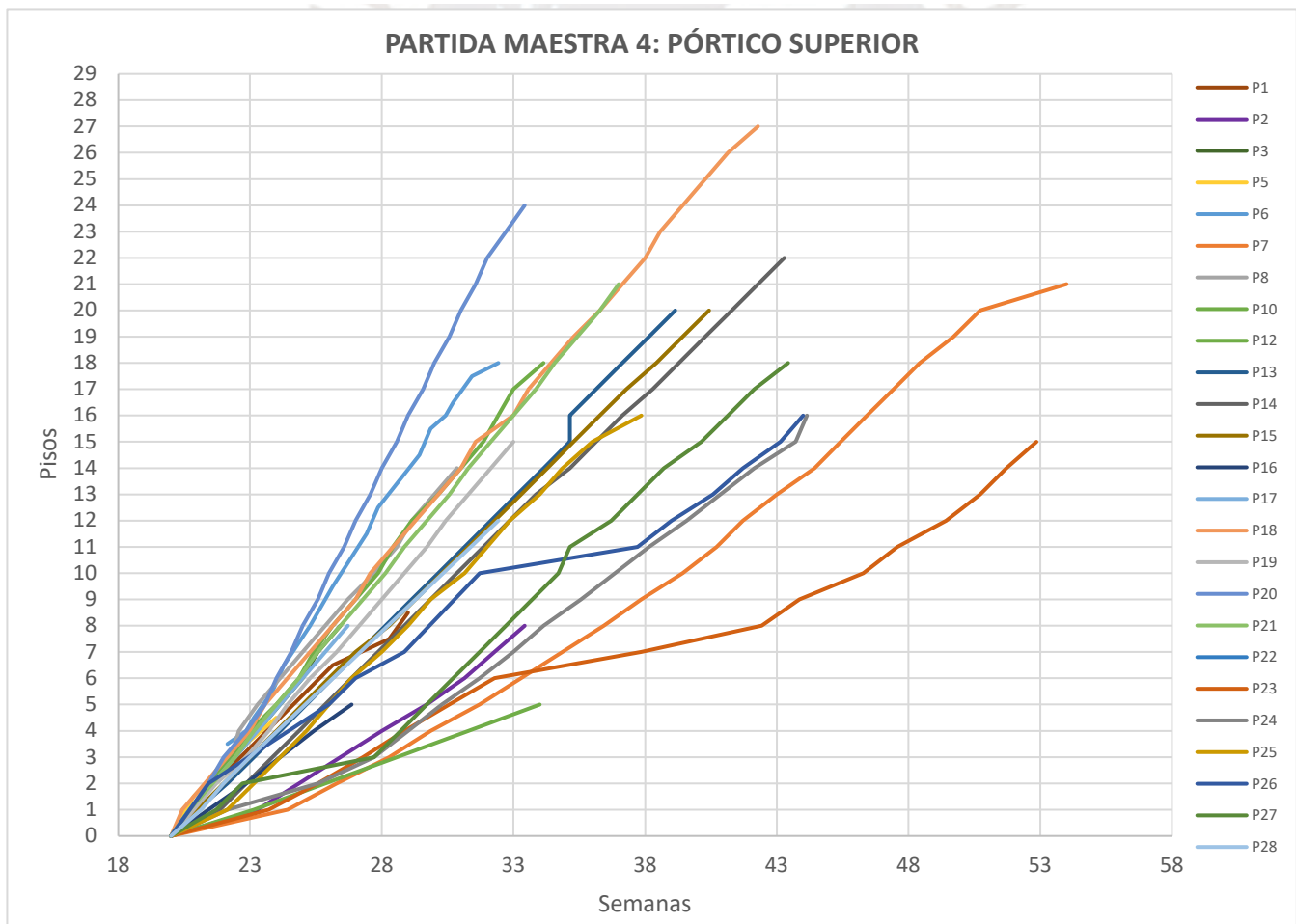


Diagrama 32 - Líneas de Flujo para Pórtico superior

4.3 Cálculo de Cronograma Maestro

- Partida Maestra 1: Excavación y sostenimiento

Para las Líneas de Flujo de la Partida Maestra correspondiente a excavación y sostenimiento se halló la línea de tendencia (a modo de recta) que corresponde a cada uno de los proyectos. Esta línea contiene una ecuación (todas con puntos de partida en el origen de coordenadas) en donde la pendiente corresponde a la relación de nivel/semana. Por este motivo, la pendiente de cada una de las rectas expresa la velocidad de trabajo medio (o el promedio de velocidad de avance).

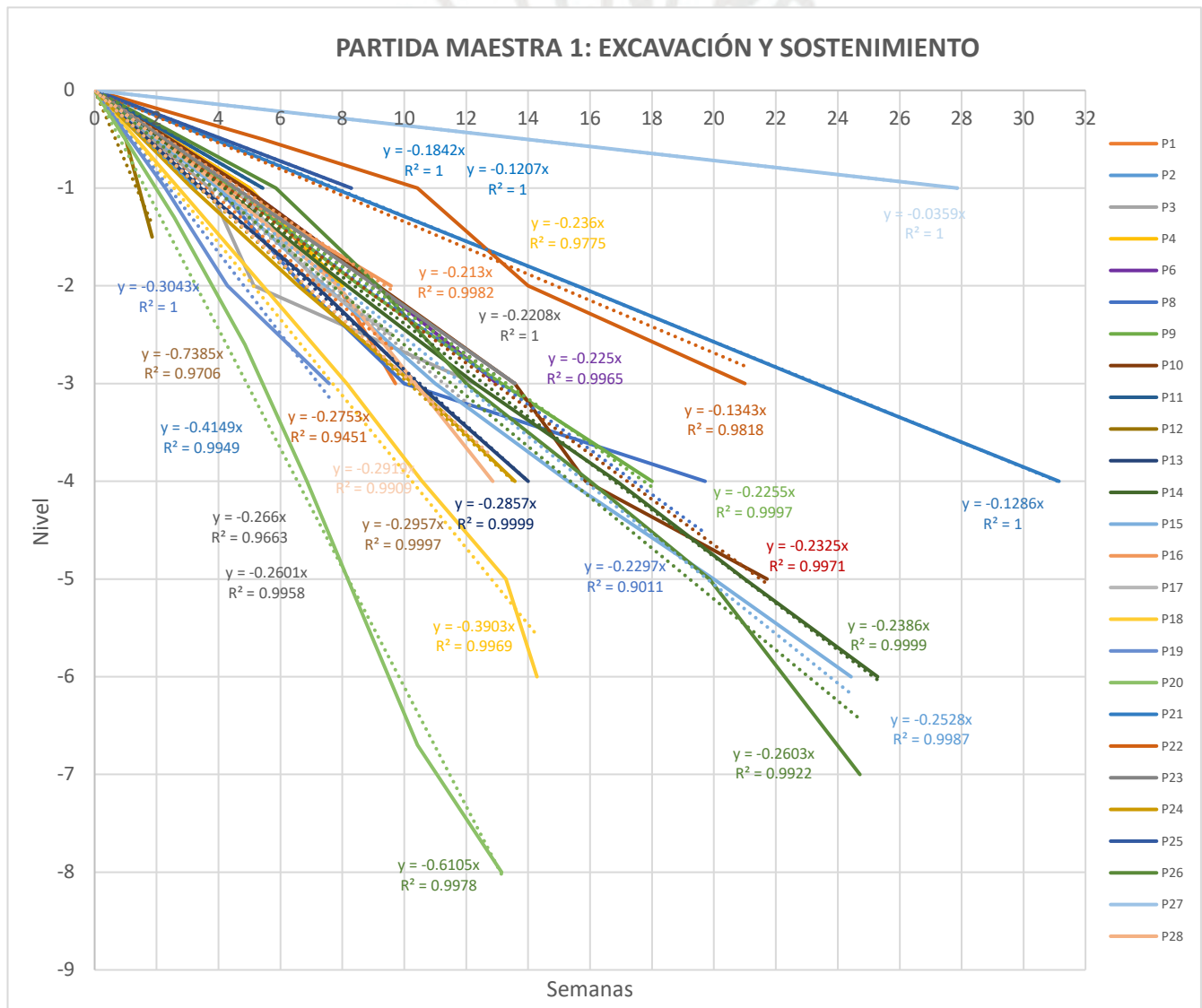


Diagrama 33 – Tendencias de Líneas de Flujo para Excavación y sostenimiento

Con las pendientes obtenidas de las líneas de tendencia, se calculó la media de las pendientes para cada uno de los proyectos analizados. Con esta información se haya la velocidad media para la Partida Maestra estudiada. Así mismo, se calculó la desviación de los datos.

Tabla 3 – Nivel por semana medio para Excavación y sostenimiento

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Media
P1	0.275	P16	0.213	0.272
P2	0.304	P17	0.260	Desviación
P3	0.266	P18	0.390	0.14
P4	0.236	P19	0.414	
P8	0.229	P20	0.610	
P9	0.225	P21	0.128	
P11	0.184	P22	0.134	
P10	0.232	P23	0.220	
P6	0.225	P24	0.295	
P12	0.738	P25	0.120	
P13	0.285	P26	0.260	
P14	0.238	P27	0.035	
P15	0.252	P28	0.291	

Del mismo modo, se grafica en una tabla de barras la diferencia en velocidades según el tipo de sostenimiento. De este modo, se presentan los resultados en el diagrama 34.

Tabla 4 – Sistema de sostenimiento por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Sistema de sostenimiento	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Sistema de sostenimiento
P2	0.304	Calzaduras	P15	0.252	Muros anclados
P12	0.738	Calzaduras	P16	0.213	Muros anclados
P28	0.291	Calzaduras	P17	0.260	Muros anclados
P1	0.275	Muros anclados	P18	0.390	Muros anclados
P3	0.266	Muros anclados	P19	0.414	Muros anclados
P4	0.236	Muros anclados	P20	0.610	Muros anclados
P8	0.229	Muros anclados	P21	0.128	Muros anclados
P9	0.225	Muros anclados	P22	0.134	Muros anclados
P11	0.184	Muros anclados	P23	0.220	Muros anclados
P10	0.232	Muros anclados	P24	0.295	Muros anclados
P6	0.225	Muros anclados	P25	0.120	Muros anclados
P13	0.285	Muros anclados	P26	0.260	Muros anclados
P14	0.238	Muros anclados	P27	0.035	Muros anclados

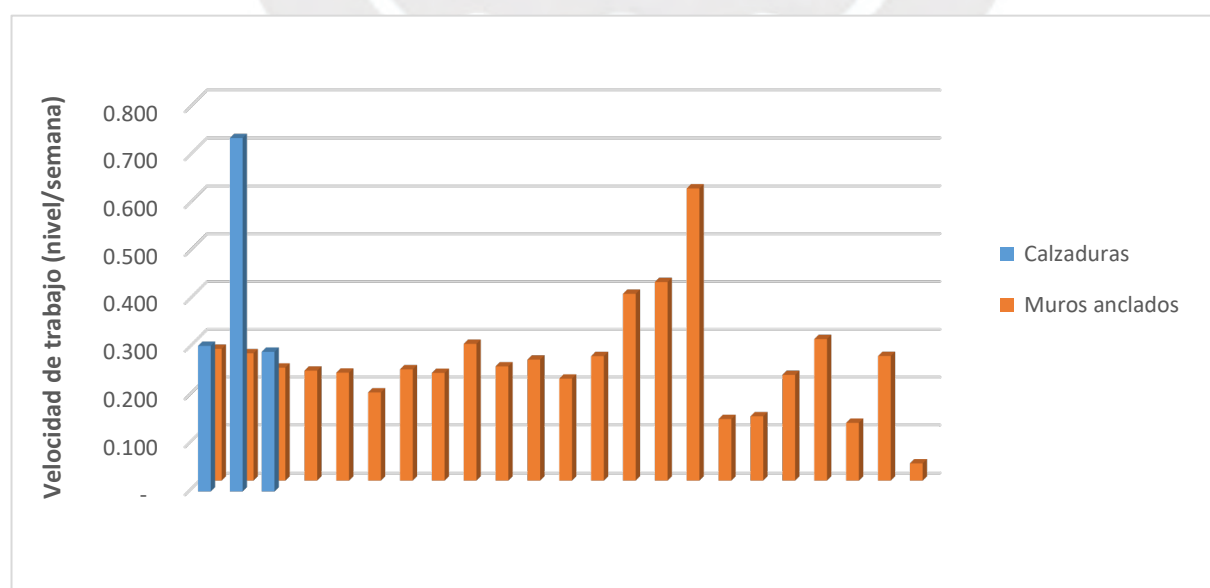


Diagrama 34 – Diferencia en velocidad de trabajo para los sistemas de sostenimiento

Luego, se diferencia las velocidades halladas según la cantidad de niveles que se proyectan sostener para los diversos proyectos. Esta información se presenta en el diagrama 35.

Tabla 5 – Cantidad de niveles por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Niveles	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Niveles
P1	0.275	3	P16	0.213	2
P2	0.304	1	P17	0.260	2.5
P3	0.26	3	P18	0.390	6
P4	0.236	2	P19	0.414	3
P8	0.229	4	P20	0.610	8
P9	0.225	4	P21	0.128	4
P11	0.184	1	P22	0.134	3
P10	0.232	5	P23	0.220	3
P6	0.225	3	P24	0.295	4
P12	0.738	1.5	P25	0.120	1
P13	0.285	4	P26	0.260	7
P14	0.238	6	P27	0.035	1
P15	0.252	6	P28	0.291	4

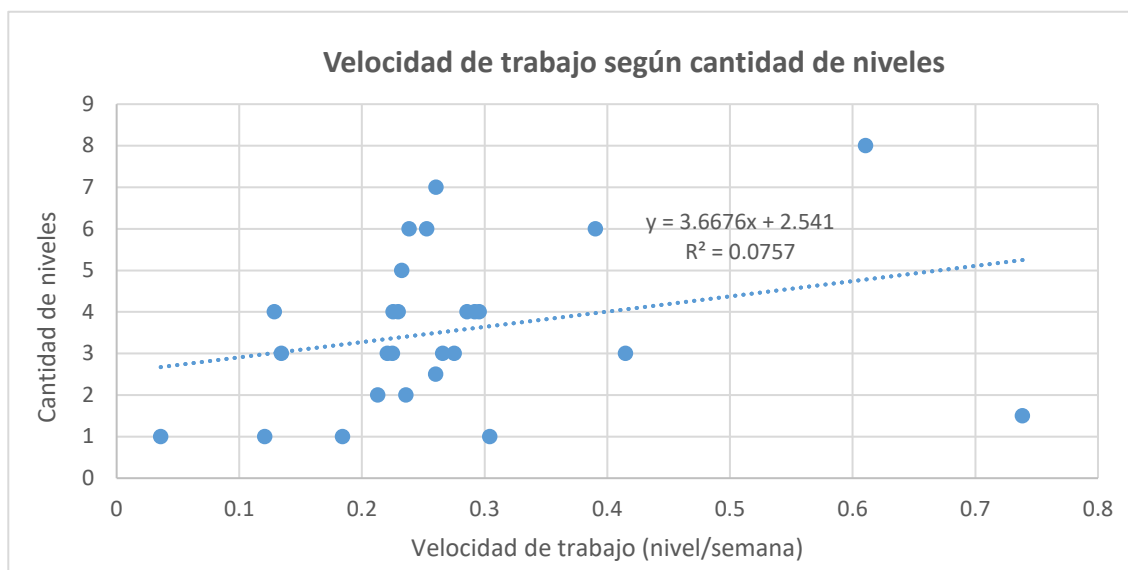


Diagrama 35 – Tendencia en velocidad de trabajo según la cantidad de niveles

Del mismo modo, se halla la relación entre velocidades según índice de compacidad en el terreno.

Tabla 6 – Índice de compacidad de terreno por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Índice de compacidad terreno	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Índice de compacidad terreno
P1	0.275	1.24	P16	0.213	1.13
P2	0.304	1.16	P17	0.260	1.20
P3	0.266	1.14	P18	0.390	1.13
P4	0.236	1.19	P19	0.414	1.16
P8	0.229	1.19	P20	0.610	1.26
P9	0.225	1.19	P21	0.128	1.15
P11	0.184	1.20	P22	0.134	1.38
P10	0.232	1.16	P23	0.220	1.22
P6	0.225	1.21	P24	0.295	1.14
P12	0.738	1.13	P25	0.120	1.32

P13	0.285	1.15	P26	0.260	1.18
P14	0.238	1.13	P27	0.035	1.29
P15	0.252	1.21	P28	0.291	1.13

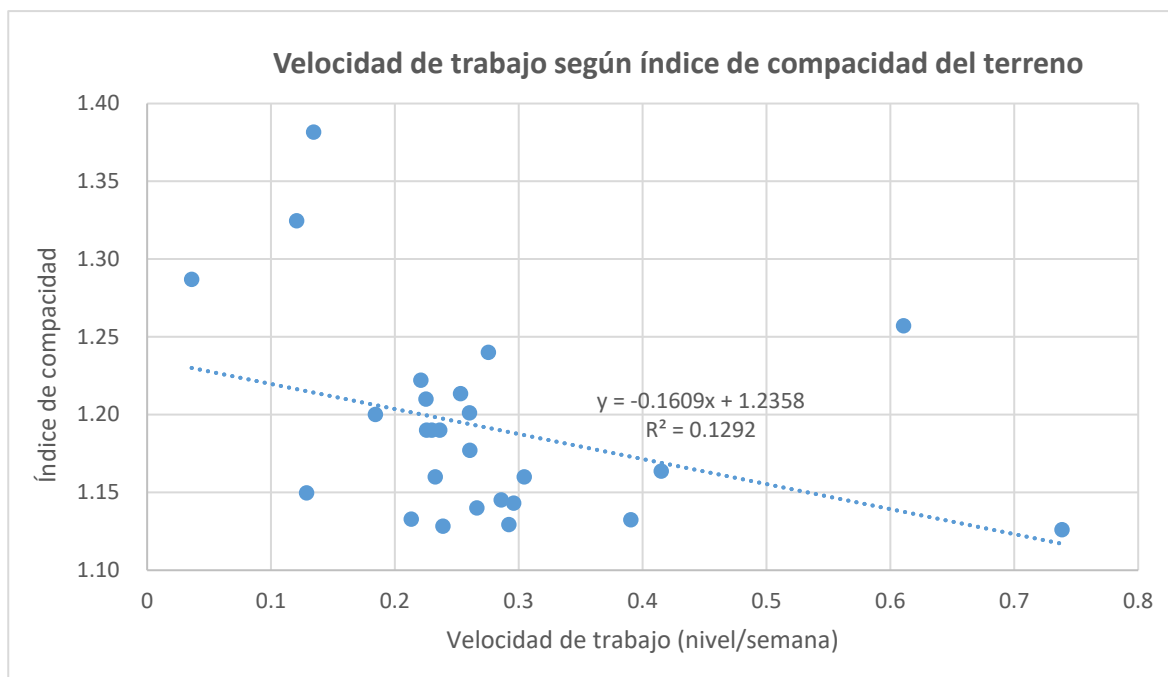


Diagrama 36 – Tendencia en velocidad de trabajo según índice de compacidad del terreno

- Partida Maestra 2: Cimentaciones y elementos enterrados

Para las Líneas de Flujo de la Partida Maestra correspondiente a cimentaciones y elementos enterrados se graficó el inicio y fin de la partida a lo largo del tiempo. Esta línea es horizontal ya que la Partida Maestra se ubica exclusivamente en un nivel. Por este motivo, la duración de cada una de las rectas se puede expresar en velocidad de avance por semana. Además, se han graficado los inicios de las partidas en la misma fecha para poder hacer un comparativo en cuanto a duración entre las mismas.

Se presenta la tabla 7 en donde se muestran el número de semana de inicio y fin de las partidas, además, se calcula el porcentaje de avance por semana para cada proyecto, según las duraciones mostradas en el diagrama 30. También, en la tabla 7 se muestra el promedio de los porcentajes de avance por semana y la desviación estándar de los valores mostrados.

