

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN - TACNA

Facultad de Ingeniería Civil, Arquitectura y Geotecnia

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

“MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN PROYECTOS
DE EDIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA
DE GESTIÓN BIM-LEAN”

TESIS

Presentada por:

Bach. Lizbeth Sara Choquesa López

Para optar el Título Profesional de:

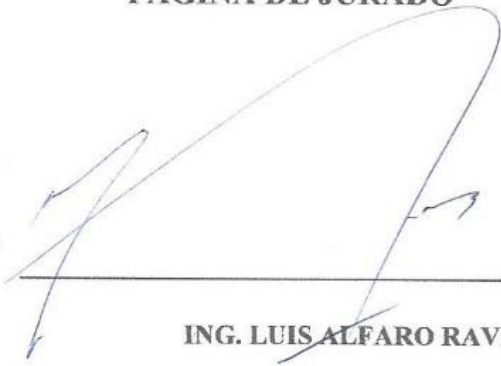
INGENIERO CIVIL

TACNA - PERÚ

2019

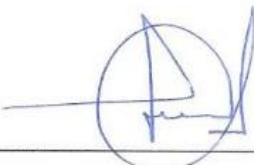
PÁGINA DE JURADO

PRESIDENTE

: 


ING. LUIS ALFARO RAVELLO

SECRETARIO

: 

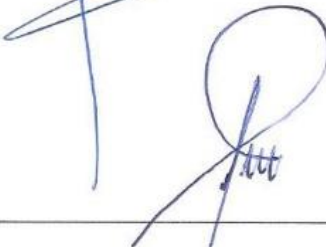
ING. LUIS ANDRES CHÁVEZ ORDINOLA

VOCAL

: 

ING. SANTOS GÓMEZ CHOQUEJAHUA

ASESOR

: 

Ing. SAMUEL AMAR ANTEZANA

Dedicatoria:

*El principal motor de mi vida es
mi querida madre, además de
haberme dado la vida, entrega su
vida cada día con amor y
sacrificio brindándome un hogar y
la mejor herencia; educación, es
por ello que este trabajo de Tesis
se la dedico a mi madre.*

AGRADECIMIENTO

La gratitud es un acto de humildad, una ventana al alma de quien lo da.

De esta manera quiero empezar agradeciendo a mi madre por su apoyo incondicional en todo aspecto, por soportar mi impaciencia en algunas ocasiones, por perseverar a mi lado. A mis hermanos por acompañarme en esta etapa.

Quiero agradecer a los docentes de la carrera de ingeniería civil, por darme una formación desde que inicie la universidad en especial al ingeniero Samuel Amar por su asesoría en la realización de esta Tesis. Al ingeniero José Ardiles por ser ejemplo de honestidad, pasión y paciencia de la ingeniería civil. A mis compañeros y amigos que me acompañaron en esta etapa universitaria.

Agradecer de manera especial a la Inmobiliaria Casta por acogerme en este proyecto y permitirme aplicar la investigación de la presente Tesis. Al ingeniero Gilbert Acosta por su enseñanza en obra y al señor Fredy, administrador del proyecto.

Agradecer a Frank Rosales por su aporte en este trabajo como asesor externo, por sus consejos, enseñanzas, por sus palabras de ánimo, por su paciencia, además de ser mi asesor, mi novio quien perseveró a mi lado desde el inicio de este trabajo.

Agradecer a todos que de alguna manera directa o indirecta han sido parte de esta Tesis, infinitas gracias.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	1
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. HIPÓTESIS.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	1
1.4. OBJETIVOS	2
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.5. ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ESTUDIO	3
1.6. VARIABLES	4
1.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE	4
1.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	5
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
2.2. DEFINICIONES BÁSICAS	8
2.3. MARCO CONCEPTUAL:	11
2.3.1. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	11
2.3.2. INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL PERÚ	12
2.3.3. PRODUCCIÓN EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA Y LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	14

2.3.4. LA PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN	14
2.3.5. PRODUCTIVIDAD SEGÚN LOS TIPOS DE RECURSOS	17
2.3.6. CLASIFICACIÓN DE CAUSAS DE PÉRDIDAS DE PRODUCTIVIDAD	18
2.3.7. MEJORAMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD.....	21
2.3.8. LEAN CONSTRUCTION (CONSTRUCCIÓN SIN PÉRDIDAS)	23
2.3.8.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS: LEAN CONSTRUCTION	23
2.3.8.2. FILOSOFÍA DE LEAN CONSTRUCTION	25
2.3.8.3. CARACTERÍSTICAS DE LEAN CONSTRUCTION.....	25
2.3.8.4. PRINCIPIOS DE LEAN CONSTRUCTION.....	26
2.3.8.5. PÉRDIDAS EN LA CONSTRUCCIÓN SEGÚN LEAN CONSTRUCTION	33
2.3.8.6. CLASIFICACIÓN DE DESPERDICIOS	34
2.3.8.7. HERRAMIENTAS LEAN CONSTRUCTION	35
2.3.8.7.1. SECTORIZACIÓN	35
2.3.8.7.2. TREN DE ACTIVIDADES.....	37
2.3.8.7.3. CIRCUITO FIEL.....	39
2.3.8.7.4. LAST PLANNER SYSTEM	40
2.3.8.8. SISTEMA LEAN CONSTRUCTION VS. SISTEMA TRADICIONAL.....	52
2.3.8.9. LEAN CONSTRUCTION INSTITUTE.....	53
2.3.9. BUILDING INFORMATION MODEL (BIM)	55

2.3.9.1. RESEÑA HISTÓRICA DE BIM.....	55
2.3.9.2. DEFINICIÓN DE BIM.....	58
2.3.9.3. CONCEPTOS BIM.....	59
2.3.9.4. DIMENSIONES DE BIM.....	61
2.3.9.5. NIVEL DE DESARROLLO.....	63
2.3.9.6. BIM EN LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN.....	65
2.3.9.7. REUNIONES COLABORATIVAS ICE.....	66
2.3.10. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN EN EL PERÚ.....	66
2.3.11. BIM Y LEAN CONSTRUCTION COMO SISTEMA PARA LA MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD.....	68
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	70
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	70
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	70
3.2.1. NIVEL DE INCIDENCIA DE PRESUPUESTO DE LAS ACTIVIDADES.....	71
3.3. TÉCNICAS Y HERRAMIENTAS.....	72
3.4. SECUENCIA METODOLÓGICA.....	73
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	74
3.6. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO.....	74
3.6.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA EJECUTADORA DEL PROYECTO.....	74
3.6.2. GENERALIDADES.....	76

3.6.3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIOS.....	76
3.6.4. ORGANIGRAMA DE LA OBRA.....	78
3.6.5. RESUMEN DE PRESUPUESTO	79
CAPÍTULO IV: SISTEMA TRADICIONAL.....	81
4.1. PLANIFICACIÓN (PROGRAMACIÓN GANTT)	81
4.2. EJECUCIÓN (RESTRICCIONES)	82
4.3. CONTROL (AVANCE SEMANAL).....	89
4.4. RETROALIMENTACIÓN (CIRCUITO FIEL).....	94
4.1.4. CIRCUITO FIEL O DIMENSIONAMIENTO DE CUADRILLA	94
CAPÍTULO V: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN	
BIM-LEAN.....	101
5.1. RESUMEN	101
5.2. PLANIFICACIÓN	101
5.2.1. PROGRAMACIÓN MAESTRA (PROGRAMACIÓN GANTT).....	103
5.2.2. GENERACIÓN DEL MODELO BIM.....	104
5.2.2.1. CONFIGURACIÓN EN REVIT	105
5.2.2.2. MODELAMIENTO PARAMÉTRICO	107
5.2.2.3. SECTORIZACIÓN A PARTIR DEL MODELO BIM	114
5.3. EJECUCIÓN.....	121
5.3.1. PROGRAMACIÓN INTERMEDIA: LOOK AHEAD.....	121
5.3.2. PROGRAMACIÓN SEMANAL: PLAN SEMANAL.....	123
5.3.3. RESTRICCIONES DE OBRA	127
5.4. CONTROL.....	133

5.4.1. AVANCE SEMANAL.....	133
5.4.2. AVANCE SEMANAL BIM	133
5.4.2.1. AVANCE SEMANAL BIM- COLOCACIÓN DE ACERO	133
5.4.2.2. AVANCE SEMANAL BIM- ENCOFRADO.....	135
5.4.2.3. AVANCE SEMANAL BIM- COLOCACIÓN DE CONCRETO.....	135
5.1. RETROALIMENTACIÓN.....	142
5.1.1. PORCENTAJE DE ACTIVIDADES COMPLETADAS (PAC).....	142
5.1.2. TRAZABILIDAD SEMANAL DEL PORCENTAJE DE ASIGNACIONES COMPLETADAS (PAC).....	143
5.1.3. CIRCUITO FIEL.....	146
CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	153
6.1. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLAN VS LOOK AHEAD VS AVANCE REAL.....	153
6.2. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD SEMANAL MEDIANTE LA COMPARACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLAN VS AVANCE REAL.....	162
6.3. TRAZABILIDAD SEMANAL DEL PORCENTAJE DE ASIGNACIONES COMPLETADAS	166
6.4. CAUSAS DE INCUMPLIMIENTO – RESTRICCIONES DE OBRA	167
6.5. ANÁLISIS DE TRANSICIÓN DEL SISTEMA TRADICIONAL AL SISTEMA DE GESTIÓN BIM – LEAN.....	171
6.6. SISTEMA TRADICIONAL VS SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN....	174
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	176

CONCLUSIONES	176
RECOMENDACIONES	178
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	180
ANEXOS	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Resultados entregados por las encuestas de detención	6
Figura 2. Curva de productividad (Rendimiento Vs Tiempo)	7
Figura 3. Evolución mensual de la actividad del sector de la construcción (PBI de Construcción): 2015-2018. Variación porcentual.....	13
Figura 4. Relación entre eficiencia, efectividad y productividad.....	17
Figura 5. Productividad según los tipos de recursos en obra	18
Figura 6. Ciclo de mejoramiento de la productividad.....	22
Figura 7. Mejora de la Productividad según tipos de recursos	23
Figura 8. Modelo de flujo continuo de procesos.....	27
Figura 9. Tiempos del ciclo de un proceso	30
Figura 10. Proceso de mejoramiento continuo en cualquier proceso productivo.	32
Figura 11. Diagrama de flujo de sectorización de edificaciones	36
Figura 12. Sectorización de elementos verticales	37
Figura 13. Tren de actividades de un proyecto de edificaciones	38
Figura 14. Ejemplo de dimensionamiento de cuadrilla de concreto premezclado.....	41
Figura 15. Metodología de planificación tradicional y LPS	43
Figura 16. Procedimiento de planificación y programación	43
Figura 17. Niveles de planificación en el Sistema Last Planner	44
Figura 18. Niveles de planificación según el Sistema Last Planner.....	46
Figura 19. Actividad libre de restricciones que entra a la lista ITE.....	49
Figura 20. Gráfico de Porcentaje de actividades cumplidas	52
Figura 21. Proceso histórico del BIM	57
Figura 22. Ciclo de vida de un proyecto de construcción (edificaciones)	60
Figura 23. Dimensiones BIM.....	63
Figura 24. Dimensiones de BIM y sus elementos asociados a la gestión	63
Figura 25. Diagrama de Pareto del presupuesto resumen del proyecto	72
Figura 26. Organigrama de Inmobiliaria Casta.....	79

Figura 27. Programación maestra del proyecto Residencial Los Nogales II	77
Figura 28. Avance diario BIM de encofrado en placas y columnas 1er piso.....	92
Figura 29. Avance diario BIM de encofrado de muros de cerramiento – 1er piso ..	92
Figura 30. Leyenda de avance diario de encofrado en elementos verticales	93
Figura 31. Avance diario BIM de losa maciza y vigas – 1er piso	93
Figura 32. Leyenda de avance diario de encofrado en elementos horizontales	94
Figura 33. Gráfica de rendimientos de encofrados de muros de cerramiento.....	98
Figura 34. Gráfica de rendimientos de colocación de concreto en muros de.....	99
Figura 35. Gráfica de rendimientos de colocación de acero en muros de cerramiento...	100
Figura 36. Programación Gantt del Proyecto Residencial Los Nogales II.....	104
Figura 37. Modelo BIM del Proyecto Residencial Los Nogales II.....	105
Figura 38. Interfaz de Revit	106
Figura 39. Procedimientos para el modelamiento BIM del Proyecto Residencial Los Nogales II.....	107
Figura 40. Planos de cimentación del Proyecto Residencial Los Nogales II.....	108
Figura 41. Plano de planta de 1er piso arquitectura del Proyecto Residencial Los Nogales II.....	108
Figura 42. Plano de cortes del Proyecto Residencia Los Nogales II	109
Figura 43. Generación de niveles en Revit del Proyecto Residencial Los Nogales II....	110
Figura 44. Generación de grillas en Revit.....	110
Figura 45. Generación de elementos- vigas en Revit.....	112
Figura 46. Generación de elementos en Revit	113
Figura 47. Modelamiento del Proyecto Residencial Los Nogales II.....	114
Figura 48. Sectorización de contratista de encofrado	117
Figura 50. Sectorización BIM de muros de cerramiento	118
Figura 49. Sectorización de placas y columnas en Revit	118
Figura 51. Sectorización BIM de elementos verticales.....	120
Figura 52. Sectorización BIM de segundo piso del proyecto	120