Para el cálculo del porcentaje de avance por semana se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Porcentaje de avance por semana} = \frac{1}{\text{Semana final} - \text{Semana inicial}} \dots (4-4)$$

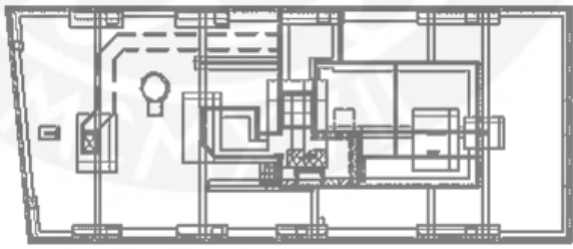
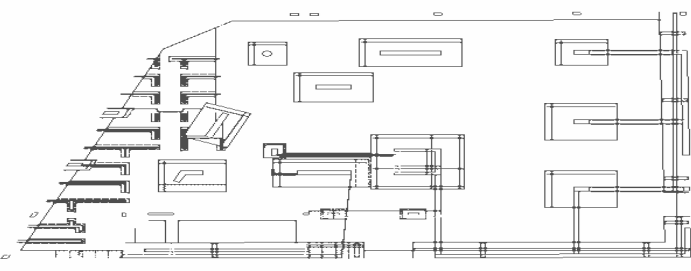
Tabla 7 – Avance por semana medio para Cimentaciones y elementos enterrados

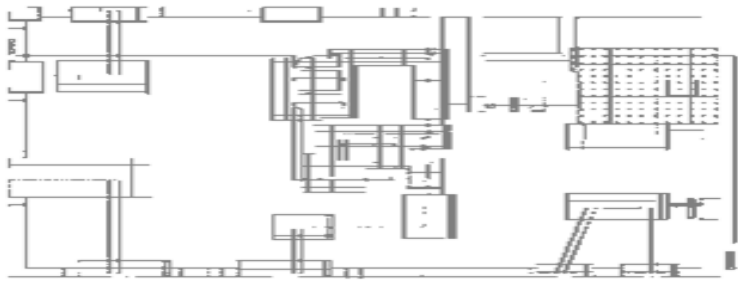
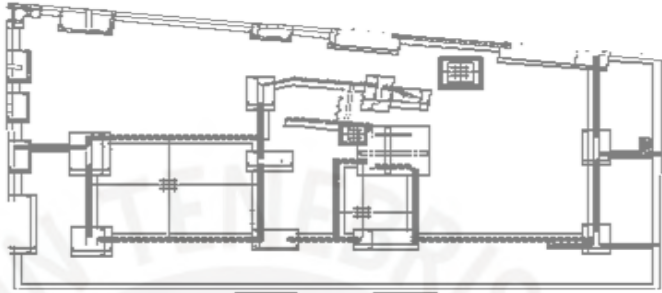
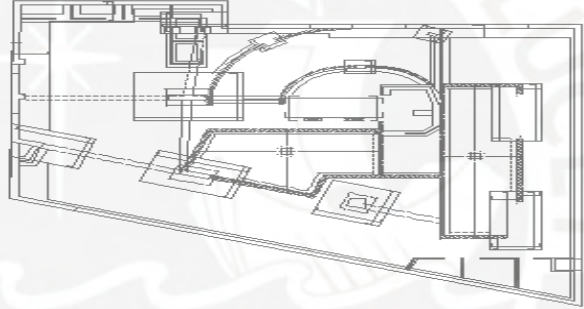

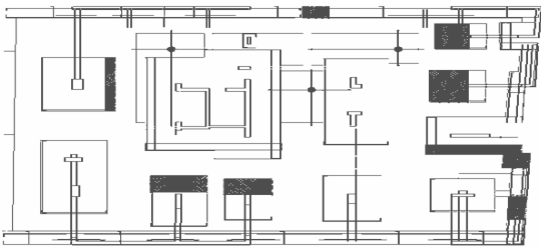
Proyecto	Semana (Inicio/Fin)	Porcentaje (avance/semana)	Proyecto	Semana (Inicio/Fin)	Porcentaje (avance/semana)	Media
P1	8.57	24%	P17	8.57	44%	18%
	12.71			10.86		Desviación
P2	8.57	33%	P18	8.57	18%	0.08
	11.57			14.29		
P3	8.57	13%	P19	8.57	23%	
	16.14			12.86		
P5	8.57	17%	P20	8.57	20%	
	14.43			13.57		
P8	8.57	23%	P21	8.57	13%	
	13.00			16.29		
P4	8.57	17%	P22	8.57	12%	
	14.43			16.86		
P10	8.57	19%	P23	8.57	8%	
	13.86			21.29		
P6	8.57	17%	P24	8.57	8%	
	14.43			21.14		
P12	8.57	18%	P25	8.57	10%	
	14.14			18.71		
P13	8.57	19%	P26	8.57	10%	
	13.86			18.57		

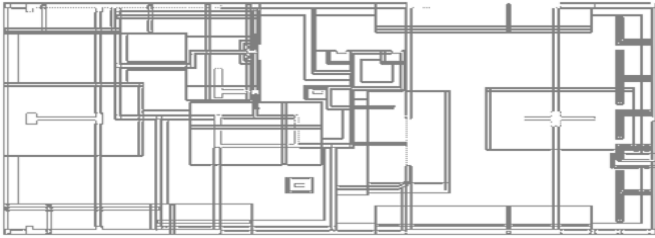
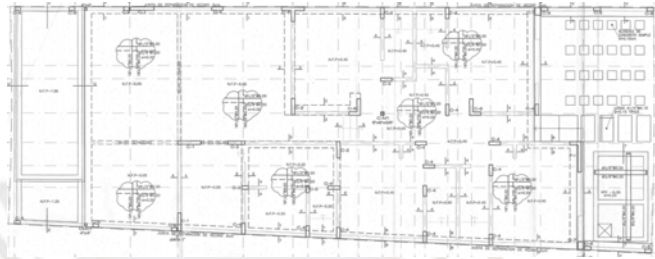
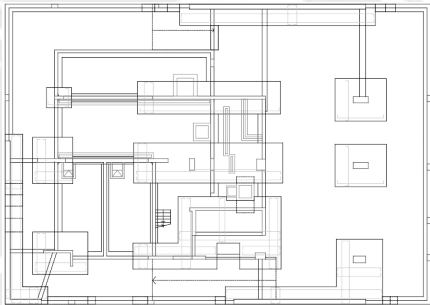
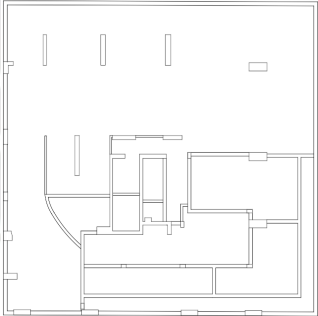
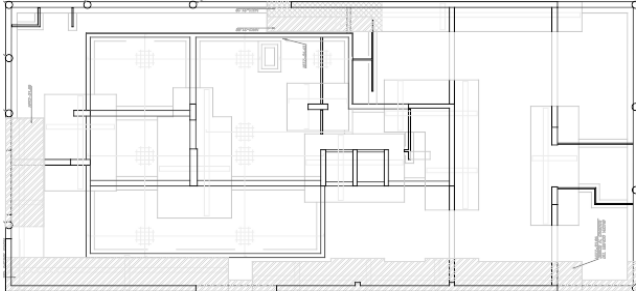
P14	8.57	15%	P27	8.57	11%
	15.43			17.43	
P15	8.57	14%	P28	8.57	18%
	15.57			14.29	
P16	8.57	19%			
	13.71				

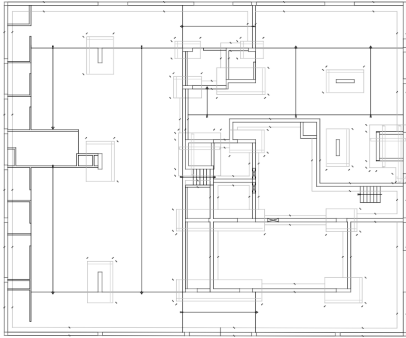
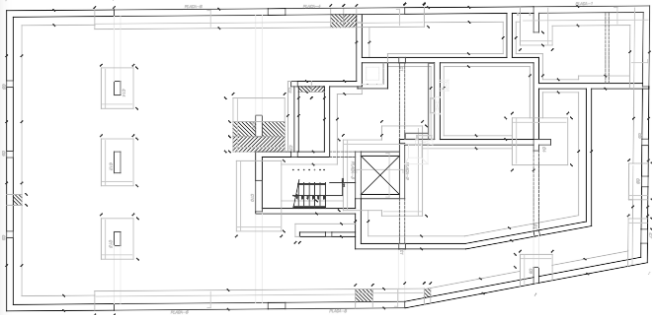

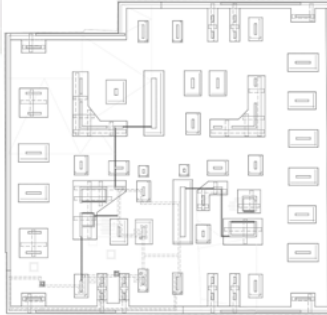
Adicionalmente, se calculó la superficie cimentada para cada uno de los proyectos, de tal modo que se pueda hallar una relación entre el área de cimentación y el avance por semana. La superficie cimentada y la distribución de los cimientos se presentan en la tabla 8. Del mismo modo, la relación entre porcentaje de avance por semana y superficie cimentada se presenta en el diagrama 37.a; además, se presenta la relación entre porcentaje de avance por semana y área del terreno en el diagrama 37.b.

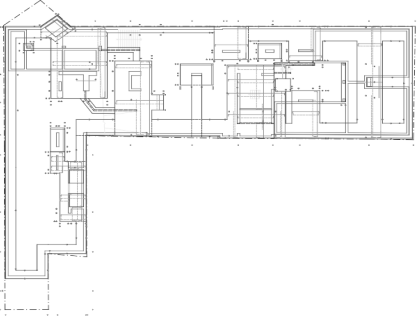
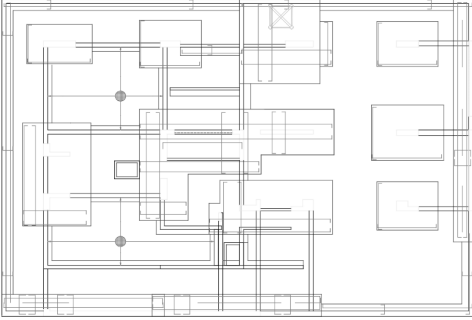
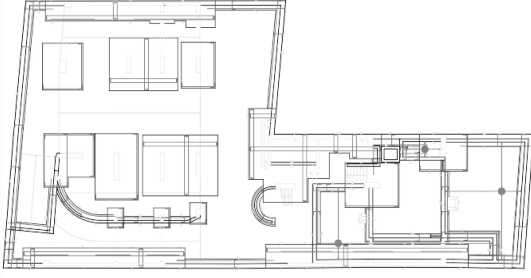
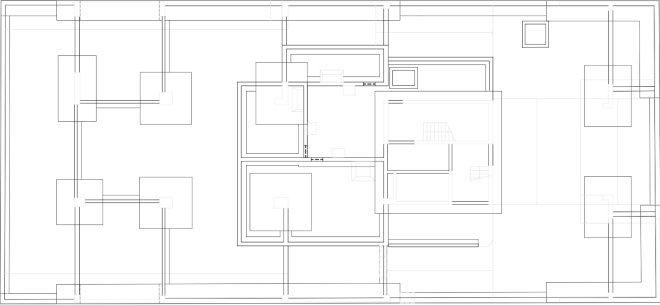
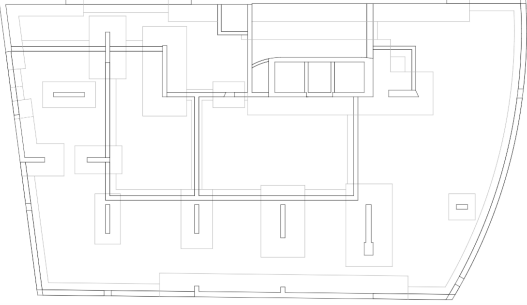
Tabla 8 – Área cimentada por proyecto

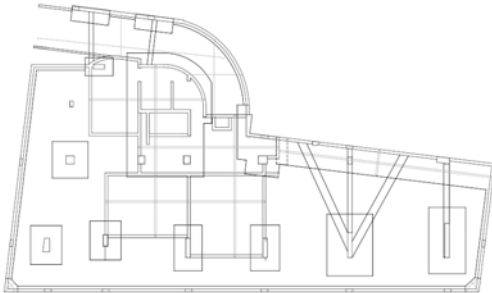
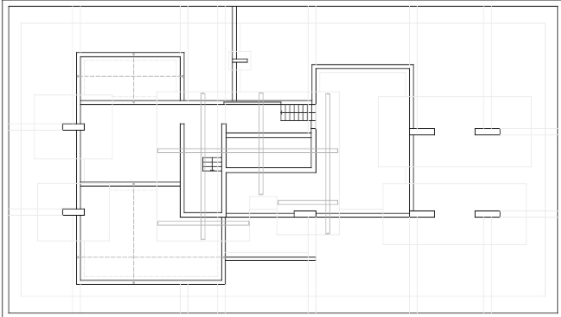
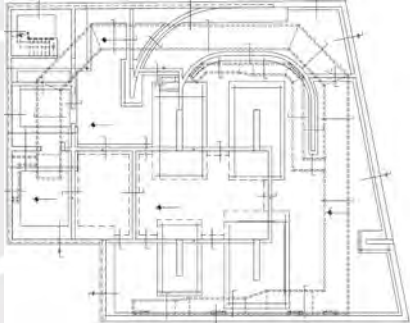
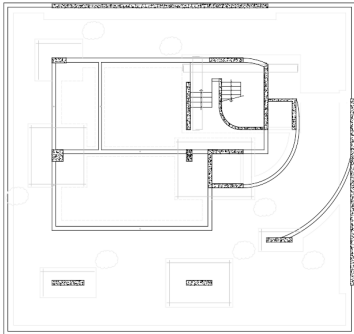
P1		
Área cimentada (m2)	146.83	
Área terreno (m2)	477.82	
P2		
Área cimentada (m2)	133.04	
Área terreno (m2)	526.99	

P3		
Área cimentada (m2)	125.12	
Área terreno (m2)	603.23	
P5		
Área cimentada (m2)	79.58	
Área terreno (m2)	499.64	
P8		
Área cimentada (m2)	98.91	
Área terreno (m2)	609.24	
P4		
Área cimentada (m2)	123.04	
Área terreno (m2)	778.8	
P10		
Área cimentada (m2)	325.47	
Área terreno (m2)	992.29	

P6		
Área cimentada (m2)	205.68	
Área terreno (m2)	549.41	
P12		
Área cimentada (m2)	50	
Área terreno (m2)	325.25	
P13		
Área cimentada (m2)	264	
Área terreno (m2)	816	
P14		
Área cimentada (m2)	46.7	
Área terreno (m2)	747.6	
P15		
Área cimentada (m2)	153	
Área terreno (m2)	702	

P16		
Área cimentada (m2)	120	
Área terreno (m2)	750	
P17		
Área cimentada (m2)	77	
Área terreno (m2)	408.17	
P18		
Área cimentada (m2)	513.4	
Área terreno (m2)	1 722.97	
P19		
Área cimentada (m2)	428	
Área terreno (m2)	2 165.16	

P20		
Área cimentada (m2)	248	
Área terreno (m2)	917	
P21		
Área cimentada (m2)	311	
Área terreno (m2)	782	
P22		
Área cimentada (m2)	125	
Área terreno (m2)	600	
P23		
Área cimentada (m2)	165	
Área terreno (m2)	900	
P24		
Área cimentada (m2)	77.3	
Área terreno (m2)	470	

P25		
Área cimentada (m2)	87.3	
Área terreno (m2)	776	
P26		
Área cimentada (m2)	332	
Área terreno (m2)	720	
P27		
Área cimentada (m2)	73.5	
Área terreno (m2)	536	
P28		
Área cimentada (m2)	124	
Área terreno (m2)	440	

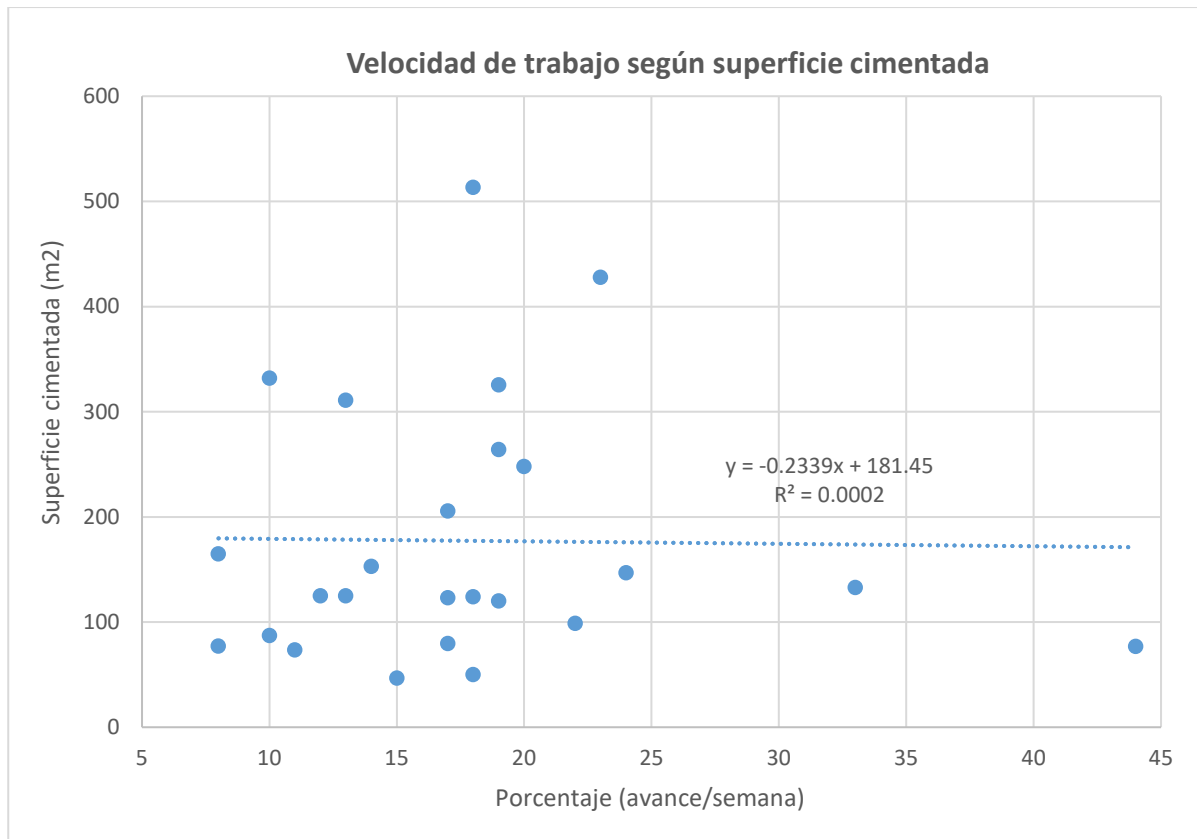


Diagrama 37.a – Tendencia en porcentaje de avance según superficie cimentada

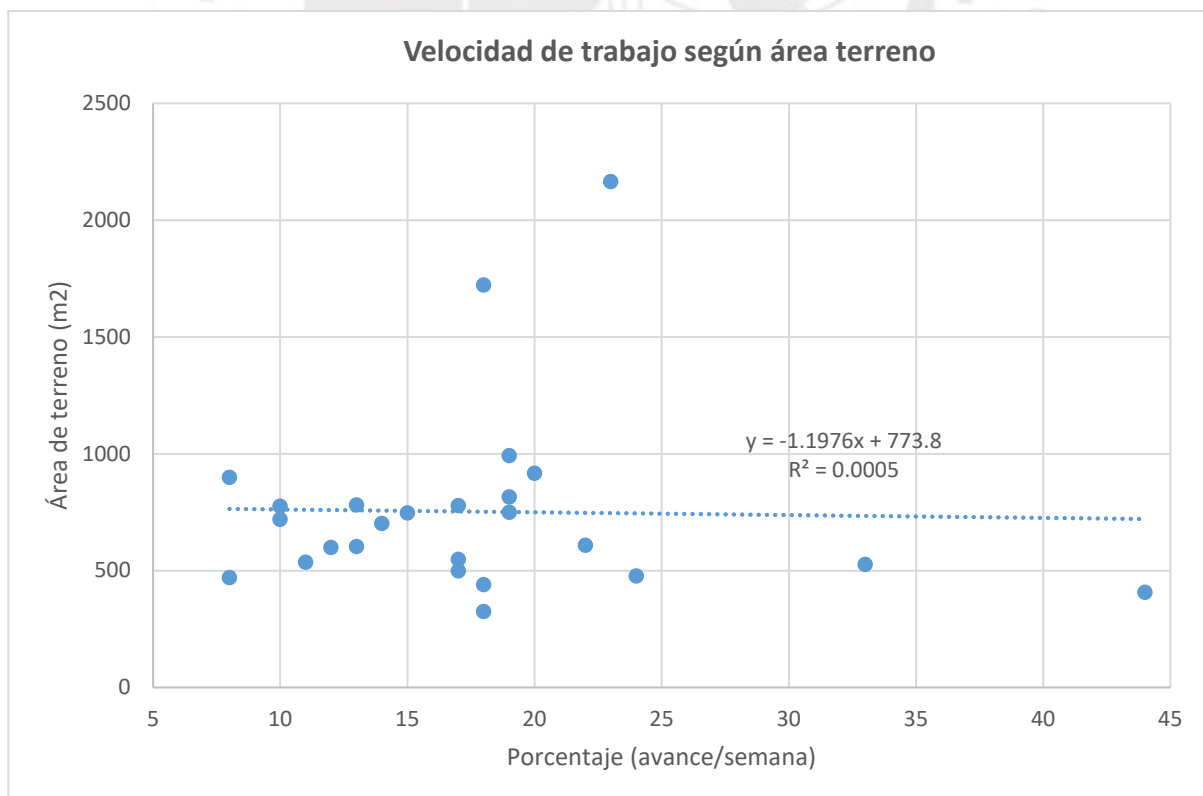


Diagrama 37.b – Tendencia en porcentaje de avance según área de terreno

- Partida Maestra 3: Pórtico inferior

Para las Líneas de Flujo de la Partida Maestra correspondiente a pórtico inferior se halló la línea de tendencia (a modo de recta) que corresponde a cada uno de los proyectos. Esta línea contiene una ecuación en donde la pendiente corresponde a la relación de nivel/semana. Por este motivo, la pendiente de cada una de las rectas expresa la velocidad de trabajo medio (o el promedio de velocidad de avance). En este caso, se procuró que todas las Líneas de Flujo partan de la misma fecha de inicio para la comparación visual.