Figura 53. Avance diario BIM de colocación de acero en elementos verticales - tercer piso.....	137
Figura 54. Avance diario BIM de colocación de acero en elementos horizontales	138
Figura 55. Leyenda de los avances diarios BIM de colocación de acero.....	138
Figura 56. Avance diario BIM de encofrados en elementos verticales.....	139
Figura 57. Avance diario BIM de encofrados en elementos verticales.....	140
Figura 58. Leyenda de los avances diarios BIM de encofrados.....	140
Figura 59. Avance diario BIM de colocación de concreto en elementos verticales	141
Figura 60. Leyenda de los avances diarios BIM de colocación de concretos	142
Figura 61. Responsables de las causas de no cumplimiento – Semana 06	145
Figura 62. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – encofrado de muros de.....	149
Figura 63. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – encofrado de muros de cerramiento C2.....	150
Figura 64. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – concreto	151
Figura 65. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – acero.....	152
Figura 66. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Acero (Sem 01).....	159
Figura 67. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Acero (Sem 07).....	159
Figura 68. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Encofrado (Sem 01).....	160
Figura 69. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Encofrado (Sem 07).....	160
Figura 70. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Concreto (Sem 01).....	161
Figura 71. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Concreto (Sem 07).....	161
Figura 72. Programación general vs avance real de acero	165
Figura 73. Programación general vs avance real de encofrados	165
Figura 74. Programación general vs avance real de colocación de concreto	166
Figura 75. Gráfico de Pareto, incidencia de responsabilidad por área	171

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencia entre la producción industrial y la construcción.....	15
Cuadro 2. Clasificación de pérdidas	34
Cuadro 3. Resumen de diferencias entre un proyecto tradicional y un proyecto LEAN ..	52
Cuadro 4. Plan de control y seguimiento del sistema tradicional	73
Cuadro 5. Plan de productividad del Sistema de Gestión BIM/LEAN.....	73
Cuadro 6. Matriz de Operacionalización de variables para proyecto de tesis.....	75
Cuadro 7. Plan de control y seguimiento del sistema tradicional	81
Cuadro 8. Desperdicios de obra del 1er nivel de lo Nogales II.....	83
Cuadro 9. Restricciones de obra del 1er nivel de lo Nogales II.....	77
Cuadro 10. Tren de actividades proyectadas de la construcción del 1er nivel de los Nogales II	81
Cuadro 11. Plan de productividad del sistema de gestión BIM-LEAN	102
Cuadro 12. Duraciones según lo programado y lo ejecutado.....	103
Cuadro 13. Duraciones según lo programado y lo ejecutado -3er piso.....	116
Cuadro 14. Tipo de restricción de obra.....	129
Cuadro 15. Nombre de personas responsables en áreas del proyecto.....	129
Cuadro 16. Restricciones de obra – Semana 06.....	83
Cuadro 17. Restricciones de obra – Semana 01-08.....	170
Cuadro 18. Causas de no cumplimiento- responsables.....	171
Cuadro 19. Análisis de tiempos: Plan maestro vs Lookahead vs Real	173
Cuadro 20. Análisis de costos de mano de obra sistema tradicional vs Sistema de Gestión BIM-LEAN.....	174
Cuadro 21. Sistema tradicional vs Sistema de gestión BIM-LEAN	174

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto resumen del Proyecto Residencial los Nogales II.....	72
Tabla 2. Presupuesto nivel casco gris del Proyecto Residencial Los Nogales II.....	80
Tabla 3. Circuito fiel de encofrados de muros de cerramiento	98
Tabla 4. Circuito fiel de colocación de concreto en muros de cerramiento	99
Tabla 5. Circuito fiel de colocación de acero de muros de cerramiento	100
Tabla 6. Metrado de encofrado de columnas por sectores y contratistas	117
Tabla 7. Metrado de encofrado de muros por sectores y contratistas	118
Tabla 8. Metrado de encofrado de losa y vigas por sectores y contratistas	120
Tabla 9. Programación Look Ahead – Semana 06.....	83
Tabla 10 . Programación Plan semanal – Semana 06	83
Tabla 11. Avance semanal – Semana 06.....	149
Tabla 12. Porcentaje de actividades completadas – Semana 06	144
Tabla 13. Porcentajes de asignaciones completadas – Semana 06	146
Tabla 14. Circuito fiel – Encofrado de muros de cerramiento C1	149
Tabla 15. Circuito fiel – Encofrado de muros de cerramiento C2	150
Tabla 16. Circuito fiel – Colocación de concreto en muros de cerramiento.....	151
Tabla 17. Circuito fiel – Colocación de acero en muros de cerramiento	152
Tabla 18. Seguimiento y control semanal – Semana 01	157
Tabla 19. Seguimiento y control semanal – Semana 07	158
Tabla 20. Seguimiento y control semanal – programación maestra vs real.....	164
Tabla 21. Porcentajes de asignaciones completadas – Semana 01-08	169

ANEXOS

ANEXO 01 – Cronograma de obra

ANEXO 02 – Circuito fiel – 1er piso

ANEXO 03 – Look Ahead y plan semanal

ANEXO 04 – Gráficas de programación Gantt vs Avance real vs Look Ahead

ANEXO 05– Gráficas de programación Gantt vs Avance real

ANEXO 06 – Circuito Fiel de 2do y 3er piso

ANEXO 07– Panel de fotos

ANEXO 08 – Planos de obra

RESUMEN

El presente trabajo de Tesis a desarrollarse consiste en la comparación de dos formas de gestionar la productividad en obras de edificación (aplicada en la construcción de un edificio multifamiliar en la ciudad de Tacna); el sistema tradicional y un sistema fusionado con dos metodologías modernas para la gestión de la construcción, BIM (Building Information Modeling) y la filosofía Lean Construction. El Sistema de Gestión BIM-LEAN consiste en el desarrollo de un plan de productividad, en las siguientes etapas; planificación, ejecución, control y retroalimentación. En cada etapa se desarrolló las metodologías y/o técnicas como; modelo BIM, sectorización BIM, tren de actividades, Lookahead, plan semanal, PAC, restricciones, plan general, dimensionamiento de cuadrilla, control de avances BIM, entre otros, cuya aplicación facilitó información documentada y estas al ser procesadas, se obtuvo resultados favorables para la mejora de la productividad. De este modo se evitó y disminuyó sobrecostos, retrasos y deficiencia en la calidad del producto final.

INTRODUCCIÓN

La construcción es una de las industrias más difíciles de controlar, ya que cada proyecto es único e irrepetible, y están acondicionados a factores propios del terreno, clima, mercado, etc. Es por ello que la automatización y el control ha sido un gran reto por muchos años.

Uno de los principales problemas en la ejecución de los proyectos de edificación es la baja productividad, mencionaremos algunos de estos factores; errores en los diseños y falta de especificaciones, modificaciones a los diseños durante la ejecución, ausencia de control, composición inadecuada de cuadrillas de trabajo, actitud del trabajador, pobres condiciones de seguridad, mala distribución de materiales, falta de suministro de materiales, herramientas y equipos, clima, sobreproducción, esperas, entre otros. Lo cual inevitablemente causa sobretiempos, sobrecostos, deficiente calidad del producto final y baja rentabilidad. Estos problemas de baja productividad han sido controlados, superados, mediante la inclusión de modernos sistemas de gestión de la productividad en los proyectos como; VDC (Diseño y construcción virtual), BIM (Modelo de información para edificaciones), técnicas y herramientas de control de productividad basados en la filosofía Lean Construction (Construcción sin pérdidas).

En el año 1992 Lauri Koskela adopta por primera vez la filosofía de Lean Production en la construcción (filosofía de la producción sin pérdidas creada en el proceso manufacturero de Toyota) y durante años se ha ido realizando investigaciones, estudios con datos reales en campo, incluyendo técnicas y modelos de producción basados en los principios de Lean (Sectorización, Tren de actividades, Pull planning, Buffers, Cartas balance, Lookahead, Nivel de actividad, etc.) y mejorando su aplicación en la construcción. Además con la incorporación de las tecnologías de la información y comunicación; como la metodología BIM

(Building Information Modeling) que ha ido cobrando mucha importancia en la construcción, ya que se trata de un modelo multidimensional y dinámico (BIM 2D planos, 3D modelo paramétrico, 4D tiempo, 5D costes, 6D sostenibilidad, 7D ciclo de vida) que aporta información en tiempo real (información de alta calidad, confiable, integrada y coordinada), que permite la gestión integral de proyectos de edificación en todas sus fases y ciclo de vida, y permite interactuar de forma colaborativa a todos los agentes que intervienen en los proyectos. Si bien estas han sido creadas de manera independiente su complementación e innovación en conjunto hace que la gestión de la productividad sea más aprovechable, permitiendo mayor control sobre los procesos, disminuyendo la variabilidad y por ende aumentando la productividad.

A nivel local la información de estos sistemas es conocida de manera parcial, a pesar de la globalización de información; en las universidades estos temas no son abordados de manera completa, los profesionales del área de la construcción para la capacitación de estos temas lo hacen de manera individual, y al adquirir estos conocimientos buscan oportunidad en empresas que trabajan con este tipo de gestión, las empresas constructoras locales en su mayoría trabajan con métodos tradicionales, algunas de manera empírica, haciéndolas incompetentes frente a otras que tienen mayor control sobre su productividad. Al implementar este tipo de sistemas en constructoras locales, en los proyectos de construcción, estas serán competentes en el mercado nacional.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. Identificación del problema

Existe un desconocimiento y falta de implementación de sistemas modernos de gestión para la mejora de la productividad en proyectos de edificación, por lo que es habitual que los proyectos de edificación presenten desperdicios, sobretiempos, deficiente calidad y baja rentabilidad.

1.2. Hipótesis

- El conocimiento sobre del Sistema de Gestión BIM-LEAN, generará una forma distinta de ver la gestión de la productividad en proyectos de edificación.
- El conocimiento de los conceptos y aplicación de las herramientas de la metodología BIM y la filosofía Lean Construction, serán útil para un mayor manejo de información sobre los sistemas modernos y mejor comprensión sobre la aplicación del sistema.
- La sinergia de la Filosofía Lean Construction y herramientas con la metodología BIM, creará un sistema muy beneficioso para la gestión de la productividad.
- La implementación del Sistema de gestión BIM-LEAN, evidenciará una mejora en la productividad y la relación de tiempo/costo en los proyectos de edificación.
- La comparación del sistema tradicional y el Sistema de Gestión BIM-LEAN, notará los beneficios y ventajas del sistema propuesto.

1.3. Justificación de la investigación

El Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), informó que el sector de la construcción registró un crecimiento de 10,55% en abril del 2018, reflejado en el consumo interno del cemento (8,17%), explicó que este resultado positivo se debe

a la continuidad de obras de construcción en unidades mineras, edificios de oficinas, centros comerciales, construcción de condominios y edificios de vivienda multifamiliar. Este crecimiento notable conlleva a que los clientes exijan a las empresas del sector; construcciones con menor inversión, que se realicen en el menor tiempo posible y que cumplan con la calidad exigida. Por ello es importante que las empresas locales adopten nuevos paradigmas de la gestión de la productividad como es el BIM y Lean Construction, permitiendo así mejorar la productividad en los proyectos de edificación, teniendo de esta manera mayor control sobre los recursos, tiempos y calidad en cada proceso de producción, con esta mejora se genera mayor rentabilidad para las empresas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Dar a conocer un sistema moderno de gestión de la productividad en proyectos de edificación.

1.4.2. Objetivos específicos

- Impartir el conocimiento de los conceptos y aplicaciones de la metodología BIM, Filosofía Lean Construction, herramientas y técnicas basadas en estos sistemas desde el punto de vista de la productividad.
- Proponer un sistema de gestión de la productividad basado en la Filosofía Lean Construction y la metodología BIM; “Sistema de gestión BIM-LEAN”.
- Mejorar la productividad con la implementación del “Sistema de gestión BIM-LEAN” en un proyecto de edificación existente en la ciudad de Tacna.
- Realizar una comparación en relación a la gestión de la productividad entre el sistema tradicional y el sistema de gestión propuesto.

1.5. Alcances y limitaciones del estudio

La información desarrollada en el presente trabajo de investigación está dirigida a inversionistas de proyectos inmobiliarios, ingenieros y arquitectos especializados en el área de construcción de edificaciones, jefes de campo, maestros de obra, subcontratistas, estudiantes de la carrera profesional de ingeniería civil y arquitectura, entre otros actores que intervienen en los proyectos de edificación.

La aplicación del Sistema de Gestión BIM-LEAN se limita a grandes y medianos proyectos de edificación, ya que la inversión en su implementación es compensada con la ganancia obtenida con la mejora de la productividad, su implementación requiere especialistas y/o personal capacitado (conocimiento en el manejo de técnicas y metodologías de control de productividad, software de modelación BIM, personal con conocimiento de la filosofía Lean Construction). Por ejemplo, para la construcción de una vivienda unifamiliar es conveniente usar los métodos tradicionales, puesto que el gasto en la implementación no será cubierto en su totalidad.

Un proyecto de edificación, compone de varias fases, el Sistema de Gestión BIM-LEAN, es aplicable en la fase de la planeamiento, ejecución, control y retroalimentación, ya que este sistema se basa en la mejora de productividad en los procesos constructivos.

La empresa constructora y la oficina técnica de la obra en la cual se va a desarrollar la aplicación del presente trabajo, usa métodos tradicionales en la ejecución y gestión del proyecto. Por lo que la implementación del Sistema de Gestión BIM-LEAN es totalmente nueva. El cambio de paradigmas será un proceso de transición, para lo cual se harán reuniones semanales tanto para exponer resultados, realizar el plan semanal y capacitar a los principales agentes del proyecto de edificación.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

- Sistema de gestión BIM-LEAN.