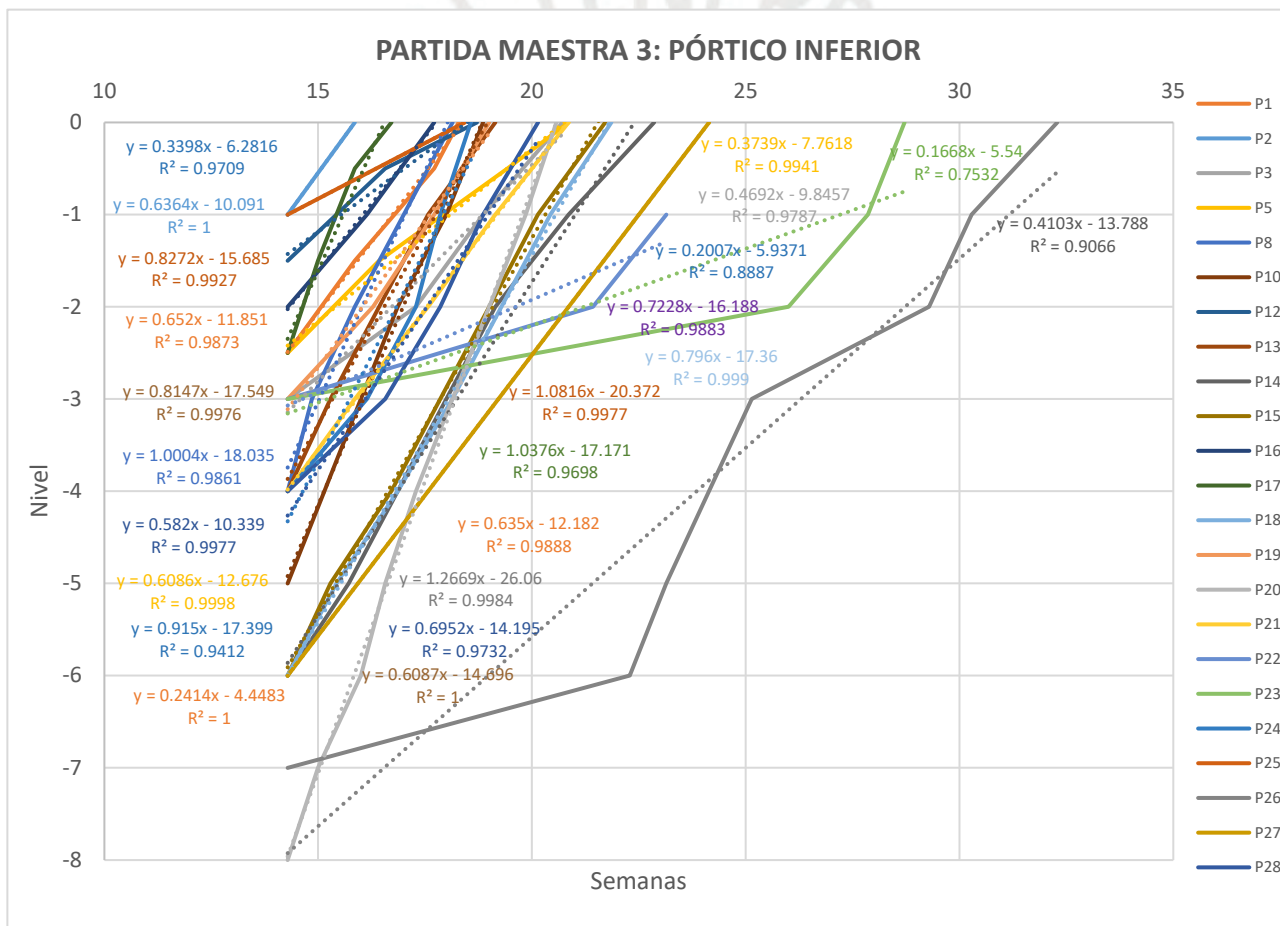


Diagrama 38 – Tendencia de Líneas de Flujo para Pórtico inferior

Con las pendientes obtenidas de las líneas de tendencia, se calculó la media de las pendientes para cada uno de los proyectos analizados. Con esta información se halla la

velocidad media para la Partida Maestra estudiada. Así mismo, se calculó la desviación de los datos.

Tabla 9 – Nivel por semana medio para Pórtico inferior

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Media
P1	0.652	P18	0.796	0.656
P2	0.636	P19	0.635	Desviación
P3	0.469	P20	1.266	
P5	0.373	P21	0.608	0.29
P8	1.000	P22	0.200	
P10	1.081	P23	0.166	
P12	0.339	P24	0.915	
P13	0.827	P25	0.241	
P14	0.722	P26	0.410	
P15	0.814	P27	0.608	
P16	0.582	P28	0.695	
P17	1.037			

Luego, se relaciona la diferencia de velocidades halladas según el índice de compacidad del terreno. Esta información se presenta en el diagrama 39.

Tabla 10 – Índice de compacidad del terreno por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	It	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	It
P1	0.652	1.24	P18	0.796	1.13
P2	0.636	1.16	P19	0.635	1.16
P3	0.469	1.14	P20	1.266	1.26
P5	0.362	1.18	P21	0.608	1.15
P8	1.000	1.19	P22	0.200	1.38
P10	1.081	1.16	P23	0.166	1.22
P12	0.339	1.13	P24	0.915	1.14
P13	0.827	1.15	P25	0.241	1.32
P14	0.722	1.13	P26	0.410	1.18
P15	0.814	1.21	P27	0.608	1.29
P16	0.582	1.13	P28	0.695	1.13
P17	1.037	1.20			

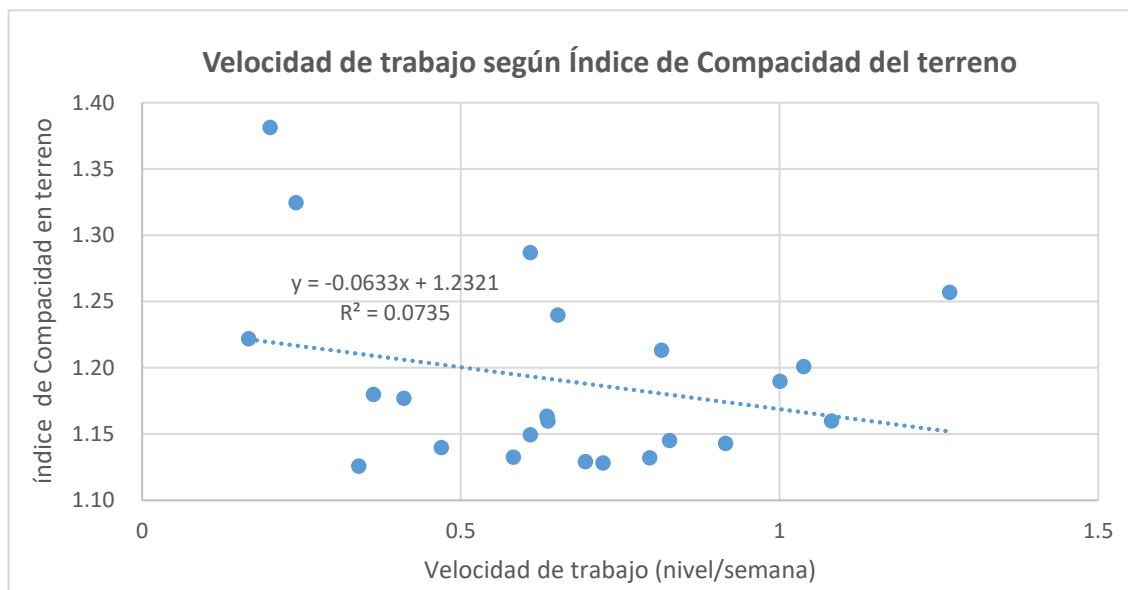


Diagrama 39 – Tendencia en índice de compacidad del terreno según velocidad de trabajo

También, se relaciona la diferencia de velocidades halladas según el área del terreno.

Esta información se presenta en el diagrama 40.

Tabla 11 – Área de terreno por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	At (m ²)	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	At (m ²)
P1	0.65	477.82	P18	0.80	1,722.97
P2	0.64	526.99	P19	0.64	2,165.16
P3	0.47	603.23	P20	1.27	917.00
P5	0.36	499.64	P21	0.61	782.00
P8	1.00	609.24	P22	0.20	600.00
P10	1.08	992.29	P23	0.17	900.00
P12	0.34	325.25	P24	0.92	470.00
P13	0.83	816.00	P25	0.24	776.00
P14	0.72	747.60	P26	0.41	720.00
P15	0.81	702.00	P27	0.61	536.00
P16	0.58	750.00	P28	0.70	440.00
P17	1.04	408.17			

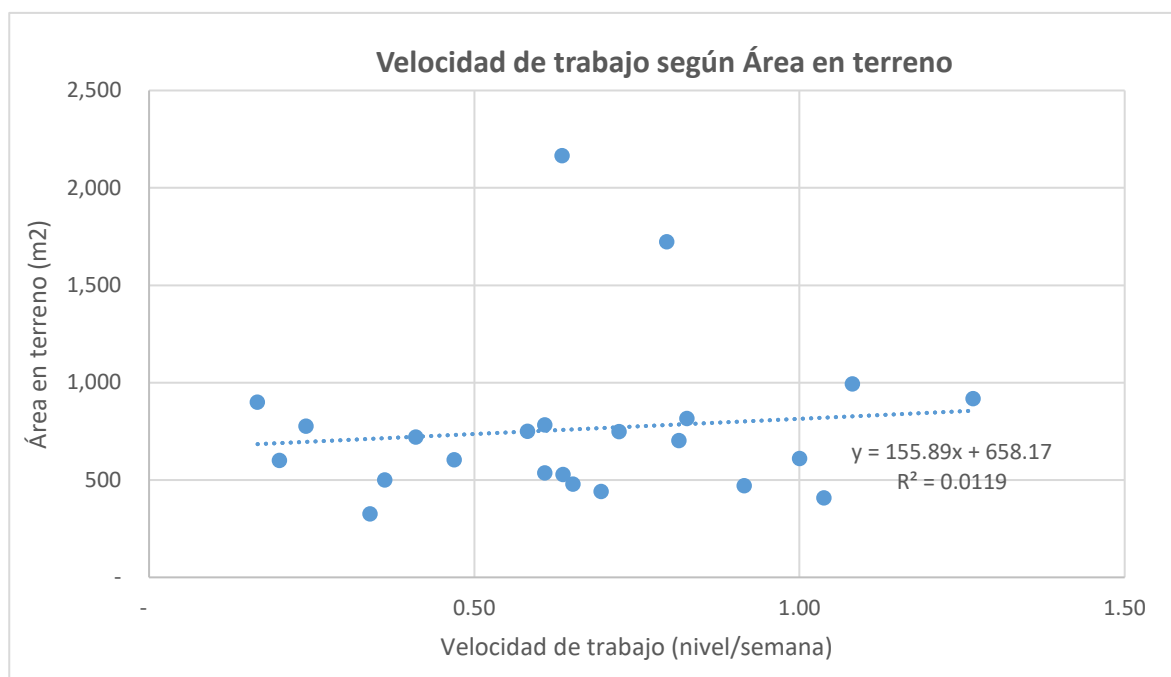


Diagrama 40 – Tendencia área de terreno según velocidad de trabajo

Además, se relaciona la diferencia de velocidades halladas según el porcentaje de área de trabajo disponible. El porcentaje mencionado se halla al determinar la relación entre el espacio disponible (que proviene de la resta entre el área del terreno y el área en planta) frente al área en terreno. Esta información se presenta en el diagrama 41.

Tabla 12 – Porcentaje de espacio disponible por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	At (m ²)	Ap (m ²)	% Espacio	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	At (m ²)	Ap (m ²)	% Espacio
P1	0.652	477.82	315.92	34%	P18	0.796	1 722.97	1 067.90	38%
P2	0.636	526.99	336.87	36%	P19	0.635	2 165.16	1 592.50	26%
P3	0.469	603.23	446.39	26%	P20	1.266	917.00	701.00	24%
P5	0.362	499.64	364.76	27%	P21	0.608	782.00	607.75	22%
P8	1.000	609.24	356.90	41%	P22	0.200	600.00	580.00	3%
P10	1.081	992.29	606.22	39%	P23	0.166	900.00	500.00	44%
P12	0.339	325.25	221.96	32%	P24	0.915	470.00	291.00	38%
P13	0.827	816.00	461.57	43%	P25	0.241	776.00	449.00	42%
P14	0.722	747.60	508.00	32%	P26	0.410	720.00	600.00	17%
P15	0.814	702.00	415.25	41%	P27	0.608	536.00	234.00	56%
P16	0.582	750.00	494.13	34%	P28	0.695	440.00	299.00	32%
P17	1.037	408.17	273.00	33%					

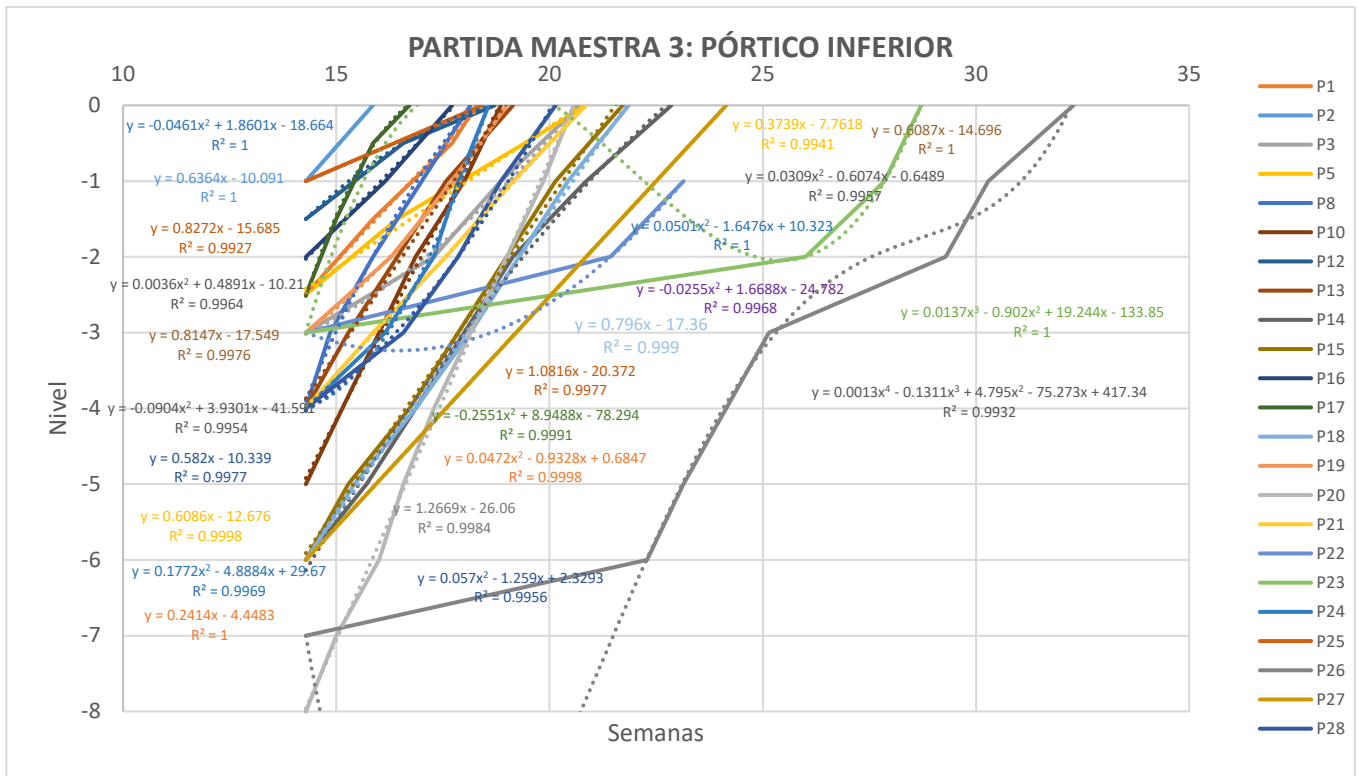


Diagrama 41 – Tendencia espacio de trabajo según velocidad de trabajo

Para finalizar, se hallan ecuaciones que satisfagan la tendencia de los proyectos, de tal modo que la dispersión entre la tendencia y lo real fomente que el valor de R^2 sea lo más cercano a 1. Por este motivo, se iteraron ecuaciones de tal modo que el valor de $R^2 > 0.99$. Una vez realizado lo anterior, se obtiene el diagrama 42.