1.6.2. Variable dependiente

- Mejora de la productividad.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

La productividad en la construcción por muchos años ha sido manejada de manera tradicional con metodologías poco colaborativas y confiables. Y en otros casos ha sido manejada de manera empírica, es decir que ha sido responsabilidad de los maestros de obra, siendo estas manejadas sin ningún criterio, decididas al momento, y no llevando un control sobre ellas. Tal preocupación ha sido tomada por muchos investigadores. A nivel internacional países como España, Estados Unidos, Chile, México, Japón, Brasil y entre otros, durante los últimos años han innovando la gestión de la construcción con sistemas modernos aprovechando el desarrollo tecnológico, han convertido a la construcción en una industria automatizada, para tal nivel han mejorado su gestión en general con metodologías modernas, filosofías (BIM, VDC, LEAN CONSTRUCTION, LAST PLANNER, CYCLONE), manejo de información automática (Teléfonos inteligentes, nube de información en la red, realidad virtual, drones), maquinarias sofisticadas, nuevos materiales de construcción, mejoramiento de los procesos constructivos, impresión 3D, entre otros. A nivel Sudamérica, países como Brasil y Chile, han trabajado en investigaciones sobre productividad en la construcción incluyendo estos sistemas modernos, y han demostrado lo ventajoso de su uso en la gestión, en cuanto a costos, tiempo, calidad y sostenibilidad. En el Perú se han ido implementado estos sistemas recientemente por iniciativa de empresas privadas como GYM, COINSA, COPRACSA, EDIFICA, MARCAN, MOTIVA y la Pontificia Universidad Católica del Perú, fundaron el Capítulo Peruano del Lean Construction Institute en el 2011. Si bien es cierto las empresas más grandes han incluido estos sistemas en sus proyectos, y además la innovación de estos sistemas han sido centralizadas en principales ciudades como Lima, Arequipa y Trujillo, dejando a las otras ciudades

que sus empresas constructoras sean menos competitivas frente a los nuevos retos del mercado de la construcción de edificaciones.

A continuación, se muestran algunos estudios realizados acerca de la productividad:

Según un estudio publicado en la Revista de Ingeniería de Construcción (1989) por Alarcón, Martínez y Santana, ingenieros investigadores del Departamento de Ingeniería y Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Chile. En el “Programa de Mejoramiento de la Productividad”, un programa basado en el mejoramiento de los sistemas de información y retroalimentación, mejoramiento de los sistemas de suministro de recursos y mejoramiento en los métodos de construcción. Para lo cual se diseñó una serie de actividades y procedimientos; como el Sistema de Control de la Productividad, dentro del cual se desarrolló el Muestreo del trabajo (MDT), técnica que permite obtener un dato estadísticamente confiable del porcentaje de trabajo productivo que existe en la obra, en la Figura 1 se muestra las categorías de desperdicio más comunes y su porcentaje del total de pérdidas.

CATEGORIA	TOTAL DE H-II PERDIDAS	% DEL TOTAL DE H-II PERDIDAS
Esperando por materiales (interno)	8.0	12.97
Esperando por materiales (externo)	0.0	0.00
Esperando por herramientas no disponibles	1.0	1.62
Esperando por equipos	0.0	0.00
Modificaciones/Rehacer trabajo	9.5	15.40
Traslado a otras áreas de trabajo	0.6	1.04
Esperando instrucciones	1.3	2.11
Esperando por grúa	1.3	2.14
Mucha gente en la zona de trabajo	0.0	0.00
Otras causas	40.0	64.83

Figura 1. Resultados entregados por las encuestas de detención

Fuente: Alarcón, L; Martínez, L. (1988). “Programas de mejoramiento de la productividad para obras de construcción”

Buleje (2012), con la siguiente Tesis de pregrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú-Lima; *“Productividad en la Construcción de un Condominio Aplicando Conceptos de la Filosofía Lean Construction”*. Cuyo objetivo principal fue mostrar cómo se maneja la producción en la construcción de un condominio aplicando conceptos de Lean Construction. La metodología usada en el trabajo mencionado consiste en el estudio de la productividad, se tomó mediciones reales del rendimiento en todas las actividades mediante formatos de Informe Semanal de Producción (ISP). En la Figura 2 se muestra la curva de la productividad (Rendimiento Vs Tiempo), el cual resume la tendencia que ha tenido la curva de aprendizaje de las actividades estudiadas. Concluyendo que cuando al iniciarse las actividades el rendimiento presupuestado está por debajo del rendimiento real, generándose elevación de costos y sobretiempos, ello se debe a que la cuadrilla recién se acondiciona al ritmo de trabajo, falta de planeamiento diario y a la variabilidad en una obra.

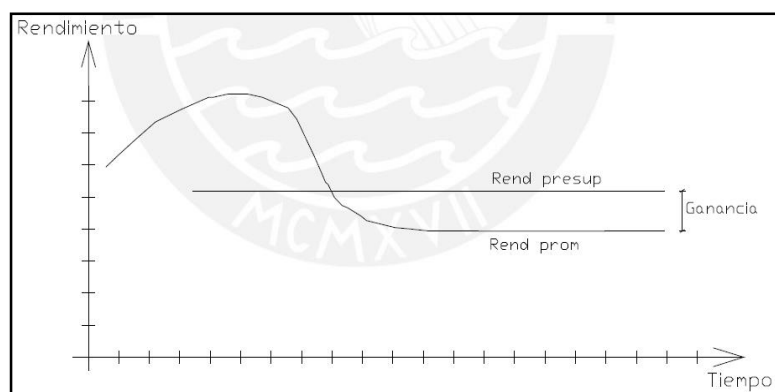


Figura 2. Curva de productividad (Rendimiento Vs Tiempo)
 Fuente: Buleje (2012), Tesis *“Productividad en la Construcción de un Condominio Aplicando Conceptos de la Filosofía Lean Construction”*

Paxi (2015), realizó la siguiente Tesis de pregrado de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna *“Propuesta Metodológica para la Mejora de la*

Planificación, Programación y Control de Obras de Construcción Aplicando la Interacción de las Herramientas de Lean Construction y Building Information Modeling (BIM)”, la Tesis promueve la mayor interacción de las herramientas de Lean Construction y BIM, para su coordinación y comunicación entre los actores del proyecto, también buscó identificar las pérdidas por deficiencias de planificación y control. La metodología usada se basó en la utilización de herramientas e instrumentos como: Sectorización, Tren de Actividades, Last Planner, BIM, Porcentaje de Plan Cumplido y Medición de Índices de Productividad. Proponiendo una metodología de aplicación de herramientas Lean y BIM, disminuyendo la variabilidad y mejorando la confiabilidad.

2.2. Definiciones básicas

- 2.2.1. Calidad:** Son propiedades y características de un producto que satisface las exigencias del cliente o usuario final. En proyectos de edificación se busca cumplir con los requerimientos definidos por el cliente, un costo y además debe brindar seguridad y funcionalidad.
- 2.2.2. Constructabilidad:** Es una técnica que consiste en la incorporación de personal con experiencia y capacidad en la construcción. Optimizando la fase de ejecución, al prever en la fase de diseño o procurar los problemas que pueda presentarse en obra y así tomar medidas preventivas que permitan solucionar o reducir las interferencias e incompatibilizaciones de manera anticipada y ágil.
- 2.2.3. Eficacia:** Capacidad de alcanzar el objetivo que se espera o desea tras la realización de una acción.

- 2.2.4. Eficiencia:** Uso racional de los medios para alcanzar un objetivo determinado, cumplir un objetivo con el mínimo de recursos disponibles y tiempo, sin perjudicar la calidad del producto.
- 2.2.5. Flujo de trabajo:** Es el conjunto de procesos en movimiento a través de una red de unidades de producción.
- 2.2.6. Gestión:** La gestión puede definirse como el proceso que emprende una o más personas con el objetivo de coordinar las actividades laborales de otro grupo de individuos. Otra forma de definir este término es como la capacidad con que cuenta una organización para definir sus propósitos y posteriormente alcanzarlos utilizando los recursos disponibles de manera eficiente.
- 2.2.7. Metrado:** Es la cuantificación de una actividad específica en su unidad correspondiente.
- 2.2.8. Oficiales:** Son los trabajadores que ayudan a desempeñar las actividades que los operarios.
- 2.2.9. Operarios:** Son trabajadores calificados en una especialidad: Albañiles, carpinteros, fierros, electricistas, gasfiteros, plomeros, en este grupo también se consideran los mezcladores, wincheros, entre otros.
- 2.2.10. Peones:** Trabajadores no calificados que realizan diversas tareas que no requieren mucha experiencia.
- 2.2.11. Pérdidas:** Es toda actividad innecesaria que tiene un costo, pero no agregan valor al producto terminado.
- 2.2.12. Proceso:** Es una secuencia o grupo de actividades que añaden valor a un producto o servicio destinado a un cliente o usuario.

- 2.2.13. Programación:** Tiempos y secuencias de tareas o actividades dentro de un proyecto, una programación se compone de tareas, duraciones, delimitaciones y vinculaciones.
- 2.2.14. Producción:** Proceso de transformación y obtención de un producto final.
- 2.2.15. Productividad:** Relación entre la producción y los recursos empleados. Es la capacidad de generar valor al producto final, con el uso eficiente de recursos.
- 2.2.16. Recursos:** Insumos necesarios para realizar el proceso de transformación como; materiales, mano de obra, equipos y herramientas.
- 2.2.17. Rendimiento:** Cantidad producida por unidad de tiempo (Inversa a la productividad).
- 2.2.18. Restricciones:** Es una reducción o limitación para lograr un objetivo.
- 2.2.19. Sistema:** la palabra sistema proviene del latín “*systema*” que significa unión de cosas de manera organizada, podemos definirla como un conjunto de elementos relacionados entre sí, funciona como un todo.
- 2.2.20. Trabajo contributivo:** Acción que sirve de soporte a los trabajos productivos, acciones aparentemente necesarias, pero no aportan valor alguno, se consideran pérdidas de segunda categoría.
- 2.2.21. Trabajo no contributivo:** Acción que no agregan valor al producto, acciones innecesarias y generan un costo, son considerados pérdidas en la producción.

2.2.22. Trabajo productivo: Trabajo que agrega valor al producto y aporta de manera directa a la producción.

2.2.23. Valor: Se define como el grado de satisfacción del cliente final, buscando que todos sus requerimientos sean cumplidos sin inconvenientes. El valor debe ser medido por un proceso de medición post venta o post construcción.

2.2.24. Variabilidad: Variabilidad viene del vocablo latino “*variabilis*” que se refiere a lo que varía, cambia o se modifica. La variabilidad en la industria de la construcción es muy común a comparación de otras industrias, ello se debe a que cada proyecto es único, por lo cual la complejidad y la incertidumbre ocasionan su variabilidad.

2.3. Marco conceptual:

2.3.1. Industria de la construcción

La industria de la construcción es considerada como una de las más dinámicas en el desarrollo económico del país por las principales razones: Involucra a otras industrias relacionadas, ya que para la obtención del producto final (edificaciones, puentes, carreteras, presas, aeropuertos, etc.) se utilizan recursos procesados en otras industrias como el cemento, ladrillo, concreto, acero, cerámicos, entre otros, y además hace uso de equipos y herramientas.

Fuente importante de trabajo debido al uso intensivo de mano de obra calificada y no calificada, de profesionales y técnicos especializados. Se satisfacen las necesidades de infraestructura para otros sectores de la economía y la población en general, además involucra otras actividades de manera indirecta (transporte, servicios de salud, alimentación, etc). Por ello la importancia de esta industria en el desarrollo social-económico de los países.

La industria de la construcción en general ha afrontado por muchos años los siguientes problemas; bajos niveles de productividad, elevados costos por presupuestos mal elaborados, deficiencias de la calidad, incumplimientos de tiempos de entrega, informalidad en los procesos y sobrecostos. Ello se debe a que no se cuenta con una adecuada gestión de la construcción, es decir un control permanente de los procesos en cuanto calidad y productividad, control de tiempos y costos.

La construcción a diferencia de otras industrias por muchos años se ha mantenido conservadora, resistente a los cambios tecnológicos y nuevas metodologías, ya que se han realizado pocos estudios debido a su complejidad y variabilidad tanto en su diseño y producción. En comparación con la industria manufacturera que es más predecible y manejable. En los últimos años la construcción ha tomado otro panorama se ha incorporado nuevas metodologías, el uso de tecnologías tanto en procesos y equipos es más evidente. Por lo tanto, decimos que la construcción está en progreso de la innovación de diseño, procesos constructivos, equipos, materiales, gestión, entre otros.

2.3.2. Industria de la construcción en el Perú

El Índice Mensual de la Actividad en el Sector de la Construcción (PBI de Construcción), mide la dinámica de sus actividades. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) el sector de la construcción participa con el 5,6% del Índice de Producción Nacional. Asimismo, indicó que el sector de la construcción registró un aumento de 10,55% en abril del 2018, ante el aumento del consumo de cemento en 8,17% y avance físico de obras en 18,76% (como se muestra en la Figura 3). Por lo tanto, se puede confirmar que la variación porcentual (%) respecto al mismo mes del año anterior ha ido en crecida, asegurando un progreso.

El año 2017 se registró datos negativos en el primer trimestre, debido a los problemas políticos-sociales acrecentados en el país como la corrupción implicada con la Constructora Brasileña Odebrecht, su relación con varios políticos, funcionarios públicos, empresarios, compañías constructoras nacionales y las grandes obras desarrolladas por esta constructora brasileña. Dicho problema ha sido un golpe para el desarrollo de la construcción. Además, en el año 2017 nuestro país es sacudido con el Fenómeno del Niño Costero el cual provocó uno de los mayores desastres naturales y fueron afectadas muchas infraestructuras, obras en plena construcción.