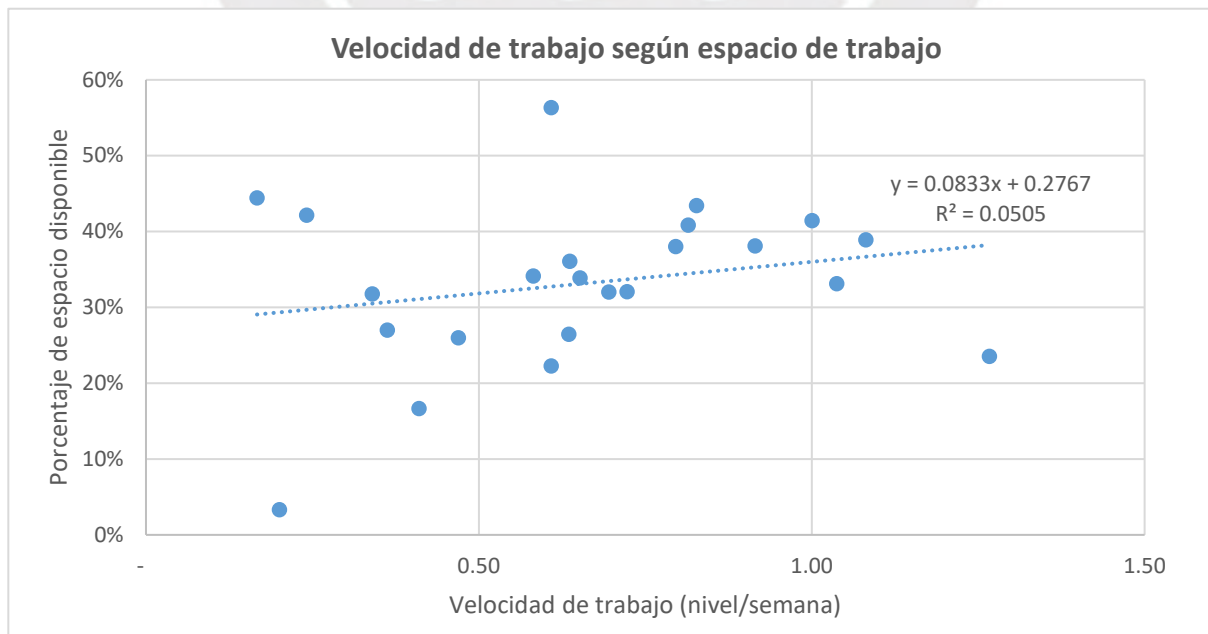


Diagrama 42 – Tendencia ajustada por proyecto

- Partida Maestra 4: Pórtico superior

Para las Líneas de Flujo de la Partida Maestra correspondiente a pórtico superior se halló la línea de tendencia (a modo de recta) que corresponde a cada uno de los proyectos. Esta línea contiene una ecuación en donde la pendiente corresponde a la relación de nivel/semana. Por este motivo, la pendiente de cada una de las rectas expresa la velocidad de trabajo medio (o el promedio de velocidad de avance). En este caso, se procuró que todas las Líneas de Flujo partan de la misma fecha de inicio para la comparación visual.

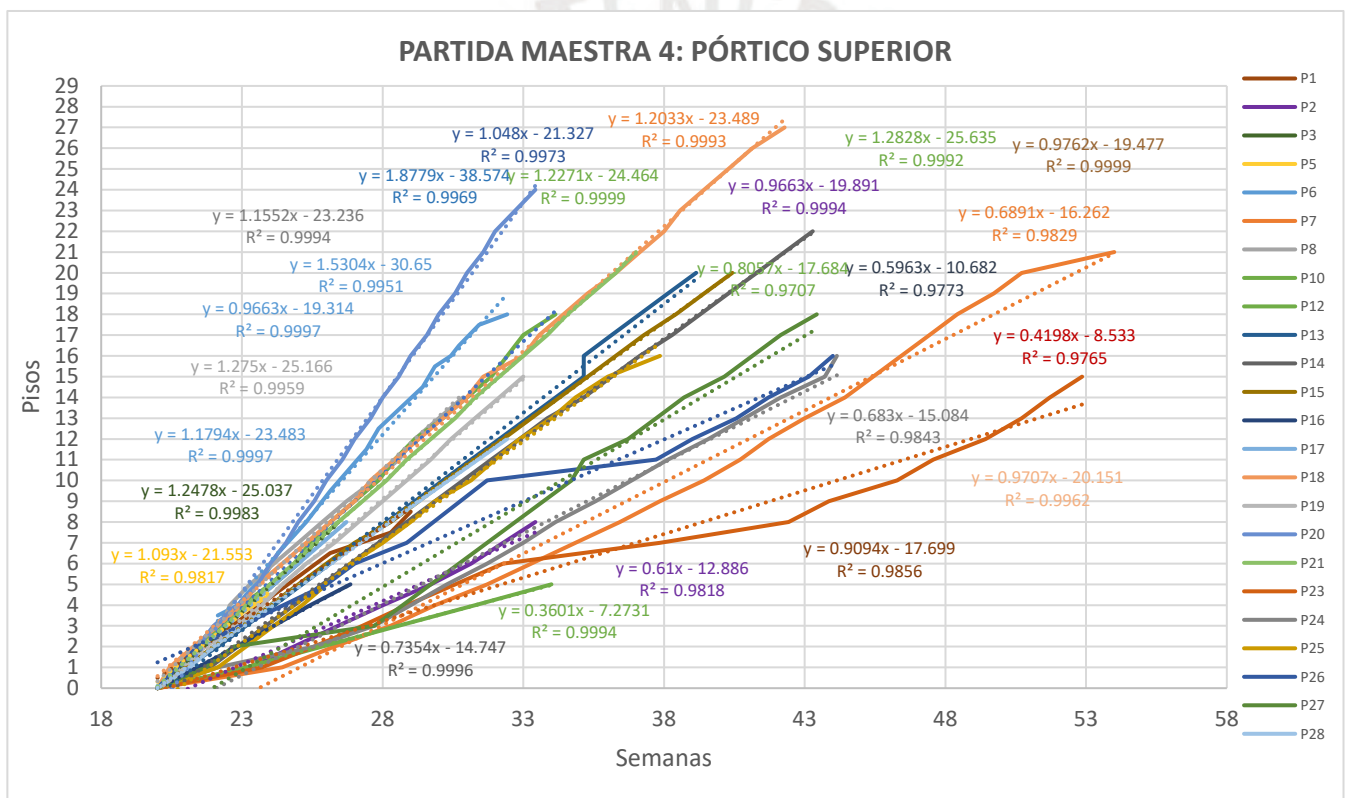


Diagrama 43 – Tendencia de Líneas de Flujo para Pórtico Superior

Con las pendientes obtenidas de las líneas de tendencia, se calculó la media de las pendientes para cada uno de los proyectos analizados. Con esta información se haya la velocidad media para la Partida Maestra estudiada. Así mismo, se calculó la desviación de los datos.

Tabla 13 –Piso por semana medio para Pórtico superior

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Media
P1	0.881	P16	0.735	0.987
P2	0.61	P17	1.179	Desviación 0.35
P3	1.247	P18	1.203	
P5	0.997	P19	1.155	
P6	1.530	P20	1.877	
P7	0.689	P21	1.227	
P8	1.275	P23	0.419	
P10	1.282	P24	0.683	
P12	0.360	P25	0.970	
P13	1.048	P26	0.596	
P14	0.966	P27	0.805	
P15	0.976	P28	0.966	

Luego, se relaciona la diferencia de velocidades halladas según el índice de compacidad en planta. Esta información se presenta en el diagrama 44.

Tabla 14 – Índice de compacidad en planta por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Ip	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Ip
P1	0.881	1.73	P16	0.735	1.17
P2	0.61	1.66	P17	1.179	1.60
P3	1.247	1.33	P18	1.203	1.68
P5	0.997	1.37	P19	1.155	1.48
P6	1.530	1.77	P20	1.877	1.97
P7	0.689	1.58	P21	1.227	1.16
P8	1.275	1.52	P23	0.419	1.58
P10	1.282	1.81	P24	0.683	1.38
P12	0.360	1.26	P25	0.970	1.56
P13	1.048	1.48	P26	0.596	1.38
P14	0.966	1.37	P27	0.805	1.46
P15	0.976	1.49	P28	0.966	1.20

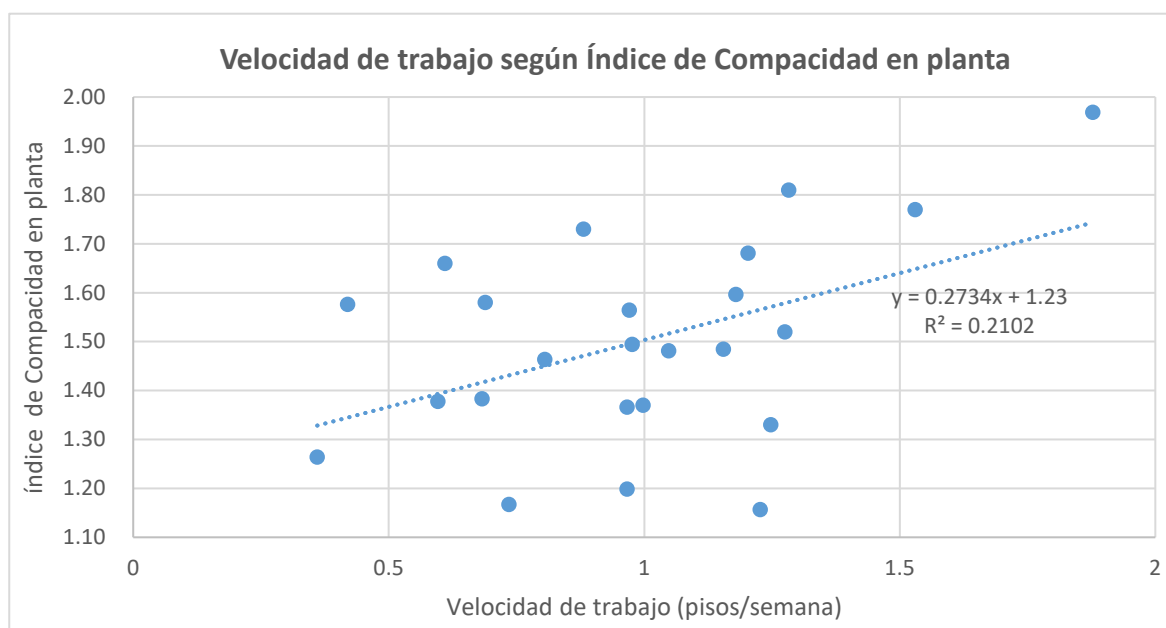


Diagrama 44 – Tendencia en índice de compacidad en planta según velocidad de trabajo

También, se relaciona la diferencia de velocidades halladas según el área en planta. Esta información se presenta en el diagrama 45.

Tabla 15 – Área en planta por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Ap (m2)	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Ap (m2)
P1	0.881	315.92	P16	0.735	494.125
P2	0.61	336.87	P17	1.179	273
P3	1.247	446.39	P18	1.203	1 067.9
P5	0.997	364.76	P19	1.155	1 592.5
P6	1.530	342.92	P20	1.877	701
P7	0.689	1 749.83	P21	1.227	607.745
P8	1.275	356.9	P23	0.419	500
P10	1.282	606.22	P24	0.683	291
P12	0.360	221.96	P25	0.970	449
P13	1.048	461.57	P26	0.596	600
P14	0.966	508	P27	0.805	234
P15	0.976	415.25	P28	0.966	299

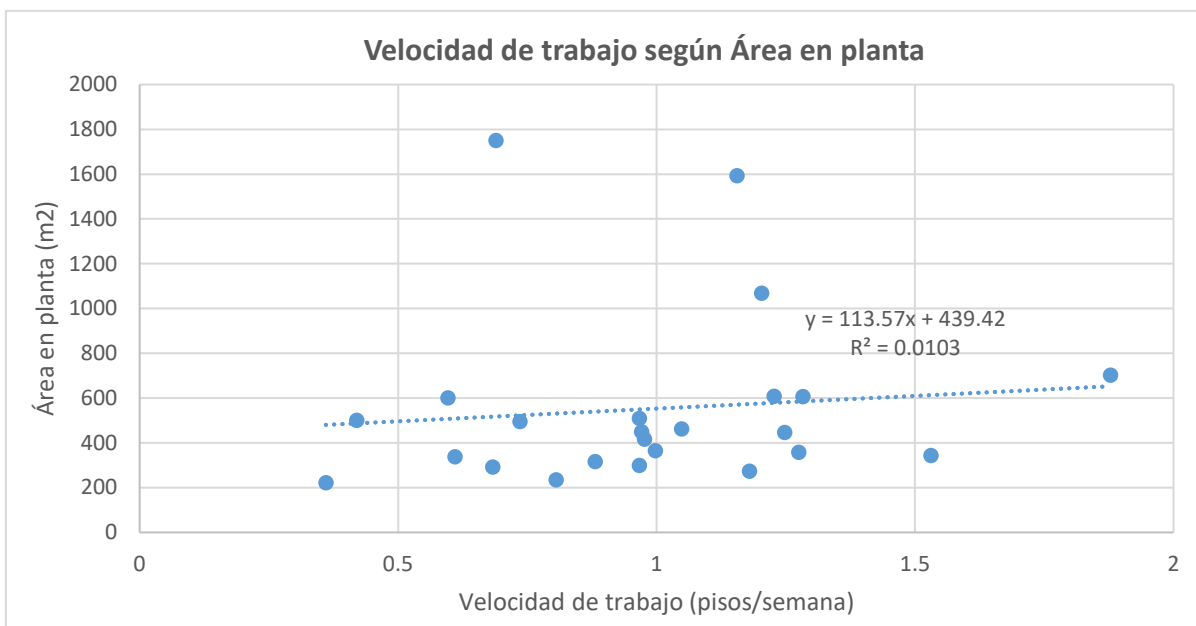


Diagrama 45 – Tendencia en área en planta según velocidad de trabajo

Además, se relaciona la diferencia de velocidades halladas según el índice de uniformidad en planta. El índice en mención se ha elaborado para representar que tan similares (o típicos) son los pisos a comparación con el piso anterior. Para poder hallar el valor del índice, se revisa el plano de estructuras y se determina un porcentaje de diferencia en cuanto a similitud de elementos estructurales con respecto al primer piso (siendo el primer piso el piso 100% típico). Luego de haber asignado un porcentaje a cada piso, se realiza una regla de tres simple para poder hallar la diferencia de similitud en procesos constructivos. De este modo, se halla el promedio de los valores y se expresa el índice como decimal. El cálculo del índice de uniformidad se incluye en el Anexo A. La relación de ambas variables en mención se presenta en el diagrama 46.

Tabla 16 – Índice de uniformidad por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	lu	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	lu
P1	0.881	0.94	P16	0.735	0.80
P2	0.61	0.69	P17	1.179	0.92
P3	1.247	0.94	P18	1.203	0.61
P5	0.997	0.82	P19	1.155	0.72
P6	1.530	0.97	P20	1.877	0.89

P7	0.689	0.82	P21	1.227	0.75
P8	1.275	0.94	P23	0.419	0.62
P10	1.282	0.95	P24	0.683	0.72
P12	0.360	0.81	P25	0.970	0.69
P13	1.048	0.97	P26	0.596	0.63
P14	0.966	0.80	P27	0.805	0.79
P15	0.976	0.92	P28	0.966	0.84

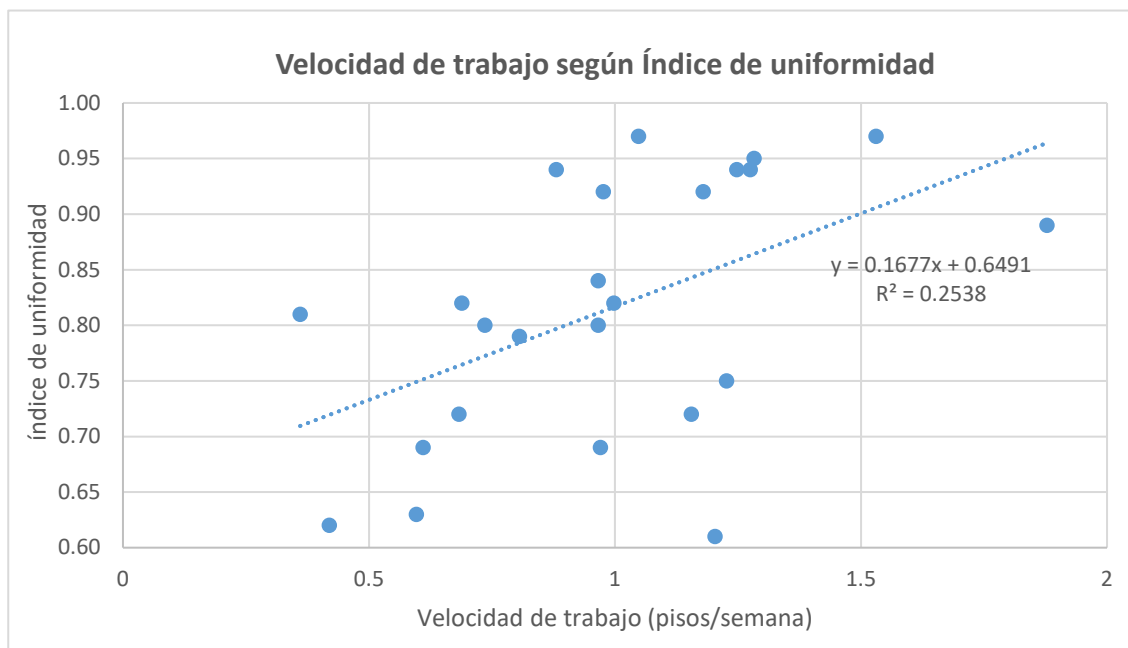


Diagrama 46 – Tendencia en índice de uniformidad según velocidad de trabajo

A continuación, se relaciona la diferencia de velocidades halladas según el porcentaje de área de trabajo disponible. El porcentaje mencionado se halla al determinar la relación entre el espacio disponible (que proviene de la resta entre el área del terreno y el área en planta) frente al área en terreno. Esta información se presenta en el diagrama 47.

Tabla 17 – Porcentaje de espacio disponible por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	At (m2)	Ap (m2)	% Espacio	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	At (m2)	Ap (m2)	% Espacio
P1	0.881	477.82	315.92	34%	P16	0.735	750.00	494.13	34%
P2	0.61	526.99	336.87	36%	P17	1.179	408.17	273.00	33%
P3	1.247	603.23	446.39	26%	P18	1.203	1 722.97	1 067.90	38%
P5	0.997	499.64	364.76	27%	P19	1.155	2 165.16	1 592.50	26%
P6	1.530	549.41	342.92	38%	P20	1.877	917.00	701.00	24%
P7	0.689	2192.47	1749.83	20%	P21	1.227	782.00	607.75	22%
P8	1.275	609.24	356.9	41%	P23	0.419	900.00	500.00	44%
P10	1.282	992.29	606.22	39%	P24	0.683	470.00	291.00	38%

P12	0.360	325.25	221.96	32%	P25	0.970	776.00	449.00	42%
P13	1.048	816.00	461.57	43%	P26	0.596	720.00	600.00	17%
P14	0.966	747.60	508.00	32%	P27	0.805	536.00	234.00	56%
P15	0.976	702.00	415.25	41%	P28	0.966	440.00	299.00	32%

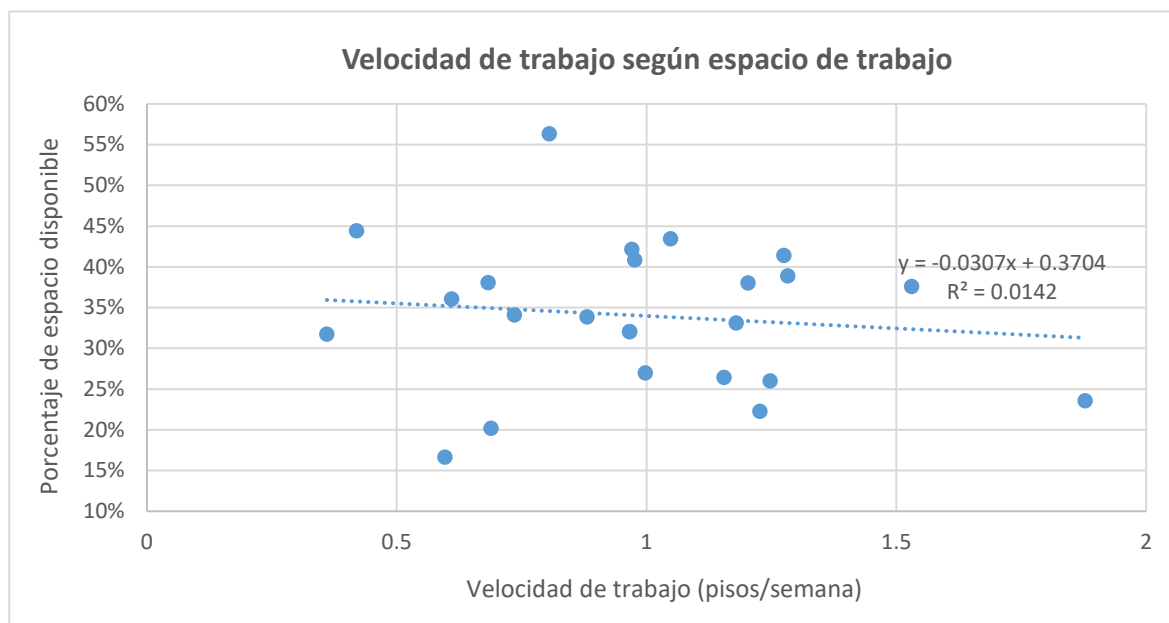


Diagrama 47 – Tendencia espacio de trabajo según velocidad de trabajo

Adicionalmente, se diferencia las velocidades halladas según la cantidad de pisos que se proyectan construir para los diversos proyectos. Esta información se presenta en el diagrama 48.

Tabla 18 – Cantidad de pisos por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Cantidad de Pisos	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Cantidad de Pisos
P1	0.881	7	P16	0.735	5
P2	0.61	7	P17	1.179	8
P3	1.247	7	P18	1.203	27
P5	0.997	4	P19	1.155	15
P6	1.530	18	P20	1.877	24
P7	0.689	18	P21	1.227	21
P8	1.275	23	P23	0.419	15
P10	1.282	16	P24	0.683	16
P12	0.360	5	P25	0.970	16
P13	1.048	20	P26	0.596	16
P14	0.966	22	P27	0.805	18
P15	0.976	20	P28	0.966	12

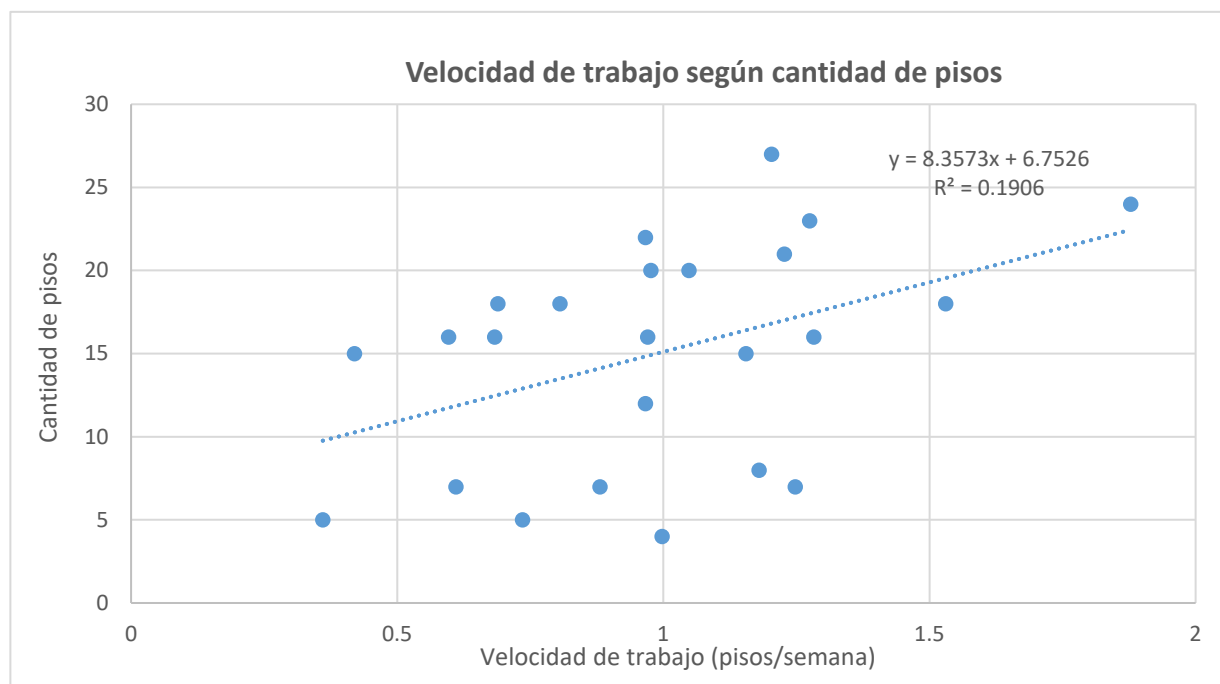


Diagrama 48 – Tendencia de cantidad de pisos según velocidad de trabajo

Por último, se grafica en una tabla de barras la diferencia en velocidades según el sistema estructural característico. El sistema estructural detallado tiene como objetivo dar nociones de la complejidad de este y, por lo tanto, permitir la predicción de plazos de ejecución. De este modo, se presentan los resultados en el diagrama 49.

Tabla 19 – Sistema estructural por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Sistema de sostenimiento	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Sistema de sostenimiento
P1	0.881	Losa post-tensada	P16	0.735	Pórticos y Muros
P2	0.61	Muros	P17	1.179	Pórticos y Muros
P3	1.247	Muros	P18	1.203	Pre-losas
P5	0.997	Pórticos y Muros	P19	1.155	Pre-losas
P6	1.530	Pórticos y Muros	P20	1.877	Pre-losas
P7	0.689	Pórticos y Muros	P21	1.227	Pre-losas
P8	1.275	Pórticos y Muros	P23	0.419	Pórticos y Muros
P10	1.282	Pre-losas	P24	0.683	Pórticos y Muros
P12	0.360	Pórticos y Muros	P25	0.970	Pórticos y Muros
P13	1.048	Pre-losas	P26	0.596	Pórticos y Muros
P14	0.966	Pre-losas	P27	0.805	Pórticos y Muros
P15	0.976	Pre-losas	P28	0.966	Vigueta pretensada

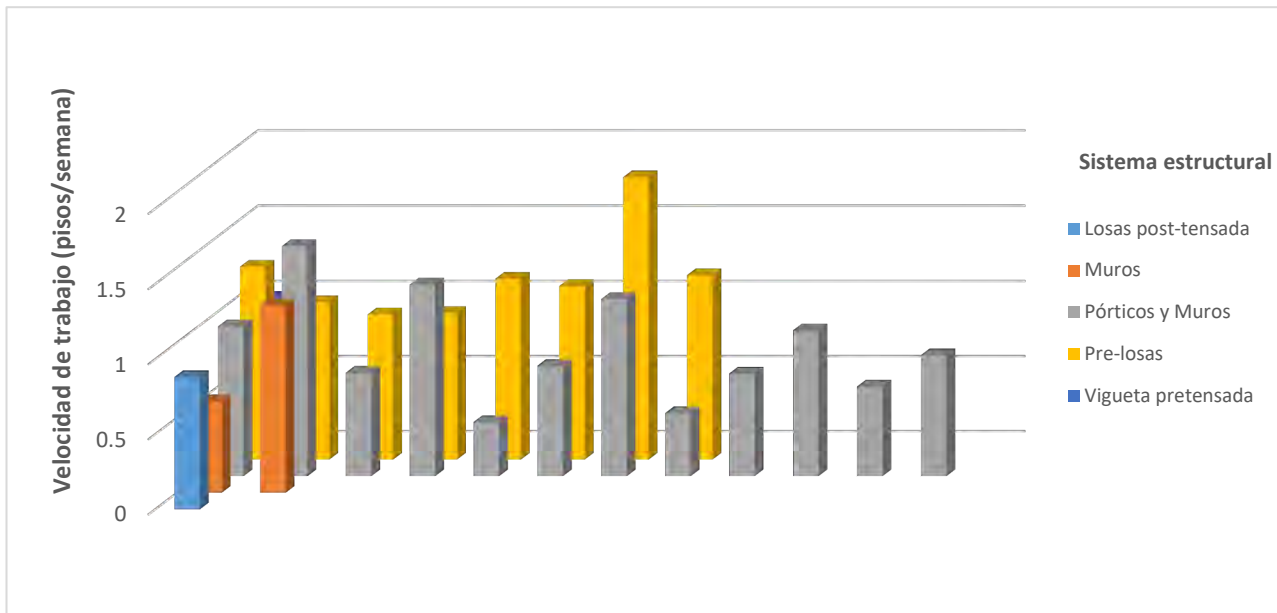


Diagrama 49 – Diferencia en velocidad de trabajo para los sistemas estructurales

Resulta importante para el análisis de datos recortar los pisos inferiores (primer piso/mezzanine) y el superior (azotea/cuarto de máquinas), ya que las velocidades en estos niveles se diferencian de la constancia en los pisos intermedios. Por este motivo, con el objetivo de conseguir un $R^2 > 0.99$, se suprimen, de donde sea necesario, los pisos mencionados. Luego de haber realizado el proceso mencionado se obtiene lo presentado en el diagrama 50.

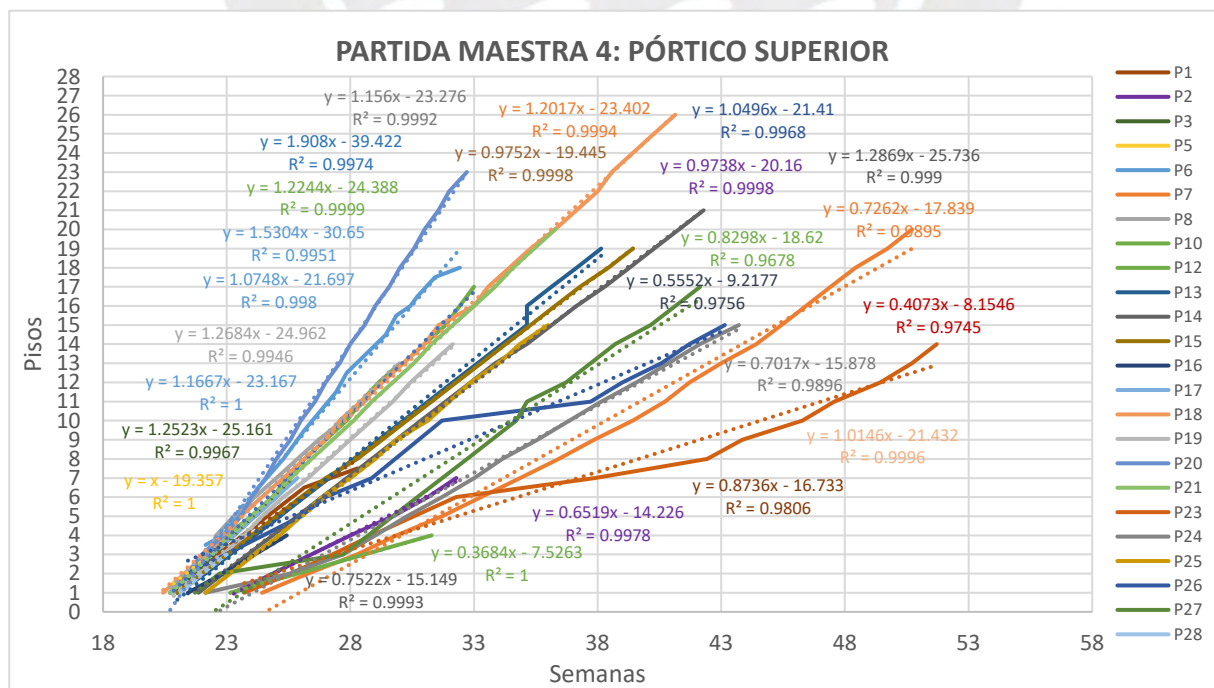


Diagrama 50 – Corrección de tendencia por proyecto

Bajo los nuevos valores de pendiente se halla una velocidad media al incluir los nuevos valores hallados.

Tabla 20 – Pisos por semana medio corregido por proyecto

Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Proyecto	Pendiente (nivel/semana)	Media
P1	0.873	P16	0.752	0.998
P2	0.651	P17	1.166	Desviación
P3	1.252	P18	1.201	0.35
P5	1.000	P19	1.156	
P6	1.530	P20	1.908	
P7	0.726	P21	1.224	
P8	1.268	P23	0.407	
P10	1.286	P24	0.701	
P12	0.368	P25	1.014	
P13	1.049	P26	0.555	
P14	0.973	P27	0.829	
P15	0.975	P28	1.074	

Del mismo modo, se hallan ecuaciones que satisfagan la tendencia de los proyectos, de tal modo que la dispersión entre la tendencia y lo real fomente que el valor de R^2 sea lo más cercano a 1. Por este motivo, se iteraron ecuaciones de tal modo que el valor de $R^2 > 0.99$. Una vez realizado lo anterior, se obtiene el diagrama 51.

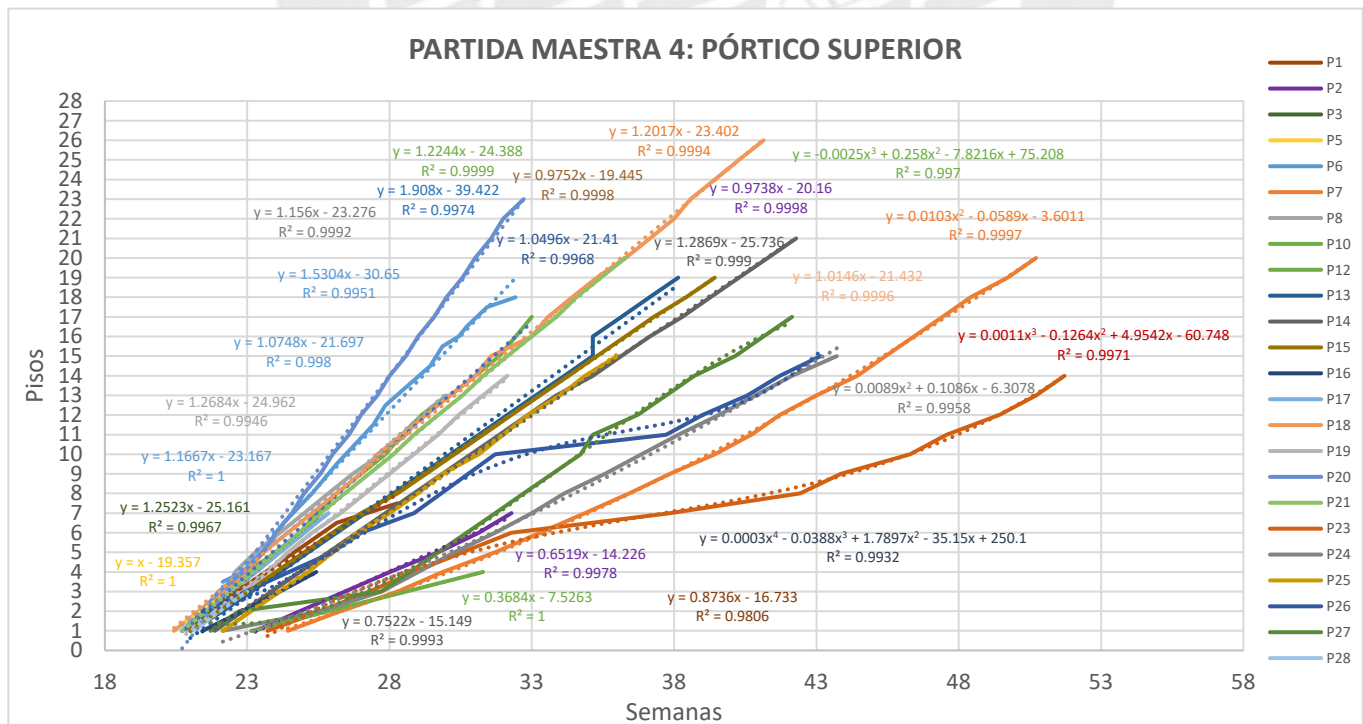


Diagrama 51 – Ajuste de tendencia por proyecto

Para finalizar, se realizó un comparativo entre las velocidades promedio de avance entre el pódico inferior y el pódico superior. Esta comparación se realiza al hallar el porcentaje de incremento o decremento de velocidad de pódico superior con respecto al inferior. Además, se genera el diagrama (diagrama 52) donde se visualiza el avance continuo de ambas partidas.

Tabla 21 – Cambio de velocidad entre pódico inferior y superior

Proyectos	Pendiente pódico inferior (nivel/semana)	Pendiente pódico superior (nivel/semana)	% Cambio
P1	0.652	0.881	26%
P2	0.636	0.651	2%
P3	0.469	1.247	62%
P5	0.362	0.997	64%
P8	1.000	1.275	22%
P10	1.081	1.282	16%
P12	0.339	0.360	6%
P13	0.827	1.048	21%
P14	0.722	0.966	25%
P15	0.814	0.976	17%
P16	0.582	0.735	21%
P17	1.0376	1.179	12%
P18	0.796	1.203	34%
P19	0.635	1.155	45%
P20	1.266	1.877	33%
P21	0.608	1.227	50%
P23	0.166	0.419	60%
P24	0.915	0.683	-34%
P25	0.241	0.970	75%
P26	0.410	0.596	31%
P27	0.608	0.805	24%
P28	0.695	0.966	28%

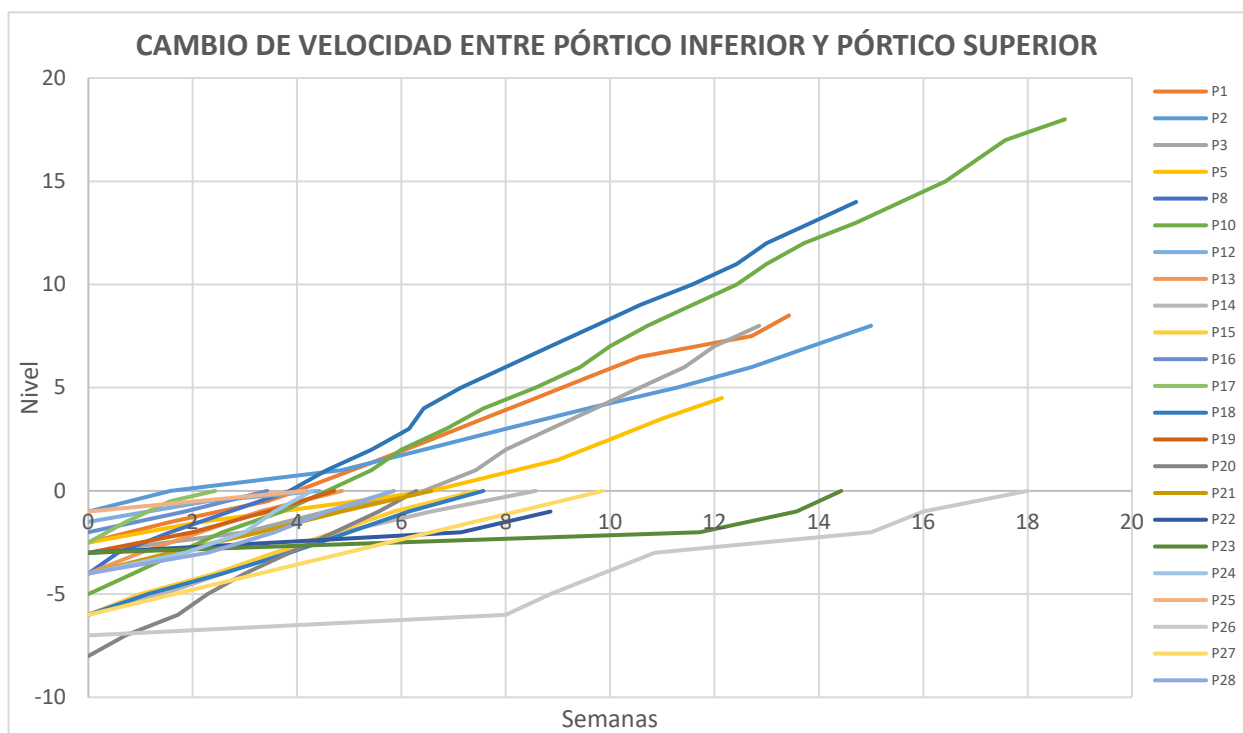


Diagrama 52 – Cambio de velocidad pórtico inferior y superior

4.4 Discusión y análisis de resultados

De los resultados obtenidos se va a realizar un análisis de los diagramas elaborados y se van a comentar los resultados del estudio. De este modo, lo comentado en este apartado será de utilidad para poder elaborar las conclusiones de la investigación.