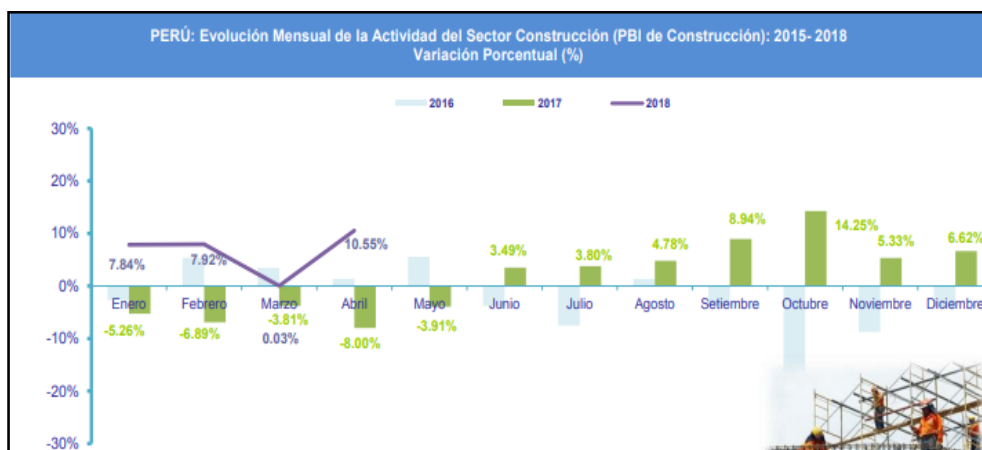


Figura 3. Evolución mensual de la actividad del sector de la construcción (PBI de Construcción): 2015-2018. Variación porcentual

Fuente: MVCS-OGEI-Oficina de Estudios Estadísticos y Económicos (2018) "PBI Construcción"

El año 2018 y los últimos meses del año 2017, han sido de recuperación de estos grandes eventos, por ello muchos especialistas declaran que en los próximos años se espera que el sector de la construcción pueda desarrollarse de manera progresiva al estabilizarse la economía nacional y además políticamente se espera que los funcionarios y las nuevas autoridades en gobiernos locales y regionales emprendan nuevos proyectos y los que han quedado en frene debido a los problemas de corrupción que actualmente vienen siendo tratados de manera positiva y el diseño

de países extranjeros de invertir en nuestro país. De esa manera se espera que la industria de la construcción se impulse, mediante la construcción de nueva infraestructura pública y privada, activación de empresas inmobiliarias y constructoras, debido a la demanda de muchos peruanos en adquirir departamentos o construir sus viviendas, demanda de entidades privadas y públicas de ampliar o remodelar sus instalaciones.

2.3.3. Producción en la Industria Manufacturera y la Industria de la Construcción

La producción en la construcción es un campo más complejo y variable, porque cada producto es único e irreplicable, cada construcción representa un producto final. A comparación de la producción industrial, la construcción presenta mayor incertidumbre en cada proceso y en conjunto como el flujo, ya que esta propensa a muchos condicionantes en su contra.

Según Serpell A. en su libro Administración de Operaciones de Construcción (p.21,22), presenta un cuadro comparativo de la producción industrial y la construcción. En el Cuadro 1, recopilamos las más importantes y actualizamos algunos puntos.

2.3.4. La productividad en la industria de la construcción

“La construcción es básicamente un proceso productivo y como tal debe ser administrado correctamente. Esto significa planificar, organizar, dirigir, coordinar controlar todas las actividades del sistema productivo (obra), a través de un proceso con una alta productividad.” (Serpell, 1986, p.54). Como menciona Serpell, la construcción debe de ser gestionada ya que esta presenta gran incertidumbre en los procesos (clima, condiciones físicas del terreno, rendimientos, entorno administrativo, legal contractual y logístico), para la obtención de un producto de

calidad, que cumpla con los requerimientos del cliente, además de cumplir con el plazo de ejecución y minimizar o mantener costos según los presupuestos, a través de la productividad.

Cuadro 1. Diferencia entre la producción industrial y la construcción

Fuente: Serpell A. (2002). Administración de Operaciones de Construcción

Característica	Producción industrial	Construcción
Productividad	Alta	Media/baja
Organización	Lineal/funcional/jerárquica y estable.	Matricial/proyecto integración lateral, flexible e inestable con el tiempo.
Series de producto	Producción en masa, crítica, basada en estudios de mercado, compradores anónimos.	Un solo producto, construido de acuerdo a las exigencias del cliente.
Producto	Pequeño, transportable, barato e inventariable.	Grande, inamovible y oneroso.
Diseño del producto	Integrado con la producción.	Diseño no integrado con la producción.
Ciclo de producción	Corto	Largo
Centros de costos	Intensivos en capital y tecnología.	Intensivos en mano de obra, materiales, activos fijos mínimos.
Dinámica del mercado	Competencia por el cliente	Competencia en presentación a licitaciones públicas o privadas.
Riesgo	Moderado, se puede repartir entre varios productos, mercados alternativos.	Alto, utilidades marginales, rotación de empresas, poca elasticidad cuando disminuye la demanda.
Control	Programas y presupuestos confiables, excelente control de calidad.	Incumplimiento de programas y presupuestos, deficiencia en el control de calidad.
Mano de obra	Permanente, estaciones de trabajo fijas y estables.	Itinerante, alta movilidad en la obra, estacionario.
Seguridad	Entorno relativamente protegido.	Trabajo de mediano y alto riesgo.
Entorno	Cerrado, climatizado, se puede acumular inventario	Susceptible a variaciones del clima, atraso en entrega de materiales.

	sin riesgo a ser dañados por factores externos.	
Ubicación	Urbana en su mayoría, Con acceso a mano de obra, materiales y equipos.	Urbana/rural, puede ser inaccesible y lejana, o limitado a espacios y horarios en zonas urbanas.
Tecnología futura	Inclusión de nuevas filosofías de productividad y automatización.	Aplicación de tecnologías informáticas, realidad virtual, gestión, automatización, nuevos sistemas de construcción y prefabricación.
Investigación	Permanente	En progreso
Calidad de administración	Científica, decisiones basadas en estadísticas y/o procedimientos.	Generalmente ad-hoc, decisiones basadas en el contexto, juicios personales y experiencia.
Calidad de productos	Buena a excelente	Deficiente a razonable en general
Economía, reducción de costos	Economías de escala y curva de aprendizaje.	Modularización, prefabricación, industrialización y estandarización.
Grado de innovación	Buena a excelente	En progreso
Ciclos económicos	Influencia moderada	Característica muy importante que resulta en desempleo, equipo parado, baja productividad y quiebra de empresas.

Según Mora (2012, p.6) define productividad como; “La relación existente entre la producción obtenida y los recursos empleados para llegar a obtenerla. Es decir, productividad es el uso de manera eficiente de los diferentes recursos disponibles para llevar a cabo una actividad”. Podemos hablar de productividad de los materiales, de los equipos, del terreno o espacio y de la mano de obra. En la construcción siendo todas importantes, no cabe duda que la más impredecible es la última y la que tiene mayor incidencia en el presupuesto de la obra, calidad y en los procesos para la obtención del producto final.

La Figura 4 muestra un cuadrante de la productividad donde se relaciona la efectividad como el logro de las metas y la eficiencia como la optimización en el uso de recursos, el cuadrante de mayor productividad será donde el trabajo o actividad sea eficiente y efectivo. Por ejemplo, en el encofrado de muros se puede ser efectivo encofrar más de la cantidad programada, pero si no se tiene un control de calidad y mano de obra, se puede ser ineficiente ya que no estamos controlando la cantidad de mano de obra y la calidad del proceso, ya que al realizar el vaciado del concreto puede fallar el encofrado y se tendría una pérdida valiosa de material y mano de obra, entonces sería efectivo pero ineficiente.

		Utilización de recursos	
		POBRE	ALTO
Logro de metas	ALTO	EFFECTIVO PERO EFICIENTE	EFFECTIVO Y EFICIENTE Área de alta productividad
	POBRE	INEFICIENTE E INEFECTIVO	EFICIENTE PERO INEFECTIVO

Figura 4. Relación entre eficiencia, efectividad y productividad
Fuente: Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción

2.3.5. Productividad según los tipos de recursos

Para la producción de una actividad se necesitan recursos, siendo las principales: mano de obra, materiales y equipos. La productividad está relacionada con los procesos para la obtención del producto final (obra), por ello en la gestión de la productividad como tal, influye la productividad de estos tres recursos:

La productividad es una cualidad que se le da a un proceso, la cual puede ser calificada cualitativamente como se describió en párrafos anteriores, esta misma

puede ser medido cuantitativamente con la siguiente relación; la cantidad producida y los recursos empleados (como se muestra en la Figura 5), a continuación, describimos los tipos de productividad según los recursos empleados.

Productividad de mano de obra: Es la que mayor incertidumbre presenta, la que muestra más variables y depende de la productividad de los demás recursos. La cual será medido con la siguiente relación cantidad producida entre las horas hombre empleadas.

Productividad de los materiales: Se refiere al empleo de estos de forma racional, evitando desperdicios. La función que se relaciona para la obtención de la productividad es unidad de obra sobre la cantidad de material utilizada. Es decir que para un m³ de concreto cuanto de material se ha utilizado.

Productividad de equipos: Es la de mayor incidencia en costos, se presenta con la siguiente relación muy parecida al de mano de obra; cantidad producida y horas máquina.

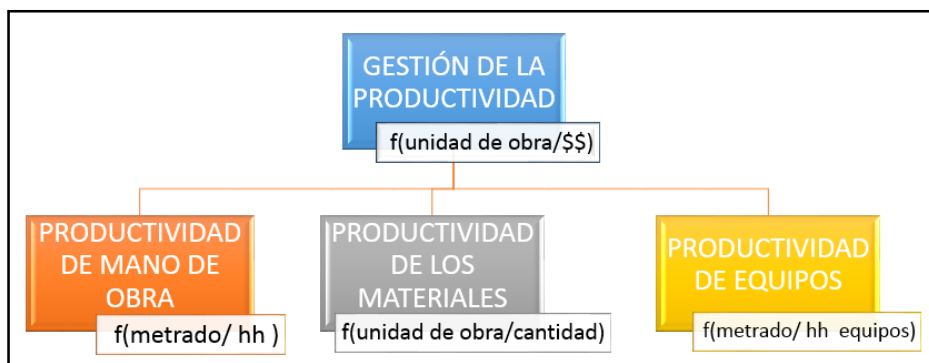


Figura 5. Productividad según los tipos de recursos en obra
Fuente: Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción.

2.3.6. Clasificación de causas de pérdidas de productividad

a) Problemas de diseño

- Errores y omisiones en el expediente técnico del proyecto.
- Modificaciones durante la ejecución de la obra.
- Diseños muy complejos.
- Deficiente estimación de costos.
- La ausencia o deficiente uso de constructabilidad en el diseño.

b) Problemas de planificación y/o control

- Falta de planificación preliminar.
- Falta de planificación a mediano y corto plazo de las actividades en campo.
- Falta de información e implementación de herramientas adecuadas para el control de procesos.
- Planificación de los trabajos realizada por personas que no tienen calificación para ello.

c) Ineficiencia de administración y área técnica

- Falta de una gestión de comunicación estructurada y dinámica.
- Falta de control en almacén, manejo de inventarios (herramientas y materiales).
- Exceso de tiempo en toma de decisiones.
- Supervisión de trabajos ineficiente.
- Grupos de apoyo ineficientes.

d) Procesos de construcción inadecuados

- Procedimientos inapropiados.
- Aglomeración de trabajadores en espacios reducidos.
- Exigencias excesivas de control de calidad o calidad deficiente de procesos de construcción.

- Ausencia o mal uso de tecnologías para el tipo de trabajo.
- Retrabajos.
- Falta de información a los trabajadores sobre el correcto proceso constructivo.
- Esperas.

e) Problemas de recursos

- Deficiente utilización de recursos.
- Composición y tamaño de cuadrilla inadecuado.
- Falta de recursos (materiales), debido a problemas presupuestarios o subestimación de costos reales.
- Control inadecuado de almacén, mal uso en campo (desperdicios).
- Falta de mantenimiento de equipos.
- Falta de capacitación al personal obrero en cuanto al proceso constructivo, lo cual produce lentitud, retrabajos y deficiencia en la calidad.
- Falta de motivación, reconocimiento e incentivos a los trabajadores por una buena labor.
- Mucha rotación de mano de obra.
- Poca utilización de la experiencia del personal.
- Ubicación inapropiada de materiales.
- Falta de equipos y herramientas cuando se requieren.

f) Problemas de seguridad

- Niveles inadecuados de seguridad, lo cual trae consigo mal desempeño debido a la desconfianza y motivación.
- Los accidentes producen pérdidas personales, tiempo, dinero y productividad.

g) Falta de mejoramiento de la productividad

- No se miden la productividad.
- No se realiza un análisis de las causas de la improductividad para su retroalimentación.
- No se realiza la identificación correcta de responsabilidades por el cumplimiento o incumplimiento.
- No se incluyen herramientas para su control y mejoramiento.

h) Problemas externos

- Situación económica del país.
- Temperatura o clima desfavorable.
- Ubicación de la obra.

2.3.7. Mejoramiento de la productividad

Según Serpell en su libro Administración de operaciones de construcción (pág. 47) menciona tres etapas que se deben realizar para la mejora de la productividad (ver Figura 6).

- a) Medicion de la productividad
 - Toma de datos.
 - Análisis y procesamiento de la informacion.
- b) Evaluación de la productividad
 - Diagnostico.
 - Identificación de problemas.
 - Determinación de cursos de acción.
 - Evaluación de alternativas.
- c) Sistemas o planes de mejoramiento
 - Implementación de estrategias y acciones de mejoramiento
 - Seguimiento y control de la implementación y sus resultados.