- Partida Maestra 1: Excavación y sostenimiento

En la partida en discusión se puede verificar según el diagrama 33 que las líneas de tendencia llegan a tener una dispersión (simbolizado por el valor de R^2) con un coeficiente mínimo de 0.901. Esta dispersión no significa una diferencia muy grande a comparación de las dispersiones que arrojan las demás líneas de tendencia en la misma partida maestra. La dispersión mencionada pertenece al proyecto P8 y, junto con el proyecto P1, tienen la dispersión más grande.

Se puede apreciar que en estos dos proyectos la velocidad es mayor en los niveles intermedios y disminuyen para el último nivel. Este comportamiento se puede respaldar en el hecho que el primer nivel de excavación ocurre a una velocidad inicial, la cual se podría denominar como “velocidad de aprendizaje”. Luego, los siguientes niveles de la partida avanzan según el aprendizaje adquirido de la velocidad inicial; y, por este motivo, el trabajo se realiza más rápido. Para finalizar, en el último nivel la velocidad puede resultar inferior pues el trabajo en esta situación se encuentra concentrado (en algunos casos) de trabajos en cimentaciones y elementos enterrados. Precisamente, en los proyectos mencionados se cumplió tal situación.

Las pendientes en cada una de las líneas de tendencia en los proyectos significan, por lo tanto, la velocidad de avance para cada partida. Tal como se muestra en la tabla 3 se halló la media de las pendientes calculadas. La desviación estándar de los datos mostrados resulta ser muy cercano a 0, por lo que se interpreta que los datos no son muy dispersos. Así mismo, el promedio de los valores en mención, arrojan un resultado de 0.272 niveles por semana. Asumiendo que los meses consta de 30.42 días calendario (considera los 365 días anuales entre 12 meses), se puede interpretar que mensualmente se tienen $30.42/7$ semanas o 4.35 semanas; si se traduce la velocidad en meses se tiene, aproximadamente, 1.18 niveles por mes en la partida en mención.

De los resultados que pertenecen a la tabla 4 y el diagrama 34 se puede visualizar que para los distintos sistemas de sostenimiento que se presentan en el estudio realizado, los valores de velocidad que pertenece al sistema de calzaduras resultan ser ligeramente más altos a comparación de los de muros anclado. Del mismo modo, se puede visualizar en el diagrama que las velocidades de avance para los muros anclados son muy distintas. Estas variaciones se pueden deber a que las velocidades no dependen estrictamente del sistema de sostenimiento y, por este motivo, a pesar de que los proyectos tienen en su mayoría muros anclados en su proceso

constructivo, estos no tienen la misma velocidad de avance pues no es un factor de uniformidad en velocidad de trabajo. Además, la velocidad debido al sistema de calzaduras puede deberse a la poca cantidad de niveles que se están elaborando. En el proyecto P2 las calzaduras ocupan un solo nivel y en el P12 un nivel y semisótano, por lo que la velocidad de avance puede deberse a la poca cantidad de trabajo por ejecutarse.

En la tabla 5 y el diagrama 35 se presenta la comparación que se realiza de la cantidad de niveles a ejecutar para la partida estudiada contra la velocidad de trabajo en ejecución. Se puede apreciar que no existe una relación estrechamente directa con respecto a la comparación. Del comparativo realizado en el párrafo anterior se puede interpretar que la velocidad puede ser mayor en el caso del sistema de sostenimiento en calzaduras (en donde se tienen pocos niveles de ejecución de trabajo). En este caso, la tendencia de datos arroja una relación directa (con una dispersión considerable) y con la mayoría de los datos concentrados entre las velocidades de trabajo 0.2 y 0.3 niveles por semana. Esta concentración de datos impide se pueda llegar a concluir que existe una relación entre estos datos.

Por último, se analiza lo presentado en la tabla 6 y diagrama 36. Se puede apreciar que, según la línea de tendencia expuesta, hay una relación inversa en los datos. Si bien los datos resultan dispersos, se puede ver que (salvo a los puntos que pertenecen al proyecto P22, P25 y P27) hay una relación de aumento de velocidad a medida que se reduce el índice de compacidad del terreno. La dispersión en este caso resulta ser menor que en el análisis anterior; y, por este motivo, se puede deducir que hay una tendencia en el incremento de velocidad de trabajo debido a que tan cercano se encuentre la distribución del terreno frente a una circunferencia ideal. Es entonces que mientras más se asemeje el terreno a una circunferencia el avance podría resultar más veloz.

- Partida Maestra 2: Cimentaciones y elementos enterrados

Se puede apreciar en el diagrama 30 que los plazos de ejecución de la partida en mención varían para cada uno de los proyectos (son comparables ya que todas se ubican desde un mismo punto de partida). Del mismo modo, desde el cálculo de porcentaje de avance por semana para cada uno de los proyectos se puede evidenciar que algunos alcanzan a ejecutar hasta el 44% de la partida en una semana. Tal como se muestra en la tabla 7 se halló la media de los porcentajes de avance. La desviación estándar de los datos mostrados resulta ser muy cercano a 0, por lo que se interpreta que los datos no son muy dispersos. Así mismo, el promedio de los valores en mención, arrojan un resultado de 18% de avance de la partida por semana.

De la tabla 8 se recopilaron los datos de área cimentada y se relacionó con la velocidad de trabajo (en este caso avance por semana) para la partida estudiada en el diagrama 37.a. Se puede visualizar que no hay mayor relación entre las variables expresadas. La mayoría de los datos se encuentran concentrados en los valores de porcentaje de avance por semana 10% y 20%, sin ningún tipo de relación. Para la relación que se hizo en el diagrama 37.b. tampoco se encuentra mayor tendencia entre las variables.

De la tendencia en los datos, se puede asegurar que los datos son muy dispersos; y, además, se puede identificar algunos proyectos (P10, 018, P19 y P21) con una alta superficie cimentada. Según el comportamiento de estos datos, resultaría viable mencionar que la velocidad de avance no se encuentra necesariamente alejada del menor valor del diagrama, a pesar de que el área cimentada sea muy grande. Esto resultaría viable, pues según el avance del proyecto no debería disminuir el avance por semana a pesar de la gran cantidad de área que se deba cimentar: es independiente.

- Partida Maestra 3: Pórtico superior

En la partida en discusión se puede verificar según el diagrama 38 que las líneas de tendencia llegan a tener una dispersión (simbolizado por el valor de R^2) con coeficientes

mínimos de 0.753 y 0.888. Estas dispersiones difieren a comparación de las dispersiones que arrojan las demás líneas de tendencia en la misma partida maestra, las cuales se encuentran por encima de 0.9. Las dispersiones mencionadas pertenecen al proyecto P23 y P22 respectivamente. Se puede apreciar que en estos proyectos la velocidad que pertenece a los primeros niveles de construcción en pórtico inferior es más baja a la de los últimos niveles (que resultan ser muy parecidas). Esto se puede deber a lo mencionado para la partida maestra 1: los primeros niveles de pórtico inferior ocurren a una velocidad inicial, la cual se podría denominar como “velocidad de aprendizaje”. Luego, los siguientes niveles de la partida avanzan según el aprendizaje adquirido de la velocidad inicial; y, por este motivo, el trabajo se realiza más rápido.

Las pendientes en que cada una de las líneas de tendencia en los proyectos significa, por lo tanto, la velocidad de avance para cada partida. Tal como se muestra en la tabla 9 se halló la media de las pendientes calculadas. La desviación estándar de los datos mostrados no resulta ser muy cercana a 0 pero si tiene un valor pequeño; además a comparación con las partidas maestras anteriores, la desviación es mayor. Así mismo, el promedio de los valores en mención, arrojan un resultado de 0.656 niveles por semana. Asumiendo que los meses consta de 30.42 días calendario (considera los 365 días anuales entre 12 meses), se puede interpretar que mensualmente se tienen $30.42/7$ semanas o 4.35 semanas; si se traduce la velocidad en meses se tiene, aproximadamente, 2.85 niveles por mes en la partida en mención.

Se analiza lo presentado en la tabla 10 y diagrama 39 en donde se presenta la comparación que se realiza del índice de compacidad del terreno para la partida estudiada contra la velocidad de trabajo en ejecución. Se puede apreciar que existe una relación inversa, estando algunos datos por fuera de la tendencia. En un principio se intentó relacionar el índice en mención con la velocidad de avance pues se interpreta que la construcción de las losas en el pórtico inferior se ve influenciada por la distribución en planta; y, con los resultados del diagrama se puede ver que hay mayor velocidad mientras el índice de compacidad en terreno se acerca a 1 (aun así, la

dispersión es alta). Habría que considerar que hay algunos datos que se alejan de la tendencia, pues la partida completa no solo abarca la construcción de losas (y, por lo tanto, la distribución en planta), por lo contrario, también depende de la construcción de verticales entre otras actividades que no dependen del índice de compacidad.

Con respecto a lo presentado en la tabla 11 y diagrama 40 se puede considerar que hay una tendencia directa entre las variables analizadas que resulta cercana a una relación lineal. El valor de dispersión expresado en la relación es lo suficientemente alto en comparación con las demás relaciones halladas. La relación directa se traduce en el hecho que mientras mayor es el área de terreno, hay mayor velocidad de trabajo. Se puede apreciar que existen dos datos que se alejan de la tendencia en la tabla y pertenecen al proyecto P18 y P19, estos datos tienen las áreas en terreno más grandes y velocidades de avance promedio.

De la información presentada en la tabla 12 y diagrama 41 se puede observar que existe una relación directa con respecto al velocidad de trabajo y el porcentaje de espacio de trabajo disponible en la obra. Los porcentajes hallados simbolizan el porcentaje de área libre con respecto a la totalidad del área del terreno. Mientras mayor sea el espacio disponible de trabajo en la obra, mayor será la velocidad con la cual se podrá trabajar en la partida en mención, ya que debería existir más facilidad en la ejecución y mayor flujo natural en los procesos constructivos. Además, se puede entender que la distribución del *Layout*, en donde se encuentra el almacén de los materiales, banco de acero y las vías de circulación, contiene más espacio para asignar de manera adecuada los recursos a emplear y optimizar la velocidad de avance.

Finalmente, en el diagrama 42 se presentan los datos ajustados de tal modo que se determine el tipo de tendencia que resulte en una dispersión con un R^2 mayor a 0.99. En esta situación, se puede ver que 12 proyectos se vieron sujetos a la aplicación de una tendencia polinómica: de segundo grado el proyecto P1, P3, P8, P12, P14, P17, P19, P22, P24 y P2; de tercer grado P23

y de cuarto grado P26. En el caso de los proyectos ajustados por una ecuación cuadrática y cúbica se puede ver que para el primer nivel construido la velocidad de avance es menor que para los siguientes niveles que se construyen. Esto, como ya se mencionó, se debe principalmente en el “aprendizaje” adquirido al momento de realizar el primer nivel, lo que implica la ejecución de los niveles superiores con una velocidad de trabajo superior. En el caso del proyecto P26, se puede ver que para el sótano 3 pierde velocidad; esto se debe a un problema por paralización de obra, lo que fomentó volver a desarrollar la curva de aprendizaje.

- Partida Maestra 4: Pórtico superior

En la partida en discusión se puede verificar según el diagrama 43 que las líneas de tendencia llegan a tener una dispersión (simbolizado por el valor de R^2) con un coeficiente mínimo de 0.970. Esta dispersión no significa una diferencia muy grande a comparación de las dispersiones que arrojan las demás líneas de tendencia en la misma partida maestra y, a comparación con la dispersión hallada en las tendencias anteriores está resulta menor. Del mismo modo, la dispersión resulta ser menor a las que se han hallado en la partida maestra 1. La mayor dispersión pertenece al proyecto P27. Se puede apreciar que en este proyecto la velocidad que pertenece al tercer nivel de construcción en pórtico superior es más baja a todos los niveles siguientes (que resultan ser muy parecidas). Esto se puede deber a lo mencionado para la partida maestra: el primer nivel de pórtico superior ocurre a una velocidad inicial, la cual se podría denominar como “velocidad de aprendizaje”. En este caso, el nivel 3 de este proyecto tiene un cambio en cuanto a distribución de elementos estructurales y disminución de paños. Luego, los siguientes niveles de la partida avanzan según el aprendizaje adquirido de la velocidad inicial; y, por este motivo, el trabajo se realiza más rápido. Además, es importante resaltar que los primeros pisos en la construcción de edificaciones suelen avanzar a velocidades menores por pertenecer a niveles con mayor cantidad de trabajo o ser más altos en elevación a comparación de los demás.

Las pendientes en que cada una de las líneas de tendencia en los proyectos significa, por lo tanto, la velocidad de avance para cada partida. Tal como se muestra en la tabla 13 se halló la media de las pendientes calculadas. La desviación estándar de los datos mostrados no resulta ser muy cercana a 0 pero si tiene un valor pequeño; además a comparación con las tres primeras partidas maestras, la desviación es mayor. Así mismo, el promedio de los valores en mención, arrojan un resultado de 0.987 pisos por semana.

Se analiza lo presentado en la tabla 14 y diagrama 44 en donde se presenta la comparación que se realiza del índice de compacidad en planta para la partida estudiada contra la velocidad de trabajo en ejecución. Se puede apreciar que existe una relación directa cercana, y pues en la relación del índice en mención con la velocidad de avance se interpreta que la construcción de las losas y verticales esquineros en el pódico superior se ve influenciada por la distribución en planta. Según lo que se presenta en los resultados, la distribución en el perímetro en planta significa una variable que afecta la ejecución de la partida y, por lo tanto, afecta la velocidad de trabajo.

Con respecto a lo presentado en la tabla 15 y diagrama 45 se puede considerar que no hay una tendencia directa entre las variables analizadas. El valor de dispersión expresado en la relación es lo suficientemente alto en comparación con las demás relaciones halladas. Se puede notar que hay tres puntos que se encuentra muy alejado de los demás debido al elevado valor de área que este representa frente a los demás. Estos valores generan que la tendencia apunte hacia el punto tabulado en el diagrama, lo que hace que la tendencia se vea afectada. Al descartar estos tres puntos de la relación, se puede percibir una relación directa entre las variables con dispersión significativamente alta frente a la tendencia lineal. Por este motivo, no se puede hablar de alguna relación significativa entre las dos variables estudiadas.

De la información presentada en la tabla 16 y diagrama 46 se puede sacar la conclusión que existe una relación directa y, prácticamente, lineal con respecto al velocidad de trabajo y al índice de uniformidad. La dispersión expresada en esta relación lineal no es muy elevada (en comparación a los demás diagramas) y se puede percibir el crecimiento del índice de uniformidad a medida que incrementa la velocidad de trabajo. El comportamiento encontrado significaría que mientras más “uniforme” sean los pisos en el pódico superior, la velocidad de trabajo resulta mayor. Un mayor índice de uniformidad significa que los pisos superiores resultan ser más parecidos entre sí, por lo que la construcción de los pisos típicos resulta de ser un proceso repetitivo. Por este motivo, la velocidad en el avance en obra se manifiesta en concordancia con este criterio.

Con la información presentada en la tabla 17 y diagrama 47 se puede sacar la conclusión que no existe una relación estrecha con respecto al velocidad de trabajo y el porcentaje de espacio de trabajo disponible en la obra. Los porcentajes hallados simbolizan el porcentaje de área libre con respecto a la totalidad del área del terreno. No se puede deducir que mientras mayor sea el espacio disponible de trabajo en la obra, mayor será la velocidad con la cual se podrá trabajar en la partida en mención. A diferencia de la misma relación hecha para el pódico inferior, se puede revisar que para el pódico superior la desviación es muy grande, e incluso, la tendencia sugiere una relación inversa.

En la tabla 18 y el diagrama 48 se presenta la comparación que se realiza de la cantidad de pisos a ejecutar para la partida estudiada contra la velocidad de trabajo en ejecución. Se puede apreciar que hay una relación lineal directa con respecto a la comparación, y la dispersión no es alta a comparación con los diagramas anteriores. Se puede interpretar que, a mayor cantidad de pisos a construir, mayor es la velocidad de trabajo. Esta relación se podría entender en el hecho que, a mayor cantidad de pisos, mayor es la opción de generar repetitividad en la

ejecución de pisos típicos superiores. Al conocer el proceso constructivo, la velocidad de avance incrementa y esto genera que la velocidad de avance promedio sea mayor.

De los resultados que pertenecen a la tabla 19 y el diagrama 49 se puede visualizar que para los distintos sistemas estructural que se presentan en el estudio realizado, los valores de velocidad que pertenece al sistema de pre-losas resultan ser el más veloz a comparación de los demás. Además, la velocidad debida a los sistemas de losas post-tensadas y vigueta pretensadas puede deberse a la dificultad en el proceso constructivo del proyecto, lo que hace que la velocidad del proyecto resulte ser una de las menores. Del mismo modo, se puede visualizar en el diagrama que las velocidades de avance para pórticos y muros son muy distintas (sistemas duales). Estas variaciones se pueden deber a que las velocidades para estructuras de pórticos, muros o duales (y que no tienen otro proceso constructivo complejo) no tienen una relación establecida.

Del arreglo de datos generado en el diagrama 50, en donde se eliminaron los pisos inferiores y superiores que generan dispersión se obtienen nuevas velocidades para los proyectos. Tal como se muestra en la tabla 20 se halló la media de las pendientes calculadas. La desviación estándar de los datos mostrados no resulta ser muy cercana a 0 pero si tiene un valor pequeño (aproximadamente igual al calculado sin substraer los pisos inferiores y superiores); además a comparación con las tres primeras partidas maestras, la desviación es mayor. Así mismo, el promedio de los valores en mención, arrojan un resultado de 0.998 pisos por semana. Se puede evidenciar que la velocidad de avance es ligeramente mayor en el arreglo hecho en comparación a la velocidad que conserva los pisos que han sido descartados.

En el diagrama 51 se presentan los datos ajustados de tal modo que se determine el tipo de tendencia que resulte en una dispersión con un R^2 mayor a 0.99. En esta situación, se puede ver que 5 proyectos se vieron sujetos a la aplicación de una tendencia polinómica. El proyecto P7

y P24 requieren del ajuste de una ecuación cuadrática; el proyecto P23 y P27 requieren de una ecuación de tercer grado; y, el proyecto P26 de grado cuatro. En el caso de los proyectos con ajuste de segundo y tercer grado se puede ver que para el primer nivel construido la velocidad de avance es menor que para los siguientes niveles que se construyen. Esto, como ya se mencionó, se debe principalmente en el “aprendizaje” adquirido al momento de realizar el primer nivel, lo que implica la ejecución de los niveles superiores con una velocidad de trabajo superior. Además, en el proyecto P7, el último nivel tarda más que los niveles precedentes debido a que se trata de un cuarto de máquinas de una torre de oficinas. La presencia del piso en mención ocasiona que los trabajos se vean postergados sin necesidad a concluir con el nivel y, esto, significa menor velocidad de ejecución.

Por último, en la tabla 21 se muestra la comparación de velocidades para las pendientes halladas en la partida maestra 3 y 4. En esta situación se puede ver que en todos los casos la velocidad para la partida maestra de pódico superior las velocidades son mayores a las velocidades para el pódico inferior, excepto para el proyecto P24. Se puede identificar que el crecimiento se debe a que los pódicos superiores, por lo general, son realizados a velocidad superior por ser la “vitrina” de exposición del proyecto al público. Debido a la presencia que tiene el edificio en esta situación se vuelve necesario ejecutar la partida a la mayor velocidad posible, de tal modo que se pueda plasmar la eficiencia del proyecto. La uniformidad en velocidad del pódico inferior con respecto al superior se sustentaría en el hecho que el pódico inferior es lo suficientemente rápido como para darle continuidad al avance en el pódico superior.