Figura 6. Ciclo de mejoramiento de la productividad
Fuente: Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción

Pautas para mejorar la productividad

- Aprender de las experiencias pasadas.
- Impulsar capacitaciones al personal obrero y programas de motivación.
- Uso de materiales y equipos innovadores.
- Uso de prefabricados.
- Empleo de técnicas modernas de planificación y control de obra.
- Uso de tecnologías de la información.
- Uso de concreto premezclado.
- Mejoramiento de la constructibilidad.
- Estandarización de procesos.
- Planificación de procesos.
- Programación de actividades en corto plazo y por cuadrilla.
- Estimular al personal obrero; competencias sanas e incentivos.
- Disponibilidad de equipos y materiales.

- Supervisión constante de obra.
- Optimización del sistema productivo.

En la Figura 7 se muestra factores que incitan el mejoramiento de la productividad para cada tipo de recurso como es mano de obra, equipos y materiales.

Productividad en los Materiales	Productividad en Equipos	Productividad en la Mano de Obra
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño • Calidad del material • Almacenamiento • Compra y Logística • Control • Uso inadecuado • Ej: m² muro / # ladrillos 	<ul style="list-style-type: none"> • Selección adecuada del equipo • Tipo • Dimensiones • Contrato • Planificación del Uso del Equipo • Mantenimiento • Destreza del Operador • Ej: m³ excav / HM 	<p>El obrero debe</p> <ul style="list-style-type: none"> • DESEAR (motivación, satisfacción) • SABER (capacitación, entrenamiento) • PODER (administración, logística) • realizar un buen trabajo.

Figura 7. Mejora de la Productividad según tipos de recursos
Fuente: Rodríguez (ICG) (2009). Alternativas para mejorar la productividad en el sector de la construcción

2.3.8. Lean Construction (construcción sin pérdidas)

2.3.8.1. Antecedentes históricos: Lean Construction

Para conocer su antecedente histórico nos remontaremos a través de la historia; durante la Segunda Guerra Mundial, donde el ejército de Estados Unidos desarrolla el programa TWI para capacitar personal nuevo y mejorar la productividad. Luego tenemos como antecedente el desarrollo del Sistema de Producción Toyota, Lean Manufacturing, desarrollada después de la Segunda Guerra Mundial, en Japón. Y en 1990 en Finlandia, el Ingeniero civil Lauri Koskela, adopta por primera vez la Filosofía de Lean Production en la construcción, métodos como; Benchmarking, kaizen, Just Time entre otros, en la programación y control de obras, esta es denominada Lean Construction. Se detallará más específicamente más adelante mediante referencias bibliográficas.

Durante la Segunda Guerra Mundial, el ejército de los Estados Unidos de América empezó a enrolar trabajadores expertos o personal clave de la industria. Para suplirlos, las compañías contrataron jóvenes y mujeres no calificados, situación que no satisfacía las necesidades de la industria bélica. Por esos motivos, el gobierno desarrollo un programa TWI (Training Within Industry o Entrenamiento en la Industria) contratando a expertos con el objetivo de entrenar en el más breve plazo a los nuevos mandos o supervisores para aumentar la productividad (Brioso, 2015, p.25)

El Sistema de Producción Toyota (TPS) es el sistema de producción desarrollado por la Toyota Motors Company para proporcionar mejor calidad, a un menor coste y con plazos de entrega más cortos mediante la eliminación de desperdicio (improductividad o actividades que no añaden valor). El TPS está compuesto por dos pilares: el Just-in-Time (JIT) y el Jidoka; y se sustenta y perfecciona a través de interacciones de trabajo estandarizado y Kaizen o mejora continua, seguido de un plan de acción a través de un PDCA. El desarrollo del TPS se le atribuye a Taiichi Ohno, jefe de producción de Toyota en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial. A partir de operaciones en las máquinas y extendiéndose desde allí, Ohno dirigió el desarrollo del TPS en Toyota a lo largo de las décadas de los 50 y 60, y la difusión hacia la cadena de suministro a lo largo de las décadas de los 60 y 70. El TPS nació a partir de una necesidad: producción de pequeñas cantidades, de muchas variedades y en condiciones de escasa demanda, comparado con el sistema de producción en masa, que en ese momento estaba triunfando en EE. UU. (Pons, 2014, p.15-16).

En 1990 en Finlandia el profesor universitario Lauri Koskela usa de modelo el Lean Production y sistematiza los conceptos del mejoramiento continuo, Just in time, etc. Creando así una nueva filosofía de planificación de proyectos en la construcción, reformulando los conceptos tradicionales de planificación y control de obras. Esto

es propuesto en su Tesis de doctorado “Application of the New Production Philosophy to Construction”, 1992. Estudio que fue realizado durante su permanencia en CIFE (Center for Integrated Facility Engineering). Así es como inicia esta nueva filosofía en la construcción denominada Lean Construction, gracias a Lauri Koskela y su Tesis de doctorado, que dieron el inicio para más estudios y la posterior creación del Lean Construction Institute en agosto de 1997. (Moran y Quispe, 2014, p.23).

2.3.8.2. Filosofía de Lean Construction

Según el Instituto de Lean Construction (ILC) en su página web define así; Lean Construction es una filosofía orientada hacia la administración de la producción en construcción, cuyo objetivo fundamental es la eliminación de las actividades que no agregan valor (pérdidas). Se enfoca en crear un sistema de producción ajustado que minimice residuos y herramientas específicas aplicadas al proceso de ejecución de proyectos.

Lean Construction nace como una necesidad de adoptar una serie de estándares emanados de la empresa manufacturera. La industria de la construcción observó por muchos años, de manera expectante, cómo el mundo oriental le entrega una gran cantidad de ideas, filosofías y prácticas al mundo occidental. La nueva filosofía de producción ha demostrado que las nuevas técnicas, difundidas ampliamente en la industria automotriz, podían ser implementadas de forma exitosa en la industria de la construcción. Experiencias internacionales han demostrado que la implementación de la filosofía Lean Construction puede mejorar la coordinación de todos los agentes participantes en el proyecto y por ende aumentar la fiabilidad de éste.

2.3.8.3. Características de Lean Construction

- Trabajo en equipo.
- Una buena gestión de la comunicación.
- Eficiente uso de recursos.
- Mejora continua (kaizen).
- Aplicación de constructibilidad.
- Mejoramiento de la productividad.
- Reducción de pérdidas.
- Reducción de los trabajos no contributorios (tiempos muertos), aumento del trabajo productivo y un manejo racional de los trabajos contributorios.
- Reducción de los costos de equipos, materiales y servicios.
- Reducción de los costos de construcción.
- Reducción de la duración de la obra.

2.3.8.4. Principios de Lean Construction

Lean Construction propone un modelo de flujo de materiales y/o información, donde las actividades de producción están acompañadas con otras operaciones complementarias como inspecciones, esperas, movimientos de recursos para iniciar la siguiente actividad.

Lauri Koskela propone diez principios fundamentales del Lean Construction:

I. Reducción de las actividades que no agregan valor

Se busca reducir aquellas actividades que consumen tiempo, recursos y espacio, más adelante dichas actividades serán nombradas como trabajos contributorios (actividades que no agregan valor, pero es necesaria para la producción) y no contributorios (actividades que no generan valor y son consideradas pérdidas), lo que se busca es identificarlas para optimizarlas, reducir las o en definitiva eliminarlos dependiendo de su contribución al proceso principal (Figura 8).

Para esta aplicación se utilizará circuito fiel, para el seguimiento, análisis y evaluación del proceso para la mejora del flujo en conjunto, en cuanto a optimización de la cuadrilla, mejorar procesos constructivos, reducción de tiempos, optimización de recursos y control de calidad

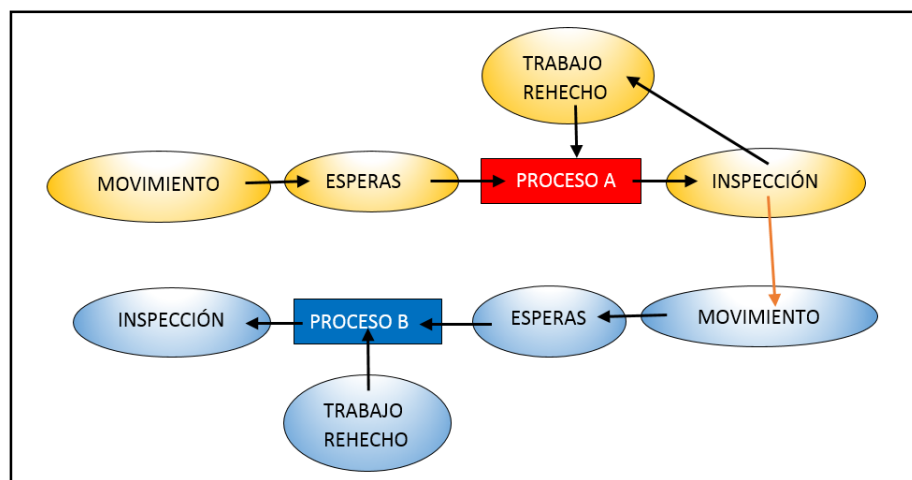


Figura 8. Modelo de flujo continuo de procesos
Fuente: Serpell, A. (2002). Administración de operaciones de construcción.

II. Incrementar el valor del producto

Este principio identifica dos tipos de clientes internos y externos. Los clientes externos es la entidad que contrata para la ejecución de su obra (edificación) esta puede ser privada o pública, esta define las características del proyecto las cuales son plasmadas en un expediente técnico, también son considerados clientes externos los usuarios finales, por lo cual se busca cumplir con sus exigencias. Los clientes internos son aquellos que forman parte del flujo de producción, cada uno de los procesos (considerada el cliente) tiene un proceso anterior, la cual debe cumplir con las exigencias tanto de calidad y tiempo para que el cliente pueda realizar su trabajo, este mismo tendrá una actividad posterior que será el nuevo cliente. Por ejemplo, se tiene el encofrado de muros de concreto y el vaciado de

concreto, el cliente será el vaciado de concreto, para lo cual los encofrados de los muros deberán cumplir con las exigencias para que se lleve a cabo la colocación de concreto, cumplir con un encofrado alienado, que cumpla con la verticalidad, que la madera usada sea de calidad, que los puntales y barrotes estén asegurados. De esa manera se agrega valor al flujo como un conjunto de clientes, y así el cliente final obtendrá el valor requerido.

La forma de generar valor en la construcción (clientes internos), es manejando una planificación confiable, Lean Construction propone Last Planner como una solución ya que propone una programación general, intermedia (Lookahead) y diaria y además de realizar un análisis de restricciones que hará un análisis de los cuellos de botella para una mejora continua del flujo.

III. Reducir la variabilidad

Una de las características de la construcción es su alto grado de variabilidad e incertidumbre, pues cada construcción representa un producto único e irrepetible, y además está expuesto a condiciones locales como el clima, tipo de suelo, mano de obra, entre otros.

Este principio busca reducir la variabilidad desde dos puntos de vista:

Una desde el cliente y su exigencia por un producto uniforme, siendo la obra un producto único se busca que las partes que lo componen cumplan con la uniformidad, por ejemplo, si tenemos la construcción de un edificio residencial, se buscare que todos los departamentos cumplan con la misma calidad.

El otro punto de vista es desde la producción, en la realización de las actividades, donde es más evidente la variabilidad, ya que cada proceso representa una unidad de variabilidad, añadiendo mayor variabilidad al flujo en conjunto, a mayor variabilidad más actividades no contributivas, representando así sobretiempos. Por

ejemplo, en una carretera si bien es cierto se construyen por tramos se espera que todos los tramos cumplan con las exigencias del requerimiento, en este caso la variabilidad es más evidente, ya que cada tramo será diferente debido al tipo de suelo, clima, lejanía de canteras, etc. Entonces cada proceso tendrá un trato diferente, por lo cual se requiere mayor control.

La estandarización de procesos es una forma de hacer frente a la variabilidad, ya que se hace un estudio del proceso y se propone una forma de trabajo óptimo, y de mayor productividad. El planeamiento es otra forma de hacer frente a ello, mediante una programación media, semanal y diaria, y además de un análisis de restricciones es una forma de mejorar cada proceso. Con la inclusión de tecnologías informáticas como el BIM y VDC, la construcción virtual o realidad virtual es una herramienta que ayuda a reducir la variabilidad, ya que antes de construir físicamente se realiza una construcción virtual.

IV. Reducir el tiempo del ciclo

El tiempo de entrega en la mayoría de las obras de construcción son vulneradas, debido a una deficiente gestión de tiempo, este principio busca mejorar ese aspecto con la reducción del tiempo del ciclo. El tiempo del ciclo lo compone; el tiempo del proceso en sí, a la cual denominaremos trabajo productivo, y también lo componen el tiempo de trabajo contributorio y tiempo del trabajo no contributorio (como se muestra en la Figura 9), este principio busca reducir esos tiempos de los dos últimos mencionados. Por ejemplo, en el proceso de encofrado de losa maciza, el tiempo del trabajo productivo es el encofrado de los paños, el tiempo de trabajo contributorios vendría a ser el tiempo de desencofrado, transporte de materiales, capacitación, inspección, toma de medidas, entre otros, estos trabajos podrían ser optimizados, así por ejemplo los materiales podrían estar más cercanos al área de trabajo, se podrían dar planos acotados y detallados para su fácil toma de medida.

El otro es eliminar o reducir al máximo los tiempos de trabajo no contributivo como tiempo de ocio, tiempo para ir al SS.HH (ubicándolo cerca de la obra), tiempo de esperas (asegurando que el proceso anterior culmine sus tareas). Y en conjunto mejorar el proceso constructivo para reducir el tiempo del ciclo.

Para su aplicación, se usan herramientas como sectorización, tren de trabajos, al estar sectorizada se tiene mayor orden y organizado el trabajo. Mediante el tren trabajo se asegura que el flujo sea continuo y evita tiempos muertos entre los procesos.

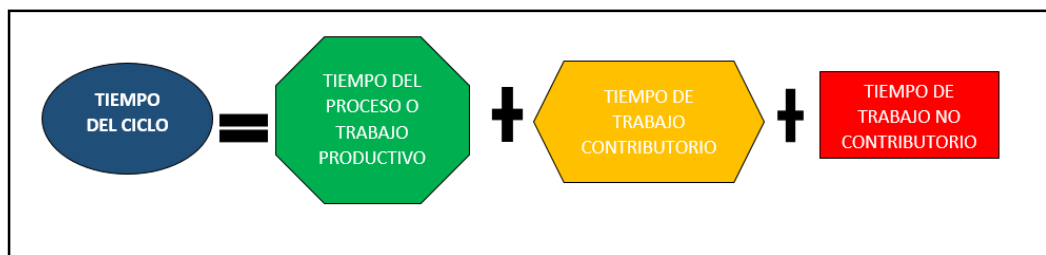


Figura 9. Tiempos del ciclo de un proceso
Fuente: Elaboración propia

V. Simplificar información mediante minimización de los pasos

De por sí la construcción es un producto complejo, dicha complejidad afecta el costo (mientras más complejo sea un producto el costo aumenta), y la confiabilidad del cliente (mientras más simple sea el sistema la confiabilidad de este es mayor). Lo que se busca con este principio es reducir la cantidad de componentes de un producto y reducir la cantidad de pasos en el flujo de información o de materiales, mediante la simplificación del proceso.

La simplificación de los procesos, se puede lograr mediante la estandarización de subprocesos, materiales, equipos y herramientas. Mediante la optimización del flujo, es decir eliminando, organizando las actividades, instruyendo y evaluando a la mano de obra de acuerdo a las actividades que este realiza. Reduciendo los pasos

de ciertas actividades mediante uso de equipos o herramientas que ayuden a recortar procedimientos.

VI. Incrementar la transparencia en los procesos

La transparencia de los procesos, consiste en involucrar a todos los participantes de la construcción. Ya que la no transparencia aumenta la probabilidad de cometer errores, pues no existe una comunicación e interacción entre los agentes, por ejemplo, la parte técnica y los constructores. También genera desmotivación en los trabajadores ya que trabajan de manera aislada cada proceso. Influyendo directamente en la calidad del producto.

La metodología para la aplicación de este principio consiste en realizar reuniones mensuales, semanales, donde se realizan las coordinaciones de los trabajos, se definen las metas, se realizan las consultas, se explican las restricciones de los procesos. En esta reunión participan el cuerpo técnico, jefes de cuadrilla, la gerencia y el cliente en ocasiones.

VII. Enfocar el control el proceso completo

Para la producción del producto final como tal intervienen un conjunto de procesos, en donde cada una de estas es evaluada de forma individual creando incertidumbre en las otras actividades. Por ello Lean propone este principio que se basa en dos requisitos:

- El proceso completo debe ser medido, se debe evaluar conjuntamente para su mejora.
- La existencia de un encargado del proceso completo, en la actualidad existen los gerentes de obra, que ven la construcción en conjunto e impulsan la

comunicación de todos los agentes en una reunión para la evaluación y retroalimentación del trabajo realizado.

Este principio impulsa la comunicación y el compromiso de los agentes de la construcción; cliente, gerentes, cuerpo técnico, proveedores, subcontratistas, jefes de cuadrilla, entre otros.

VIII. Introducir la mejora continua de los procesos

Este principio se basa en la reducción de desperdicios e incrementar el valor del producto, mediante sistemas de mejora continua la cual va a ser dirigida por un grupo que realizara específicamente esta tarea, mejorando los procesos, estandarizarlos y convertirlos en un sistema de gestión. Y además esta mejora debe reflejarse en toda la cadena de valor del proyecto (Figura 10). Para lo cual se debe usar una metodología de identificación de causas de problemas, así identificar y medir estadísticamente las causas de su deficiencia, por ejemplo, está el análisis de restricciones, cartas balance, que pueden ser útil para analizarlos estadísticamente, proponer mejoras y estandarizarlos.

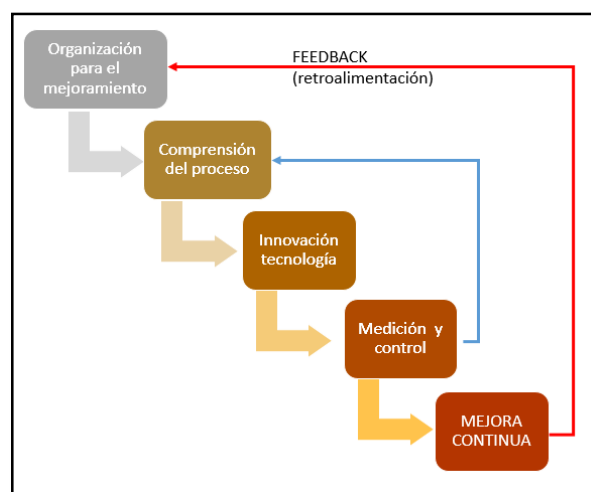


Figura 10. Proceso de mejoramiento continuo en cualquier proceso productivo.

Fuente: Ibarra, Lean Construction (2011)

IX. Balancear el mejoramiento del flujo con el mejoramiento de la conversión

El mejoramiento del flujo se refiere a la mejora de los procesos, el conjunto de procesos continuos y relacionados entre sí para la producción de un producto es un flujo. Este principio busca equilibrar la mejora de ambos, la mejora de un proceso no siempre será un indicativo de la mejora del flujo o viceversa, por ello es imprescindible mejorar todos los procesos con respecto a la propuesta de mejora del flujo. A continuación, se muestra las pérdidas generadas en flujos y procesos.

Pérdidas en flujos

- Esperas.
- Viajes innecesarios.
- Tiempo ocioso.

Pérdidas en procesos

- Exceso de consumo de materiales
- Trabajos rehechos.

Al balancear el flujo y los procesos, se puede implementar nuevas tecnologías, reducir la variabilidad, reducir tiempos y costos.

2.3.8.5. Pérdidas en la construcción según Lean Construction

La medición del desempeño actual del sistema de producción, se convierte en punto de partida en la implementación de cualquier sistema de mejoramiento. La identificación de pérdidas, a través de sencillas técnicas, como muestreo de trabajo, análisis de restricciones, han sido utilizadas como medida indirecta de la productividad, ya que se asume que al identificar las categorías y causas de las pérdidas en la construcción y reducirlas, se incrementa la productividad (Ibarra,1993, p.20).

2.3.8.6. Clasificación de desperdicios

Uno de los objetivos de Lean Construction es la reducción de desperdicios, la cual también es denominada como tiempo no contributivo, es decir que utiliza recursos, pero no agrega valor al producto. Presentamos en el siguiente cuadro los principales desperdicios adaptados en la industria de la construcción (Cuadro 2).

Cuadro 2. Clasificación de pérdidas
Fuente: Elaboración propia

Tipos de pérdida	Definición
Espera o tiempos de inactividad	Interrupciones del trabajo o tiempo de inactividad. Ello principalmente se debe a la falta de información, recursos, espera a otra actividad predecesora, falta de área de trabajo, accidentes, entre otros.
Defectos	Se refiere a las actividades que requieren realizarse nuevamente, debido a omisiones o errores en los planos, errores de mediciones, errores de diseño, también puede ser causado por procesos constructivos inadecuados, mano de obra poca calificada, entre otros.
Transporte innecesarios	Desplazamiento innecesario de recursos (mano de obra, equipos y materiales) (movimientos internos de la obra), ello se debe una mala planificación de los trabajos, de distribución de áreas de trabajo.
Inventario	Cantidad de materiales que va por sobre la necesidad inmediata, esto puede resultar que los materiales se dañen, debido a condiciones inadecuadas de almacenamiento y robo. También se incluyen procesos terminados o trabajos en proceso, estas pueden causar retraso en la obra.
Talento	Desaprovechar el potencial de las personas en la organización, ya que no se les motiva, incentiva. También es necesario la gestión de la comunicación con los trabajadores para que sean partícipes de la planificación de las actividades y de la retroalimentación de los problemas, y con el

	aporte de sugerencias y su experiencia para el mejoramiento del trabajo de los procesos.
Sobre producción	Ejecutar una actividad antes de que sea realmente necesaria, uso de equipo altamente sofisticado, más calidad de la necesaria.
Hacer por hacer	Improvisación por parte del personal. Es decir, la ejecución de una tarea continúa, aunque los elementos necesarios no estén disponibles.

2.3.8.7. Herramientas Lean Construction

2.3.8.7.1. Sectorización

Es una herramienta que se basa en dos principios:

- Lotes de producción: Consiste en la división en lotes pequeños y proporcionales de tal manera que se controle y optimice el flujo de recursos.
- Lotes de transferencia: Se refiere a la transferencia de actividades, es decir que dos actividades diferentes pueden trabajar de forma paralela en los sectores definidos.

La sectorización es una herramienta necesaria para la aplicación de otras herramientas como tren de actividades, planificación y dimensionamiento de cuadrillas, ya que determina la cantidad de sectores, teniendo en cuenta criterios constructivos, de diseño y de proporcionalidad en la cantidad de trabajo, para obtener un flujo de trabajo continuo y ordenado.

Edifica, una de las empresas pioneras en la utilización de esta herramienta con el fin de estandarizar el procedimiento de este en los proyectos de edificación, propone este diagrama de flujo, mostrado en la Figura 11. Consiste en los siguientes procesos: Metrar, proponer número de sectores, estas mismas serán evaluadas mediante condicionantes y serán reevaluadas hasta llegar a un balance de metrados entre sectores de elementos verticales y horizontales.

Consideraciones para la realización de la sectorización:

- Los metrados de los sectores deben ser proporcionales.
- Tomar en consideración el proceso constructivo, condicionantes de la zona y diseño estructural.
- Compatibilizar los sectores tanto de elementos verticales y horizontales.

Ventajas en la gestión de la productividad:

- Nos permite tener un trabajo ordenado y continuo.
- Evita tiempo muertos entre actividades (flujo continuo).
- Permite controlar el requerimiento de equipos y materiales
- Pronostica la duración de la obra, determina el avance diario por especialidad.
- Optimiza la mano de obra, mayor productividad.
- Mejora la curva de aprendizaje.

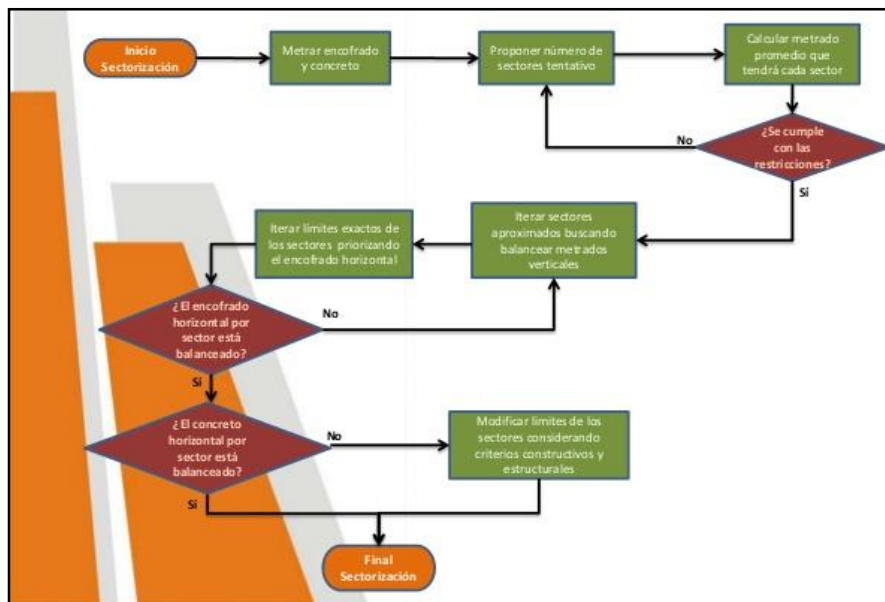


Figura 11. Diagrama de flujo de sectorización de edificaciones
Fuente: Guzmán, M; Suarez P. “La Filosofía Lean Construction”¹

¹ Presentación de conferencia de la Constructora Edifica, “La Filosofía Lean Construction” de Guzmán Marquina y Pedro Suarez, año de publicación 2011.

En la Figura 12 se muestra una sectorización de elementos verticales (placas), la cual consta de cuatro sectores, el criterio para ello fue dividir por configuración similar, los sectores extremos son iguales y los del medio también. Esta similitud ayuda a tener dos grupos de trabajo similares, obteniéndose así un flujo continuo.

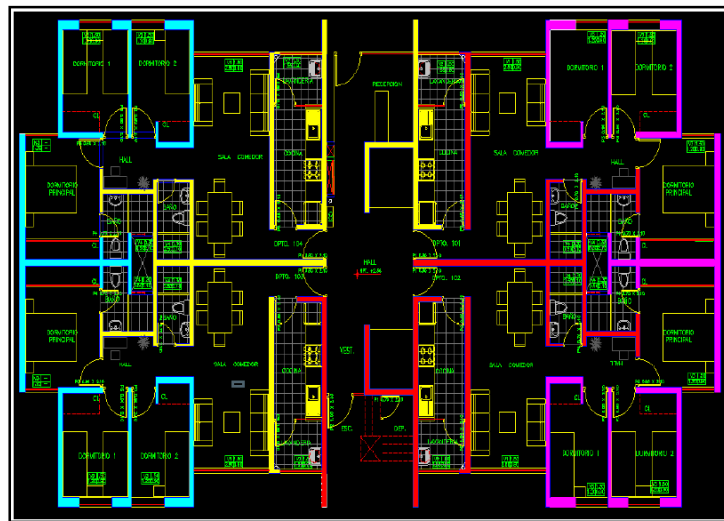


Figura 12. Sectorización de elementos verticales
Fuente: Castillo. (2015). Planificación 4D en la obra de edificación Villa Municipal.