Capítulo 5: Aplicación práctica de estudio

En este apartado se presenta un ejemplo práctico de cronograma de obra aplicado a distintos procedimientos de planificación. Para este propósito, se establece un proyecto y, con la información presentada en los planos, se obtiene plazos, dependencias y se descompone las tareas según sea necesario. Las formas de programación que serán de aplicación son las siguientes:

1. Diagrama de flechas: *Critical Path Method* (CPM)
2. Líneas de Flujo

1. Diagramas de flecha: *Critical Path Method* (CPM)

Para el desarrollo del diagrama de flechas con el método CPM, se requiere establecer una estructura de descomposición del trabajo en una tabla. En esta tabla se debe mostrar la dependencia entre actividades y duración de cada una.

Tabla 22 – Tabla resumen para elaboración de CPM

ITEM	NOMBRE DE TAREA	DEPENDENCIA	DURACIÓN
1	Movimiento de tierras		66
2	Perforación para anclaje	1-66D	66
3	Inyección de concreto	2-66D	66
4	Excavación del paño	3-65D	66
5	Perfilado y pañeteo	4-66D	66
6	Acero muro anclado	5-65D	66
7	Encofrado muro anclado	6-65D	66
8	Concreto muro anclado	7-65D	66
9	Tensado	8-63D	66
10	Movimiento de tierras	1	15
11	Perfilado y pañeteo	10-15D	15
12	Excavación de cimentaciones	11-14D	15
13	Acero muro + cimentaciones	12-14D	15
14	Concreto cimentaciones	13-14D	15
15	Encofrado muro	14-14D	15
16	Concreto muro	15-14D	15

17	Trazo y replanteo	8	20
18	Excavacion con equipo	17-20D	20
19	Excavacion manual	18-20D	20
20	Acarreo de material excavado	19-20D	20
21	Perfilado manual de las excavaciones	20-19D	20
22	Solado en cimentaciones	21-20D	20
23	Colocación de acero en cimentaciones	22-19D	20
24	Encofrado en cimentaciones	23-19D	20
25	Vaciado de concreto	24-20D	20
26	Desencofrado de zapatas	25-19D	20
27	Curado en cimentaciones	26-20D	20
28	Relleno localizado en cimentaciones	27-18D	20
29	Trazo y replanteo cisterna	25-13D	10
30	Excavacion con equipo cisterna	29-10D	10
31	Excavacion manual cisterna	30-10D	10
32	Acarreo de material excavado cisterna	31-10D	10
33	Perfilado manual de las excavaciones cisterna	32-9D	10
34	Vaciado de concreto ciclópeo en Sub Zapatas	33-10D	10
35	Colocación de acero en cimentaciones cisterna	34-9D	10
36	Encofrado en cimentaciones cisterna	35-9D	10
37	Vaciado de concreta cisterna	36-10D	10
38	Acero Verticales	23;35;16	120
39	Encofrado Verticales	38-120D	120
40	Concreto Verticales	39-119D	120
41	Encofrado de Fondo de Vigas	40-119D	120
42	Acero de Vigas	41-120D	120
43	Encofrado de Costado de Vigas	42-120D	120
44	Encofrado de Losa	43-119D	120
45	Acero de Losa	44-120D	120
46	Instalaciones en Losa	45-120D	120
47	Concreto de Vigas	46-119D	120
48	Concreto de Losas	47-120D	120

Se hace un recorrido por las actividades, colocando las dependencias y duraciones de las actividades y se presentan con un diagrama de Gantt.

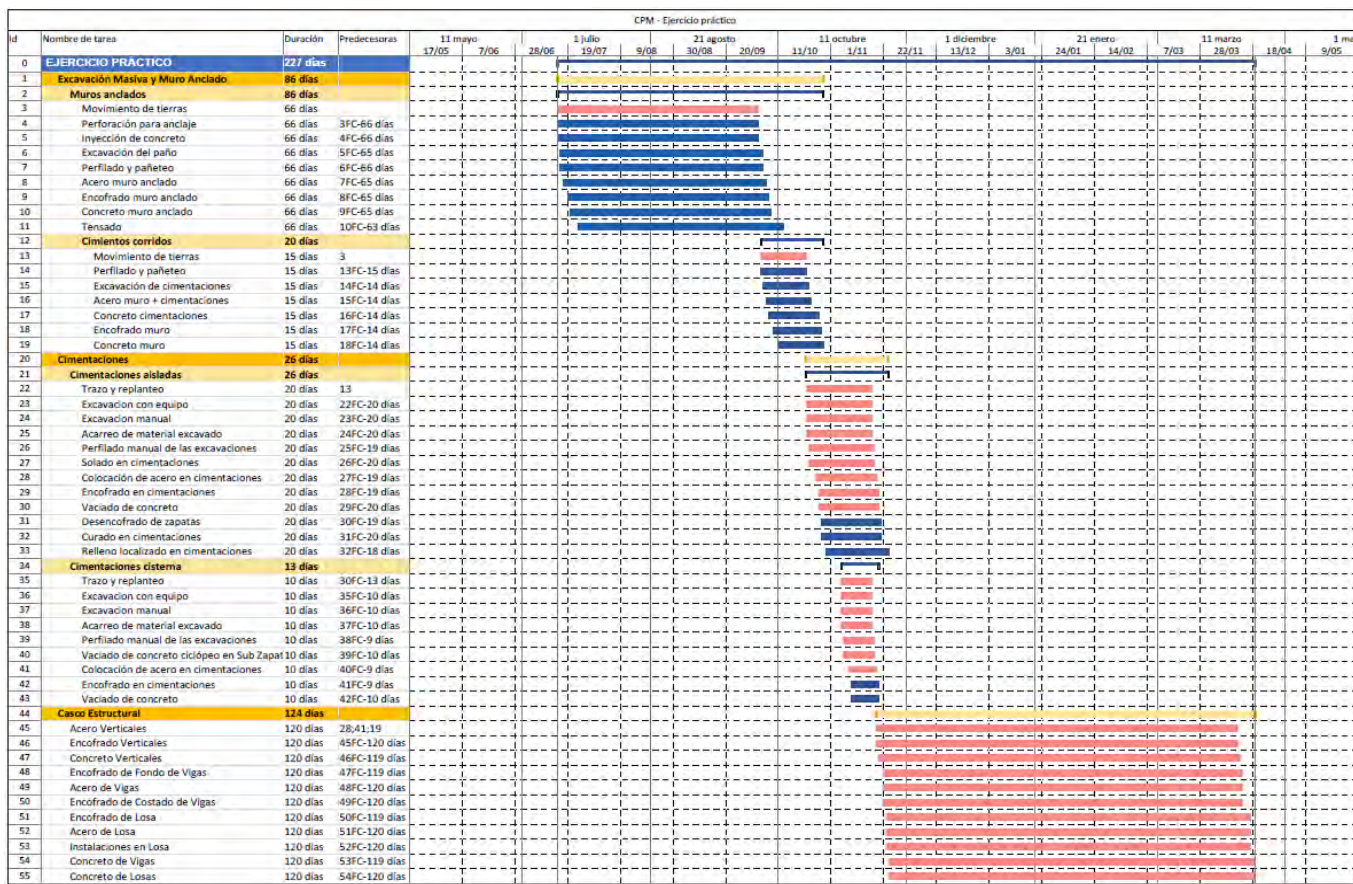


Diagrama 53 – Diagrama de flechas CPM

2. Líneas de Flujo

Para el desarrollo de Líneas de Flujo se establece las actividades a colocar considerando la dimensión de ubicación.

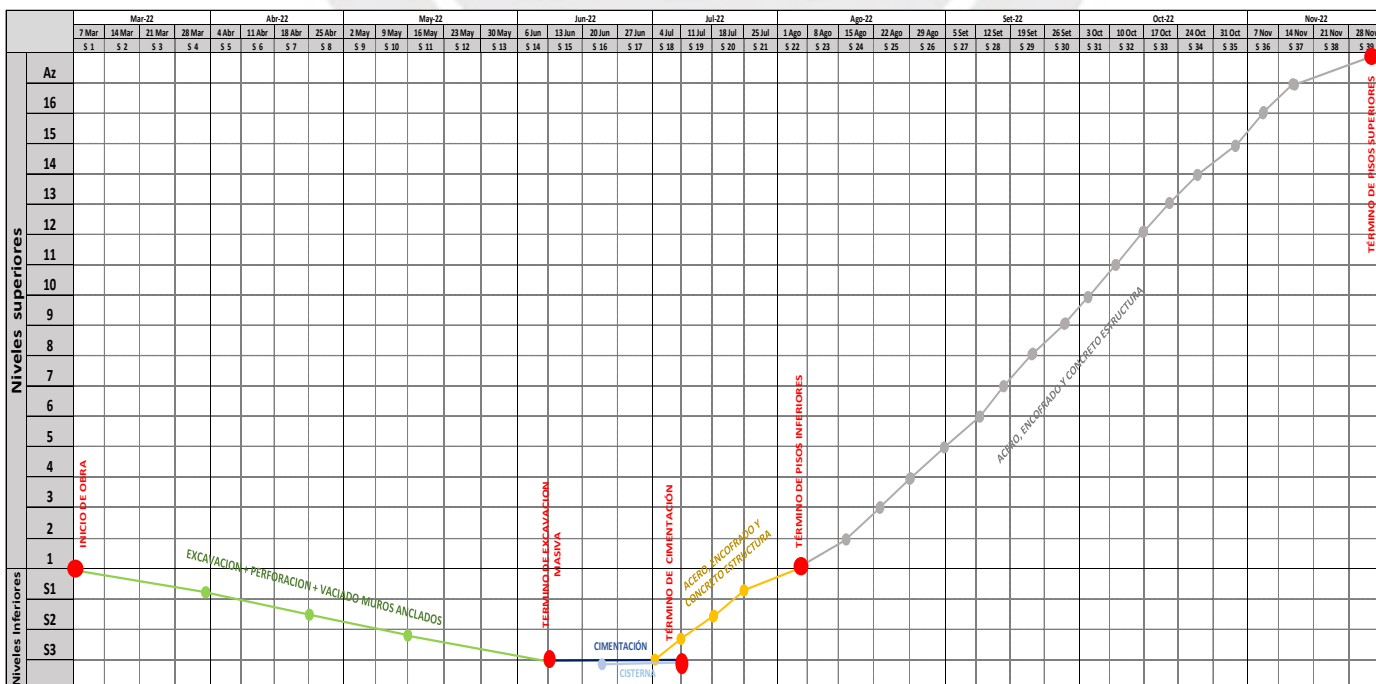


Diagrama 54 – Líneas de Flujo

Capítulo 6: Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

1. En el presente estudio, al realizar el seguimiento del avance de diversas obras de edificación se pudo estimar las partidas maestras y, luego, el plazo general de una obra. De este modo, la situación mencionada permitió que se pueda manifestar, con el uso de Líneas de Flujo, la Programación Maestra de proyectos de edificación típicos en Lima.
2. La tendencia que siguen las Líneas de Flujo en la Programación Maestra de proyectos de edificación similares en Lima permitió obtener patrones homogeneizados basados en la experiencia de los procesos constructivos. La recolección de data de proyectos de construcción ayudó desarrollar el punto de partida del “Modelo Heurístico de Clancey”, en donde se genera un sistema basado en experiencia para, así, evidenciar bajo fundamento empírico la duración de las Partidas Maestras principales. El uso de Líneas de Flujo permitió que los cálculos en mención sean factibles debido a la bondad de visualización de velocidad de trabajo.
3. Las Líneas de Flujo resulta ser una técnica de programación viable cuando sea necesario mostrar el trabajo en un proyecto de construcción en una línea que grafica un consolidado de actividades. La presentación de los plazos de ejecución de obra se presenta de manera armoniosa en un documento pequeño y cómodo. Del mismo modo, se puede reflejar la correlación entre actividades en conjunto a la velocidad de avance de las distintas tareas. La presentación del método de programación permite que el programador pueda ejecutar un plan desde la simple inspección visual.

4. En los proyectos de edificación la planificación a nivel macro (global) no debe entrar en detalles pues, entrar a este nivel, significaría que la planificación se encuentre sujeta a un alto grado de error. Ejecutar la planificación bajo esta perspectiva significaría un gasto innecesario de esfuerzos lo cual no apunta a la eficiencia del proceso. Por este motivo, el uso de Líneas de Flujo significará una ventaja bajo esta situación pues la técnica permite que se pueda percibir el flujo de producción a nivel global en la obra. La ventaja de poder identificar la localización de ejecución de actividades a lo largo del tiempo implica facilitar la perspectiva del proyecto a nivel macro en cuanto a plazos de ejecución de proyectos.
5. Las Líneas de Flujo, en general, significan una gran ventaja en cuanto a su aplicación en los procesos de planificación. El método de programación en mención permite control de operaciones desde una visualización global, garantiza la interpretación de relación entre actividades y, la característica más significativa, permite la demostración de velocidad de producción desde la pendiente. El último criterio permite que se puedan tomar decisiones con sustento experimental para la planificación de proyectos. Además, se puede acortar la duración del proyecto y disminuir el riesgo de este, ya que se pueden eliminar o reducir aquellas actividades que signifiquen costos y tiempo adicional. Debido a lo expuesto, queda evidenciada la gran ventaja de usar Líneas de Flujo como técnica de programación para los proyectos de edificación en el país. Se debe, por lo tanto, asumir los beneficios de la técnica en mención y superar la monotonía de las técnicas tradicionales.
6. El análisis de la Partida Maestra que corresponde a las excavaciones y sistemas de sostenimiento permite concluir que, en promedio, las obras de construcción de

proyectos de edificación en Lima ejecutan, aproximadamente, $\frac{1}{4}$ de nivel por semana. De los estudios realizados se puede percibir que los sistemas de sostenimiento que pertenecen a calzaduras resultan tener una velocidad de trabajo mayor debido a la poca cantidad de niveles a ejecutar. Además, podría existir una relación inversa entre la irregularidad del terreno frente a la velocidad de avance, pues, mientras más irregularidades tenga el mismo resulta más complicado el trabajo a una velocidad de trabajo mayor.

7. El análisis de la Partida Maestra que corresponde a cimentaciones y elementos enterrados permite concluir que, en promedio, las obras de construcción de proyectos de edificación en Lima ejecutan, aproximadamente, el 18% del área cimentada por semana. De los estudios realizados se puede percibir que no hay relación entre la cantidad de superficie cimentada y velocidad de trabajo. En principio, se podría interpretar que la velocidad y el área por cimentar tienen una relación, pues, el trabajo a realizar por el operario puede resultar mayor mientras mayor sea la superficie. Sin embargo, no se puede asegurar que el factor área cimentada signifique un punto de inflexión para afectar la velocidad de trabajo.
8. El análisis de la Partida Maestra que corresponde al pórtico inferior permite concluir que, en promedio, las obras de construcción de proyectos de edificación en Lima ejecutan, aproximadamente, $\frac{7}{10}$ de nivel por semana. De los estudios realizados se puede percibir que hay una relación directa entre la velocidad de trabajo y el porcentaje de espacio disponible. Lo mencionado se interpreta por la cantidad de área disponible para la manipulación, acarreo, acopio, flujo y control de recursos. Por ese motivo, se puede determinar que la velocidad de ejecución de actividades puede verse afectada por

el espacio disponible para la gestión de recursos y flujo de trabajo. Además, se puede observar la existencia de una relación inversa entre la irregularidad del terreno frente a la velocidad de avance, pues, mientras más irregularidades tenga el mismo resulta más complicado el trabajo a una velocidad de trabajo mayor.

9. El análisis de la Partida Maestra que corresponde a pódico superior permite concluir que, en promedio, las obras de construcción de proyectos de edificación en Lima ejecutan, aproximadamente, 1 piso por semana. De los estudios realizados se puede percibir que mientras más uniformes sean los pisos superiores en planta (o, expresado de otro modo: más típico sean los pisos superiores en planta), la velocidad de avance de obra resulta ser mayor. Esto resulta coherente, pues la velocidad de ejecución de obra puede aumentar debido a la repetitividad de los procesos constructivos a lo alto de la estructura, lo que significaría un proceso automatizado en el avance del proyecto. Además, se puede observar que, a mayor cantidad de pisos, hay una velocidad de trabajo más alto; y esto se puede interpretar con la base del proceso de aprendizaje: a mayor cantidad de pisos, mayor oportunidad de desarrollar la curva de aprendizaje. Para finalizar, el sistema estructural que incluye en su ejecución el sistema de losa prefabricadas resulta el más rápido de todos los procesos constructivos, ya que no depende del vaciado de concreto premezclado, la dependencia del proveedor, la secuencia de actividades tradicionales y el control de calidad posterior.

10. En las Líneas de Flujo ejecutadas en el presente estudio se puede visualizar relación entre las Partidas Maestras. Con respecto a la Partida Maestra 1 y 2 se puede identificar que la segunda puede iniciar incluso antes que la primera llegue al último nivel de ejecución. Esta situación se debe a la planificación y distribución de espacio

determinada en la gestión del proyecto. Es factible iniciar con la construcción de cimientos sin haber culminado con todo el último anillo (en el caso de muros anclados) de la partida excavación y elementos de sostenimiento. La posibilidad de ejecutar lo expresado depende de la distribución de espacio que se tiene en el terreno y la posibilidad de flujo de maquinaria para la elaboración simultánea de trabajo en el área. Además, el inicio de la Partida Maestra 3 puede darse, incluso, antes de culminar con la segunda partida. Esta situación es posible bajo el mismo panorama mencionado anteriormente, ya que, si se dispone del espacio necesario para ejecutar el levantamiento de las primeras columnas del pórtico inferior sin interrumpir el avance de los cimientos restantes o elementos enterrados, la partida 3 inicia sus actividades. La relación más clara resulta la hallada entre la Partida Maestra 3 y 4. Se puede revisar que existe continuidad en los proyectos frente a estas dos partidas: el inicio de la cuarta partida se da con la finalización de la tercera. Por último, en esta comparación se puede visualizar que la velocidad de avance para la cuarta partida es superior a la de la tercera; y se puede interpretar que, para los gestores en Lima, resulta importante presentar pórtico superior pues es la imagen comercial que se da del proyecto al público que transita cerca.

11. En los proyectos de edificación estudiados en el presente informe se pueden comentar diversas razones por las cuales se generan retrasos. Es importante mencionar que estos eventos, de ser fortuitos o no, se traducen en velocidades de avance que interrumpen el flujo constante en la velocidad de trabajo. Las relaciones realizadas en el estudio expuesto apuntan a identificar aquellos factores que ocasionen bajas en la velocidad de avance. Por otro lado, se han podido identificar aquellas razones que generan retrasos generales (a nivel macro). Se puede mencionar que los factores más relevantes hallados son: los cambios realizados en los planes de ejecución de trabajo, la procura de los

materiales, la relación entre las Partidas Maestras (concepto desarrollado en la conclusión previa) y el diseño constructivo basado en el sistema estructural. Lo mencionado, por interrumpir la velocidad de trabajo, genera dispersión al cálculo de tendencias en la velocidad media de avance según lo expresado por las Líneas de Flujo para las distintas partidas.