2.3.8.7.2. Tren de actividades

El tren de actividades es una herramienta, basada en la metodología de líneas de producción (Método de Lean Production, utilizada en fábricas), esta metodología consiste en la obtención del producto en varias estaciones, las cuales realizan trabajos específicos. Por su variabilidad fue imposible adaptar como tal, por lo cual su aplicación en la construcción se la conoce como trenes de trabajo, donde cada proceso es considerado una estación de trabajo, donde las cuadrillas (según especialidad en cada trabajo) avanzan unos tras otros a través de los sectores ya definidos, con lo cual se quiere lograr un flujo continuo y ordenado.

Los trenes de trabajo están compuestos por una secuencia de actividades que fluyen como un tren, cuyo objetivo es reducir holguras entre actividades, donde cada

actividad es considerada crítica y dependiente de la actividad antecesora. Es una forma de estandarizar los procesos cíclicos. Su aplicación es necesaria también para el desarrollo de las planificaciones Lookahead y plan semanal.

La ventaja de su utilización en proyectos de edificación es la estandarización del trabajo por cuadrilla y por día, se tiene mejor control de los trabajos, no hay tiempos muertos entre actividades, se tiene más orden en campo, se puede trabajar por metas y controlarlas, evidentemente mejora la productividad. Su desventaja principal es que este al igual que un tren, el retraso de una actividad genera el retraso de todo el tren de actividades.

En la Figura 13 mostramos un ejemplo de tren de actividades de dos sectores, de elementos verticales (placas y columnas), Se observa que cada elemento tiene una secuencia de actividades necesarias para su producción, las cuales están pintadas de acuerdo a los días que tomara en realizar dichas tareas.

ITEM	ACTIVIDAD LOOKHEAD	Rend. Programado	METRADO + SEMANAS	SEMANA 08							SEMANA 09							SEMANA 10										
				L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D				
				1ºabr	2ºabr	3ºabr	4ºabr	5ºabr	6ºabr	7ºabr	8ºabr	9ºabr	10ºabr	11ºabr	12ºabr	13ºabr	14ºabr	15ºabr	16ºabr	17ºabr	18ºabr	19ºabr	20ºabr	21ºabr				
ESTRUCTURA NIVEL CASCO - PISO 4																												
1.1	Columnas y placas																											
1.1.1	Acero	2,416.51	7,249.54	2,290.19	2,291.24	2,758.11																						
1.1.2	Trazado	30.37		30.37	30.37	30.38																						
1.1.3	Encofrado y desencofrado C2	42.64	127.91	44.44	39.03	44.44																						
1.1.4	Encofrado y desencofrado C1	67.34	202.01	67.78	69.93	64.30																						
1.1.5	Concreto	12.31	36.94		13.33	10.59	13.02																					
1.2	Muros de cerramiento																											
1.2.2	Acero	430.04	1,720.18		429.43	446.69	498.75																					
1.2.1	Trazado	58.46	233.64		58.46	58.46	58.46																					
1.2.3	Enfubado y salidas IE	64.75	259.00		64.00	65.00	65.00																					
1.2.4	Enfubado y salidas IS	31.53	138.99		31.00	32.00	32.00																					
1.2.5	Encofrado C1	78.39	627.12		76.93	76.93	76.93																					
1.2.5	Encofrado C2	51.77	414.13		57.87	57.86	57.86																					
1.2.6	Concreto	6.81	47.69				8.76																					
1.3	Elementos horizontales: Losa maciza y vigas																											
1.3.3	Acero en vigas	1,111.12	1,111.12																									
1.3.2	Encofrado de viga y losa C2	63.28	253.10																									
1.3.2	Encofrado de viga y losa C1	72.87	291.49																									
1.3.1	Trazado de muros	58.46	233.64																									
1.3.4	Acero multa y	1,138.69	4,508.63																									
1.3.6	Instalaciones sanitarias (agua y desague)	54.50	219.00																									
1.3.7	Instalaciones electricas	45.25	181.00																									
1.3.8	Instalaciones de dowels	58.46	233.64																									
1.3.9	Acero y encofrado en escalera	0.93	1.00																									
1.3.10	Concreto losa, viga y escalera	89.10	89.10																									

Figura 13. Tren de actividades de un proyecto de edificaciones
Fuente: Elaboración propia

Características de la herramienta tren de actividades

- Los procesos son considerados estaciones de trabajo
- Las estaciones de trabajo deben de estar balanceados en cantidad y recursos.
- Todas las actividades son consideradas rutas críticas.

- La producción diaria es constante de cada cuadrilla.
- La cantidad de recursos necesarios es constante.

Procedimientos para realizar un tren de actividades

- Sectorizar.
- Realizar una lista de actividades del proceso constructivo en general de toda la construcción.
- Realizar una secuencia de las actividades para cada sector.
- Calcular los días que tomara realizar cada actividad.
- Ordenar de forma secuencial por sectores, por días.
- Dimensionar recursos (Mano de obra, equipos, materiales y subcontratistas).

2.3.8.7.3. Circuito fiel

El principal problema de los proyectos de construcción son los atrasos, generalmente lo asocian a la falta de personal para la ejecución de tal actividad, dicho problema se debe a la falta de velocidad de producción, exceso de personal (la aglomeración de personas puede causar atraso), falta de personal, entre otros.

Esta herramienta nos ayudara a mejorar los procesos constructivos, determinar la cantidad optima de personal para dicha actividad de tal manera que todos sean productivos. Al conocer la producción que debe tener cada actividad al día podemos planificar los avances diarios y además sin caer en la tentación de aumentar personal para cumplir con las metas, se puede abrir una negociación con estos, mediante incentivos, motivación, etc.

Esta metodología es conocido como el Circuito Fiel y como se mencionó en párrafos anteriores tiene la finalidad de calcular el número de personas que son necesarias para realizar una actividad y cumplir con los rendimientos establecidos

al iniciar la obra (Rendimientos del presupuesto) y garantizar que se cumpla con un nivel de productividad mayor al promedio.

Consideraciones para la elaboración del dimensionamiento de cuadrilla mediante la metodología circuito fiel.

En los siguientes párrafos se describirá el procedimiento para la realización de esta metodología:

- Se elige la partida para la cual se desea dimensionar la cuadrilla.
- Se establece el número de horas diarias trabajadas.
- Se calcula el costo empresa de la hh para tener una idea del ahorro o la pérdida que nos puede representar incluir a más personas de las necesarias en la cuadrilla.
- De los análisis de precios unitarios se toma el rendimiento presupuestado para la partida seleccionada.
- Se coloca el metrado asignado para cada día según los sectores.
- Se elabora la tabla en la cual se tienen las hh diarias y acumuladas, los metrados diarios y acumulados, los rendimientos diarios y acumulados; y el rendimiento presupuestado.

Una vez elaborado el cuadro se sabe que las hh diarias depende del número de trabajadores, entonces esta herramienta consiste en iterar con cierto número de trabajadores y comparar el rendimiento obtenido con el presupuestado así se podrá asegurar que no se sobredimensione una cuadrilla.

En la Figura 14, se muestra el dimensionamiento de cuadrilla de concreto premezclado en vigas y losa, en la cual se detalla el ahorro acumulado por nivel y por mes.

2.3.8.7.4. Last Planner System

Sistema del último planificador es una herramienta basada en la filosofía Lean Production, desarrollado por los ingenieros Herman Glenn Ballard y Gregory Howell. Es un sistema de planificación y control de proyectos. Esta herramienta busca incrementar la fiabilidad de la planificación y mejorar el trabajo mediante el seguimiento de compromisos y liberación de restricciones


DIMENSIONAMIENTO DE CUADRILLAS - CONCRETO PREMEZCL. EN VIGAS Y LOSA																					
		RESIDENCIAL TORRES DE DOS DE MAYO AV. PROLONGACION 2 DE MAYO 480 CONCRETO PREMEZCL. EN VIGAS Y LOSA M3		Jornada: 9.6 Horas/día Cuadrilla: 3 Operarios 4 Peones		Rendim. Presupuesto: 36 M3/jornada Rendimiento Meta: 36.5 M3/jornada Nro de Cuadrillas: 1 Nro de Trabajadores: 8 Total Propuesto		Rendim. Presupuesto: 2.13 HH/M3 Rendimiento Meta: 2.10 HH/M3 Costo HH Promedio: 15.73 Solos/HH													
DESCRIPCION	UNIDAD	NIVEL 01				NIVEL 02				NIVEL 03				NIVEL 04				NIVEL 05			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DIMENSIONAMIENTO DE CUADRILLAS - CONCRETO PREMEZCL. EN VIGAS Y LOSA																					
SECTOR	M3	S-1, S-5	S-2, S-6	S-3, S-7	S-4, S-8	S-1, S-5	S-2, S-6	S-3, S-7	S-4, S-8	S-1, S-5	S-2, S-6	S-3, S-7	S-4, S-8	S-1, S-5	S-2, S-6	S-3, S-7	S-4, S-8	S-1, S-5	S-2, S-6	S-3, S-7	S-4, S-8
METRADO - MODELO BIM		15.1	13.3	16.5	15.1	15.1	13.3	16.6	15.1	15.12	13.31	16.64	15.14	15.23	13.29	16.65	15.14	13.37	13.19	17.60	12.98
PERSONAS	UNO	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
RENDIMIENTO _{max}	HH/M3	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
DURACION	HORAS	3.97	3.50	4.34	3.98	3.98	3.50	4.38	3.98	3.98	3.50	4.38	3.98	4.01	3.50	4.38	3.98	3.52	3.47	4.63	3.41
PREMIOS/CONTRIBUT./OTROS	HORAS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
DURACION _{PRELIMINAR}	HORAS	3.97	3.50	4.34	3.98	3.98	3.50	4.38	3.98	3.98	3.50	4.38	3.98	4.01	3.50	4.38	3.98	3.52	3.47	4.63	3.41
RENDIMIENTO _{PRELIMINAR}	HH/M3	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
DURACION _{PRELIMINAR}	HORAS	4.03	3.54	4.40	4.04	4.03	3.55	4.44	4.03	4.03	3.55	4.44	4.04	4.06	3.54	4.44	4.04	3.57	3.52	4.69	3.46
Ahorro/Pérdida DEL DIA	HORAS	0.44	0.39	0.48	0.44	0.44	0.39	0.48	0.44	0.44	0.39	0.48	0.44	0.45	0.39	0.48	0.44	0.39	0.39	0.51	0.38
Ahorro/Pérdida ACUMULADO	HORAS	0.44	0.83	1.31	1.75	2.20	2.59	3.07	3.51	3.96	4.35	4.83	5.27	6.11	6.59	7.04	7.43	7.81	8.33	8.71	
Ahorro/Pérdida DEL DIA	\$/	6.95	6.11	7.59	6.96	6.95	6.12	7.65	6.96	6.95	6.12	7.65	6.96	7.00	6.11	7.65	6.96	6.15	6.06	6.09	5.96
Ahorro/Pérdida ACUMULADO	\$/	6.95	13.05	20.64	27.60	34.55	40.67	48.32	55.28	62.23	69.33	75.99	82.95	89.95	96.06	103.72	110.68	116.82	122.88	130.97	136.93

Figura 14. Ejemplo de dimensionamiento de cuadrilla de concreto premezclado
 Fuente: Paxi. (2015). “Propuesta metodológica para la mejora de la planificación, programación y control de obras de construcción aplicando la interacción de las herramientas de Lean Construction y Building Information Modeling (BIM)”.

Características de Last Planner

- Incrementa la fiabilidad de la planificación y mejora el desempeño de los trabajos.
- Trabaja en las actividades con restricciones, las cuales al ser liberadas asegura un flujo con menor incertidumbre a su cumplimiento.
- Sus herramientas de planificación y control son versátiles para cualquier tipo de construcción.
- La confiabilidad de la planificación se trabaja en niveles de largo, medio y corto plazo de planificación.
- El Último planificador define quien es el responsable de la actividad y que se realizará.

- Este sistema busca trabajar con el ultimo planificador (jefe de cuadrilla, supervisor, subcontratista, jefe de campo).

En la Figura 15 mostramos la manera tradicional de planificación; Planificar es hacer lo que se debería hacer para lograr el objetivo y con respecto a ello decidir lo que se hará, pero hay que tener en cuenta que no todo se puede, por lo cual es inevitable los retrasos. La planificación tradicional se basa en el término “se hará”, sin tomar en cuenta en “se puede”. Es importante tener en cuenta este último término en etapas tempranas en la planificación. En la Figura 16, mostramos el proceso de programación basada en la filosofía Lean. Es importante definir lo que se puede hacer (mediante un análisis de restricciones) para decidir lo que se hará.