Recomendaciones

1. En primera instancia se recomienda ampliar la base de datos de información. Para incrementar la confiabilidad de los datos expuestos en el presente trabajo se recomienda el estudio de más proyectos de edificación con características similares en Lima. De este modo, las relaciones, las medias y los resultados obtenidos resultarían de datos representativos de gran cantidad de proyectos. Por este motivo, se incentiva la aplicación de más datos de plazos de ejecución real para proyectos de edificación.
2. La Partida Maestra que corresponde a acabados, en el presente informe, se representa con la fecha de finalización de la cuarta partida y la fecha final del proyecto. En realidad, las Líneas de Flujo que pertenecen a la partida en mención son elaboradas a mayor nivel de detalle. La representación de la partida se da por la división de acabados húmedos y secos, donde se encuentran partidas específicas que corresponden a la fase de acabados. Debido al alcance del presente estudio, se ha realizado una simplificación que sintetiza los detalles expresados. Por este motivo, se recomienda hacer una investigación exclusiva a esta Partida Maestra en específico, en donde se estudien los plazos de ejecución y se estimen tiempos de duración.
3. Se recomienda, para complementar el estudio de plazos de ejecución en los proyectos, hacer un estudio de tiempos en obra de modo detallado. En el presente informe se ha

presentado el estudio de duración de proyecto a nivel de Programa Maestro, por lo que, para precisar en el tema en cuestión resultaría viable enfocar el estudio más allá de lo macro. De este modo, se llegaría a integrar lo hallado en este estudio con la propuesta detallada para lograr una explicación más completa del fenómeno.

4. Por otro lado, se podría aprovechar el uso de Líneas de Flujo en la Programación Maestra para hacer el estudio de recursos y, de ser posible, se recomienda hacer un estudio de costos en proyectos de edificación. Hay gran cantidad de involucrados en la gestión de proyectos que enfocan su interés en los costos de obra, por lo que resultaría viable hacer un estudio similar al presentado en este informe desde el enfoque de costos.
5. En el presente trabajo se han incluido una serie de relaciones entre velocidad de avance y variables diversas para las distintas Partidas Maestras. Más allá de las variables ya indicadas se recomienda hacer el estudio de tal modo que se puedan incorporar a las ya analizadas. Debido al alcance del estudio y de las limitaciones en el tiempo de elaboración del estudio no se han podido incluir algunas variables que resultarían trascendentales, por lo que significarían motivo de estudios. A continuación, se hace un listado de aquellas variables por revisar según la Partida Maestra correspondiente:
 - Partida Maestra 1: estados de las perforadoras, condición del suelo excavado, tipo de suelo excavado, paños de las calzaduras y sistema de planificación.
 - Partida Maestra 2: conocimiento maquinista, inclusión de aisladores y sistema de planificación.

Capítulo 7: Referencias bibliográficas

- Ballard, H. G. (2000). *The last planner system of production control*. (tesis doctoral inédita). Universidad de Birmingham, Birmingham, Inglaterra.
- Botero, L. (2006). *Construcción sin pérdidas, análisis de procesos y filosofía lean construction. Segunda edición*. Colombia: Editorial Legis.
- Botero, L., & Acevedo, H. (2011). Simulación de operaciones y Líneas de Flujo: herramientas integradas para la toma de decisiones. *Ingeniería y Ciencia*, 7(13), 29-45.
- Calampa, S. (2014). *Aplicación de la Línea Balance en el sistema Last Planner en proyectos de edificaciones*. (tesis de licenciatura inédita). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Clancey, W.J. (1985). Heuristic classification. *Artificial intelligence*, 27(3), 289-350
- Fondahl, J. (1962). *A non-computer approach to the critical path method for the construction industry*. California: Stanford University.
- Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Macmillan.
- Kelley, J.E., & Walker, M.R. (1959). *Critical Path Planning and Scheduling*. Boston: Easter Joint Computer Conference.
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2009). *Location-based Management of Construction Projects: Part of a New Typology for Project Scheduling Methodologies*. Texas: Proceedings of the Winter Simulation Conference.
- Kenley, Russell., & Seppänen, O. (2010). *Location-based management for construction: planning, scheduling and control*. Spon Press.
- Koskela, L. (1992). *Application of the new production philosophy to construction*. Espoo: Technical Research Center of Finland.
- Koskela L. (1999). *Management of production in construction: a theoretical view*. In: Proceeding for the 8th Annual Conference of the International Group for Lean Construction, Berkeley, CA, p. 241–252.

- Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. (Tesis doctoral inédita). Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finlandia.
- Koskela, L., Stratton, R., & Koskenvesa, A. (2010). *Last planner and critical chain in construction management: comparative analysis*. Haifa: International Group for Lean Construction.
- Gantt, H. (1919). *Organizing for work*. Nueva York: Harcourt, Brace and Howe.
- González, M.C., Asensio, S., Diego, J.A., & Alcaide, J. (2009). *Análisis del método de la cadena crítica vs método del camino crítico. Viabilidad y conceptos*. Valencia: XIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos.
- Lindhard, S. M., & Wandahl, S. (2014). Exploration of the reasons for delays in construction. *The International Journal of construction management*, 14(1), 36-44. <https://doi.org/10.1080/15623599.2013.875267>
- Loría, J. (2010). *Programación de obras con la técnica de Líneas de Flujo*. México DF: Academia de Ingeniería de México.
- Ochoa G. (2017). Diapositivas de Clase N4: Planificar el proyecto. Clases de Gestión de Proyecto de Construcción, Mayo, Perú
- Orihuela, P., & Esteves, D. (2013). *Aplicación del Método de la Línea Balance a la Planificación Maestra*. Cancún: ELAGEO.
- Orihuela, P., & Ulloa, K. (2011). La planificación de las obras y el sistema Last Planner. *Corporación Arequipa. Construcción Integral*, 12, 1-4.
- Rodríguez, W. (2011). *Fundamentos de programación, reprogramación, calidad total y seguridad total de obras civiles*. Lima: Universidad Nacional de ingeniería.
- Rodríguez, W. (2006). *Gerencia de construcción y del tiempo: planeamiento estratégico, táctico, operativo y contingencia*. Lima: Macro.
- Soini, M., Leskela, I., & Seppänen, O. (2004). *Implementation of line-of-balance based scheduling and project control system in a large construction company*. Copenhagen: Proceeding IGLC-12.

Tejada, A. (2014). *Aplicación de la filosofía Lean Construction en la planificación, programación, ejecución y control de proyectos*. (tesis de licenciatura inédita). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

U.S. Department of the Navy. (1958). *Program Evaluation Research Task, Summary Report, Phase I*. Washington D.C.: Government Printing Office.

Weaver, Patrick (2006). *A brief history of scheduling*. Hyatt: myPrimavera Conference.

Yucra, A. (2022). *Guía de Integración Last Planner System – Location Based Management System* (Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica de Chile.



Anexos

Anexo A: Tablas de cálculo de coeficiente de regularidad.

Tabla A1 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P1

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P1	1	1	-	-
	2	0.96	Vigueta y fierros superiores	0.96
	3	1	-	0.92
	4	0.96	Vigueta y fierros superiores	0.96
	5	1	-	0.92
	6	0.94	Vigueta y macizos	0.94
				Coeficiente de regularidad

Tabla A2 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P2

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P2	1	1	-	-
	2	0.72	Vigas inferior izquierda, vano a izquierda, distribución viguetas entre eje 3 y 4.	0.72
	3	0.72	Vigas inferior izquierda, vano a izquierda, distribución viguetas entre eje 3 y 4.	0.72
	4	0.71	Vigas inferior izquierda, vano a izquierda, distribución viguetas entre eje 3 y 4, borde izquierda reducido.	0.71
	5	0.71	Vigas inferior izquierda, vano a izquierda, distribución viguetas entre eje 3 y 4, borde izquierda reducido.	0.71
	6	0.7	Vigas inferior izquierda, vano a izquierda, distribución viguetas entre eje 3 y 4, borde izquierda reducido, nace muro.	0.70
	7	0.62	Vigas inferior izquierda, vano a izquierda, distribución viguetas entre eje 3 y 4, borde izquierda reducido, losas macizas.	0.59
				Coeficiente de regularidad

Tabla A3 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P3

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P3	1	1	-	-
	2	0.95	Losas	0.95
	3	0.95	Losas	0.95
	4	0.95	Losas	0.95
	5	0.93	Losas y saliente en vigas	0.93
	6	0.92	Losas	0.92
-				Coeficiente de regularidad
				0.94

Tabla A4 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P5

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P5	1	1	-	-
	2	0.95	dimensiones de vigas	0.95
	3	0.95	dimensiones de vigas	0.95
	4	0.58	dimensiones vigas, vanos, losas, viguetas	0.56
	-			
				0.82

Tabla A5 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P6

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P6	1	1	-	-
	2	0.99	Armado fierro	0.99
	3	0.99	Armado fierro	0.99
	4	0.99	Armado fierro	0.99
	5	0.99	Armado fierro	0.99
	6	0.97	Armado fierro, vanos superiores y encofrado inferior	0.97
	7	0.97	Armado fierro, vanos superiores y encofrado inferior	0.97
	8	0.97	Armado fierro, vanos superiores y encofrado inferior	0.97
	9	0.97	Armado fierro, vanos superiores y encofrado inferior	0.97
	10	0.97	Armado fierro, vanos superiores y encofrado inferior	0.97
	11	0.96	Armado fierro, vanos superiores, viga y encofrado inferior	0.96
	12	0.96	Armado fierro, vanos superiores, viga y encofrado inferior	0.96
	13	0.96	Armado fierro, vanos superiores, viga y encofrado inferior	0.96
	14	0.96	Armado fierro, vanos superiores, viga y encofrado inferior	0.96
	15	0.96	Armado fierro, vanos superiores, viga y encofrado inferior	0.96
	16	0.95	Armado fierro, vanos superiores, viga, vano y encofrado inferior	0.95
	17	0.95	Armado fierro, vanos superiores, viga, vano y encofrado inferior	0.95
	18	0.95	Armado fierro, vanos superiores, viga y vano	0.95
-				Coeficiente de regularidad
				0.97

Tabla A6 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P7

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P7	1	1	-	-
	2	0.96	Variación encofrado	0.96
	3	0.96	Variación encofrado	0.96
	4	0.96	Variación encofrado	0.96
	5	0.96	Variación encofrado	0.96
	6	0.96	Variación encofrado	0.96
	7	0.96	Variación encofrado	0.96
	8	0.96	Variación encofrado	0.96
	9	0.96	Variación encofrado	0.96
	10	0.96	Variación encofrado	0.96
	11	0.96	Variación encofrado	0.96
	12	0.96	Variación encofrado	0.96
	13	0.96	Variación encofrado	0.96
	14	0.96	Variación encofrado	0.96
	15	0.96	Variación encofrado	0.96
	16	0.96	Variación encofrado	0.96
	17	0.96	Variación encofrado	0.96
	18	0.96	Variación encofrado	0.96
		-	Coeficiente de regularidad	0.96

Tabla A7 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P8

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P8	1	1	-	-
	2	0.98	Viga derecha	0.98
	3	0.95	Distribución vigas	0.95
	4	0.97	Distribución vigas	0.93
	5	0.95	Distribución vigas	0.95
	6	0.97	Distribución vigas	0.93
	7	0.95	Distribución vigas	0.95
	8	0.97	Distribución vigas	0.93
	9	0.95	Distribución vigas	0.95
	10	0.97	Distribución vigas	0.93
	11	0.95	Distribución vigas	0.95
	12	0.95	Distribución vigas	0.95
	13	0.95	Distribución vigas	0.95
	14	0.95	Distribución vigas	0.95
	15	0.95	Distribución vigas	0.95
	16	0.95	Distribución vigas	0.95

	17	0.95	Distribución vigas	0.95
	18	0.95	Distribución vigas	0.95
	19	0.95	Distribución vigas	0.95
	20	0.95	Distribución vigas	0.95
	21	0.95	Distribución vigas	0.95
	22	0.92	Distribución vigas	0.92
	23	0.9	Distribución vigas	0.90
				Coefficiente de regularidad
	-			0.94

Tabla A8 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P10

	<u>Piso</u>	<u>Coeficiente</u>	<u>Observación</u>	<u>Proporción del coeficiente</u>
P10	1	1	-	-
	2	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	3	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	4	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	5	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	6	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	7	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	8	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	9	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	10	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	11	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	12	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	13	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	14	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	15	0.95	Variación losa: inferior centrado	0.95
	16	0.93	Variación losa: inferior centrado y variación viga, transición	0.93
				Coefficiente de regularidad
	-			0.95

Tabla A9 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P12

<u>Proyecto</u>	<u>Piso</u>	<u>Coeficiente</u>	<u>Observación</u>	<u>Proporción del coeficiente</u>
P12	1	1	-	-
	2	1	-	1.00
	3	1	-	1.00
	4	0.7	Se incorpora escalera, se extiende un paño	0.70
	5	0.6	Se extienden paños y cambian tipo de losa.	0.56

	-	Coefficiente de regularidad
		0.81

Tabla A10 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P13

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P13	1	1	-	-
	2	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	3	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	4	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	5	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	6	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	7	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	8	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	9	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	10	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	11	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	12	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	13	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	14	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	15	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	16	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	17	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	18	0.98	Se acorta paño, distribución de acero.	0.98
	19	0.95	Cambia tipo de losa	0.95
	20	0.85	Cambian varios tipos de losa, muros	0.84
		-	Coefficiente de regularidad	
			0.97	

Tabla A11 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P14

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P14	1	1	-	-
	2	0.82	Se incorporan paños	0.82
	3	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	4	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	5	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	6	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	7	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	8	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	9	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	10	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
	11	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80

12	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
13	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
14	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
15	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
16	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
17	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
18	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
19	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
20	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
21	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
22	0.8	Se incorporan paños y ductos	0.80
-			Coeficiente de regularidad
			0.80

Tabla A12 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P15

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P15	1	1	-	-
	2	0.98	Cambio en ductos	0.98
	3	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	4	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	5	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	6	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	7	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	8	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	9	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	10	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	11	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	12	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	13	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	14	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	15	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	16	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	17	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	18	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	19	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
	20	0.92	Cambio en ductos y diseño losas	0.92
-			Coeficiente de regularidad	
			0.92	

Tabla A13 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P16

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P16	1	1	-	-
	2	0.85	Cambio muros, ductos, refuerzo	0.85
	3	0.9	Cambios muros, ductos	0.79
	4	0.85	Cambio muros, ductos, refuerzo	0.84
	5	0.75	Cambio muros, ductos, refuerzo y losa	0.73
	-			

Tabla A14 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P17

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P17	1	1	-	-
	2	0.95	Cambio en refuerzo de losa	0.95
	3	0.95	Cambio en refuerzo de losa	0.95
	4	0.95	Cambio en refuerzo de losa	0.95
	5	0.95	Cambio en refuerzo de losa	0.95
	6	0.95	Cambio en refuerzo de losa	0.95
	7	0.9	Cambio en refuerzo de losa, incorporación escalera	0.90
	8	0.8	Cambio en refuerzo de losa, incorporación escalera, cambio de losa y ductos	0.79
	-			

Tabla A15 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P18

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P18	1	1	-	-
	2	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	3	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	4	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	5	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	6	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	7	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	8	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	9	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	10	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	11	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	12	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	13	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	14	0.65	Aumento de vacíos	0.65
	15	0.65	Aumento de vacíos	0.65

16	0.65	Aumento de vacíos	0.65
17	0.65	Aumento de vacíos	0.65
18	0.65	Aumento de vacíos	0.65
19	0.6	Aumento de vacíos	0.57
20	0.6	Aumento de vacíos	0.60
21	0.6	Aumento de vacíos	0.60
22	0.6	Aumento de vacíos	0.60
23	0.55	Aumento de vacíos	0.50
24	0.5	Aumento de vacíos	0.46
25	0.5	Aumento de vacíos	0.50
26	0.5	Aumento de vacíos	0.50
27	0.5	Aumento de vacíos	0.50
			Coeficiente de regularidad
			0.61

Tabla A16 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P19

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P19	1	1	-	-
	2	0.7	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.70
	3	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.66
	4	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	5	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	6	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	7	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	8	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	9	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	10	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	11	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	12	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	13	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	14	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
	15	0.73	Aumento de vacíos, distribución de vanos, refuerzo en losas	0.73
				Coeficiente de regularidad
				0.72

Tabla A17 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P20

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P20	1	1	-	-
	2	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
	3	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
	4	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92

5	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
6	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
7	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
8	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
9	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
10	0.92	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.92
11	0.9	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.90
12	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
13	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
14	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
15	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
16	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
17	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
18	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
19	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
20	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
21	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
22	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
23	0.87	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.87
24	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
			Coefficiente de regularidad
			0.89

Tabla A18 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P21

Proyecto	Piso	Coefficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P21	1	1	-	-
	2	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	3	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	4	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	5	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	6	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	7	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	8	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	9	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	10	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	11	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	12	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	13	0.77	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.77
	14	0.73	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.72
	15	0.73	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.73
	16	0.73	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.73
	17	0.73	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.73
	18	0.73	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.73

19	0.73	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.73
20	0.7	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.69
21	0.7	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.70
-			Coefficiente de regularidad
-			0.75

Tabla A19 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P23

Proyecto	Piso	Coefficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P23	1	1	-	-
	2	0.7	Menos paños	0.70
	3	0.7	Menos paños	0.70
	4	0.7	Menos paños	0.70
	5	0.7	Menos paños	0.70
	6	0.7	Menos paños	0.70
	7	0.7	Menos paños	0.70
	8	0.7	Menos paños	0.70
	9	0.7	Menos paños	0.70
	10	0.7	Menos paños	0.70
	11	0.6	Menos paños, se incorporan volados	0.56
	12	0.6	Menos paños, se incorporan volados	0.60
	13	0.55	Menos paños, se incorporan volados, cambia tipo de losa	0.52
	14	0.5	Menos paños, se incorporan volados, cambia tipo de losa, aumento vacío	0.46
	15	0.35	Menos paños, se incorporan volados, cambia tipo de losa, aumento vacío	0.20
-			Coefficiente de regularidad	
-			0.62	

Tabla A20 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P24

Proyecto	Piso	Coefficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P24	1	1	-	-
	2	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	3	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	4	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	5	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	6	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	7	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	8	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	9	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	10	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
	11	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75

12	0.75	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.75
13	0.7	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.68
14	0.7	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.70
15	0.65	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.63
16	0.6	Aumento de vacíos, cambio de refuerzo	0.57
-			Coefficiente de regularidad
-			0.72

Tabla A21 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P25

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P25	1	1	-	-
	2	0.8	Aumento de paos	0.80
	3	0.75	Disminución de paños	0.74
	4	0.8	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.68
	5	0.75	Disminución de paños	0.74
	6	0.8	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.68
	7	0.75	Disminución de paños	0.74
	8	0.8	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.68
	9	0.75	Disminución de paños	0.74
	10	0.8	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.68
	11	0.7	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.68
	12	0.7	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.70
	13	0.7	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.70
	14	0.7	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.70
	15	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.63
	16	0.55	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.50
-			Coefficiente de regularidad	0.69

Tabla A22 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P26

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P26	1	1	-	-
	2	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	3	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	4	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	5	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	6	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	7	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	8	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	9	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	10	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
	11	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65

12	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
13	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
14	0.65	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.65
15	0.55	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.50
16	0.55	Disminución de paños, cambio de refuerzo	0.55
-			Coefficiente de regularidad
-			0.63

Tabla A23 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P27

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P27	1	1	-	-
	2	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	3	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	4	0.75	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.73
	5	0.75	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.75
	6	0.75	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.75
	7	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.62
	8	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	9	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	10	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	11	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	12	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	13	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	14	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	15	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	16	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	17	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
	18	0.5	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.44
-			Coefficiente de regularidad	
-			0.79	

Tabla A24 – Cálculo de coeficiente de regularidad proyecto P28

Proyecto	Piso	Coeficiente	Observación	Proporción del coeficiente
P28	1	1	-	-
	2	0.9	Refuerzo de losa	0.90
	3	0.9	Refuerzo de losa	0.90
	4	0.9	Refuerzo de losa	0.90
	5	0.9	Refuerzo de losa	0.90
	6	0.9	Refuerzo de losa	0.90
	7	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.84
	8	0.8	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.79

9	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.74
10	0.85	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.85
11	0.8	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.79
12	0.75	Aumento de vacíos, refuerzo de losa	0.74
-			<u>Coeficiente de regularidad</u>
			0.84