Procedimiento de planificación y programación bajo la aplicación de LC

- Planeamiento general: Cronograma general
- Lookahead
- Análisis de restricciones
- Programación semanal
- Análisis de cumplimiento
- Porcentaje de plan cumplido
- Causas de incumplimiento

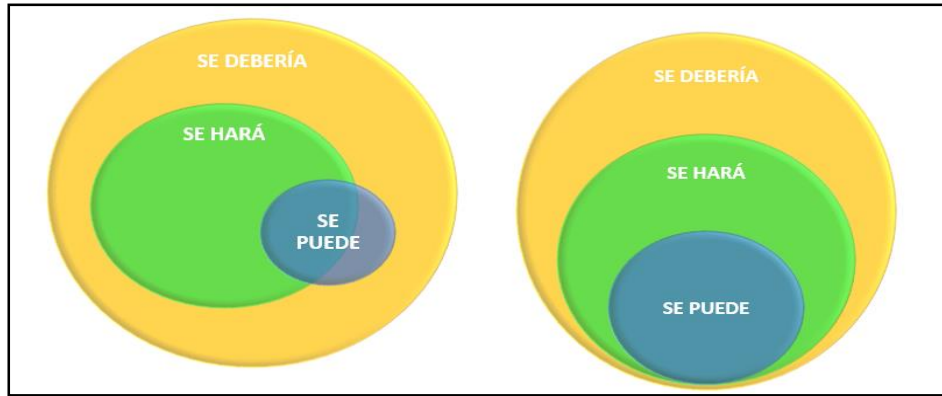


Figura 15. Metodología de planificación tradicional y LPS
Fuente: ELROY. (2014). Metodología Last Planner System

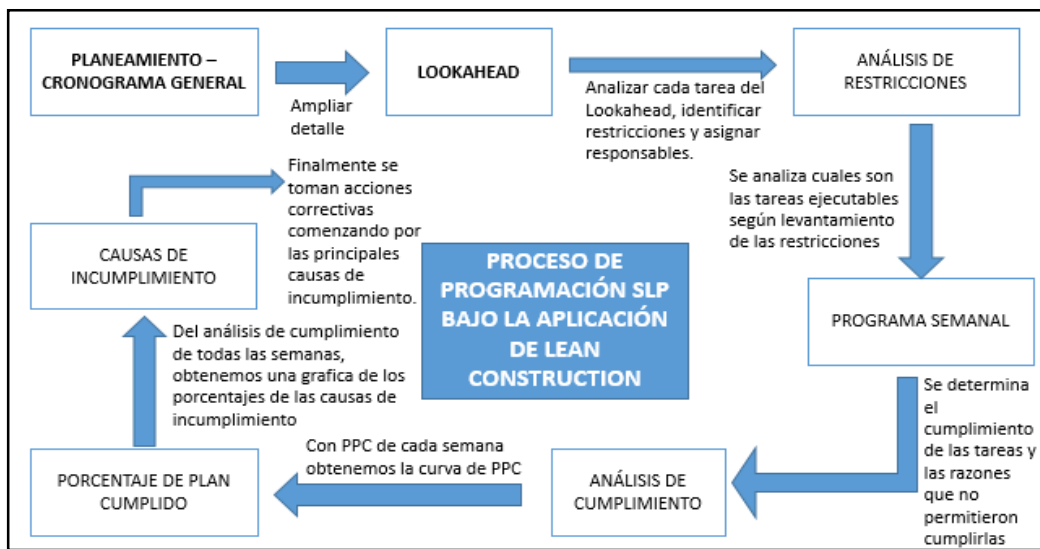


Figura 16. Procedimiento de planificación y programación
Fuente: Brioso, X. (2012). Curso-Taller Gestión Lean en la construcción Brioso

I. Programa maestro o plan maestro

El programa maestro genera el presupuesto y el tiempo del proyecto. Proporciona hitos. El programa maestro o planificación inicial debe ser desarrollado con información que represente el verdadero desempeño que posee la empresa en obra.

Este programa maestro contiene las relaciones entre las actividades y los recursos que se requieren para cada actividad. Normalmente se representa por un CPM.

Generalmente es la que se encuentra en el expediente técnico, el cual define las actividades o tareas (objetivos del proyecto) que se han de ejecutar y determina su duración (establece metas), mediante una línea de actividades interconectadas entre sí. Además, esta es importante para generar el presupuesto inicial.

Las actividades de duración despreciable son consideradas como acontecimientos. Si un acontecimiento es especialmente importante se denominará hito. Entonces, el

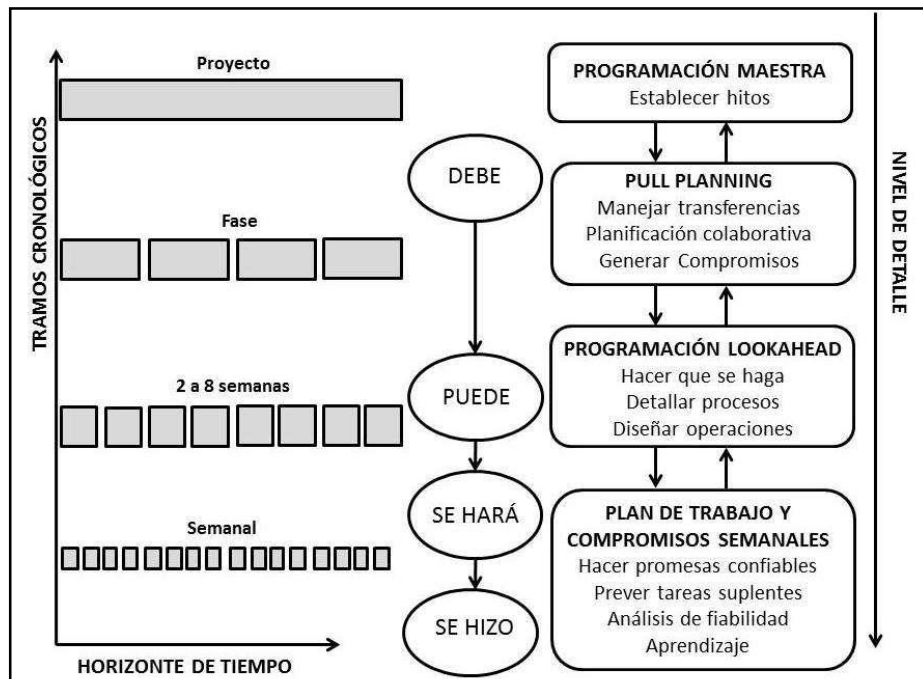


Figura 17. Niveles de planificación en el Sistema Last Planner

programa maestro nos sirve para identificar los hitos de control de nuestro proyecto (Díaz, 2007, p.36) (ver Figura 17)

Fuente: Brioso, X. (2012). Curso-Taller Gestión Lean.

Características del plan maestro:

- Crea objetivos puntuales con fechas establecidas. (a las cuales denominaremos hitos).
- Define las actividades principales que se deberían de ejecutar.
- Define a los responsables de la planificación, dependerá de la dimensión y complejidad del proyecto de construcción puede ser el área de planificación, ingeniero de planificación o residente de obra.
- Define a los proveedores y subcontratistas.
- Identifica los actores externos, estos pueden ser entidades públicas y privadas, empresas de servicios generales, etc.

II. Programa fase

Es el segundo nivel de planificación, y son empleados en proyectos largos y complejos. Consiste en la separación del programa maestro en fases.

III. Planificación intermedia o Lookahead (programa intermedio)

Es el segundo nivel de planificación, y le sigue a la planificación inicial y antecede a la planificación semanal (esta genera el plan de trabajo semanal). la planificación intermedia determina las subareas para su ejecución, estas son definidas como prerequisites de trabajo y hablamos de restricciones. Al determinarse estas tareas se someten a un proceso de preparación, donde las restricciones son eliminadas y la actividad puede ser ejecutada.

La planificación intermedia ha sido desarrollada para focalizar la atención en las actividades que supuestamente ocurrirán en algún tiempo futuro. Podemos de esta forma tomar acciones en el presente que causen el futuro deseado. En otras palabras, la planificación intermedia es un intervalo de tiempo en el futuro que permite tener una primera idea de qué actividades serán programadas, para lo cual se debe coordinar todo lo necesario para que una actividad se pueda realizar, como lo son

el diseño, los proveedores, la mano de obra, la información y los requisitos previos (Díaz, 2007, p.36).

La planificación intermedia puede abarcar desde dos semanas a ocho semanas, esto depende de magnitud y complejidad del proyecto de construcción. Este nivel de planificación define lo que se puede hacer, evaluando los recursos, herramientas, información necesarios y analizando su disponibilidad, de esta manera determina su alta probabilidad de ejecución y da pase a la programación de las actividades. También se programa el control de flujo de trabajo mediante inspecciones, pruebas, ensayos, etc. en campo (ver Figura 18).

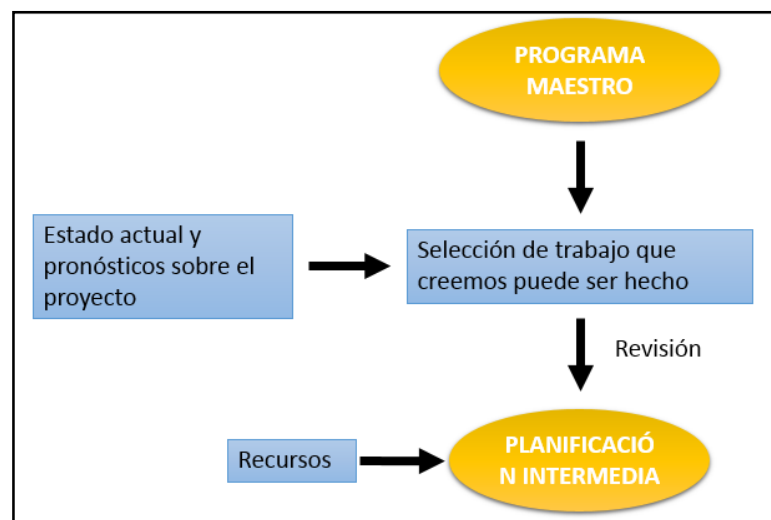


Figura 18. Niveles de planificación según el Sistema Last Planner
Fuente: Díaz, A. (2007). "Aplicación del SLP a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura"

Funciones de una planificación intermedia

- Forma una secuencia de flujo de trabajo y calcular su costo.
- Propone un flujo de procesos, mediante la demanda de su capacidad.
- Descompone las actividades del programa maestro de manera óptima respetando los procesos constructivos.

- Desarrolla métodos constructivos adecuados y óptimos (mejora continua).
- Tiene un inventario de trabajos ejecutables.
- Revisa y actualiza los programas del nivel superior.

Procedimientos para la realización de la planificación intermedia

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

Restricciones de las actividades

Diseño o información técnica: Cuando el expediente técnico del proyecto presenta deficiencias como; incompatibilidades entre especialidades, falta de detalles, omisiones, incongruencias entre planos y especificaciones técnicas, errores en los diseños, demora en la respuesta de consulta a los proyectistas, entre otros.

Materiales: La más común y la de mayor incidencia es la falta de materiales, ello se debe a que no se realizan los pedidos con anticipación, o la falta de dinero para comprar los materiales, otra causa es que el requerimiento de materiales no se realiza de manera adecuada (mal metrado).

Mano de obra: Cuando no se tiene la cantidad adecuada de mano de obra, y el otro problema es el exceso de personal (aglomeración de personas, no hay espacio de trabajo, ni frentes), se debe tener un óptimo grupo de trabajo de tal manera que todos sean productivos.

Equipos y herramientas: Los equipos deben estar operativos y se debe tener las herramientas adecuadas para cada tipo de trabajo. Muchas veces el personal pierde tiempo arreglando los equipos, y sucede que muchas veces no se tiene las herramientas adecuadas lo cual hace que se improvise restando productividad.

Seguridad: Estas son las condiciones de trabajo del personal, si cuenta con los equipos de protección personal, si el área de trabajo esta adecuadamente señalizada. Y el otro problema es que hay exceso de seguridad en actividades no tan peligrosas, y el trabajador no se siente cómodo al trabajar. El otro problema es que se toma mucho tiempo en llenar los formatos, lo cual quita tiempo al trabajo que deben realizar.

Inventario de Trabajos Ejecutables (ITE)

- Es la lista de actividades liberadas de restricciones, estas actividades pasan inmediatamente a una lista de actividades que podemos ejecutar.
- En esta etapa, estamos pasando desde las actividades que se deben hacer, hacia las actividades que se pueden hacer.
- En el inventario de trabajo ejecutable no sólo puede haber tareas de las semanas futuras, sino que también puede haber tareas que se debían o podían haber ejecutado en la semana en curso; pero que no lo hicieron al no ser consideradas en las asignaciones semanales.
- Podemos ponernos en el caso que las actividades programadas se cumplan antes de lo esperado.
- Esto también puede ser un punto de tiempo ocioso para la unidad si es que no hubiera trabajo listo para ejecutar.
- Teniendo un inventario de tareas potencialmente realizables, puedo elegir qué haré desde las actividades que puedo hacer (ver Figura 19).



Figura 19. Actividad libre de restricciones que entra a la lista ITE
Fuente: Díaz, A. (2007). “*Aplicación del sistema de planificación Last Planner a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura*”.

IV. Planificación semanal (previo)

El SLP para incrementar la confiabilidad la planificación intermedia mediante el control del flujo de trabajo con el plan trabajo semanal (PTS).

El objetivo de este último nivel de planificación es controlar a la unidad de producción, lo cual tiene como objetivo, lograr progresivamente asignaciones de mayor calidad a través del aprendizaje continuo y acciones correctivas. El control de la unidad de producción, depende de la calidad de las asignaciones hechas por el último planificador (Díaz, 2007, p.40).

La planificación semanal define lo que se hará (después de definir lo que se puede hacer con la planificación intermedia) mediante el control de unidades de producción. Este nivel de planificación es más detallado, se basa en actividades bien definidas, secuencia lógica de trabajo, cantidad proporcional a capacidad de trabajo y prerequisites finalizados para continuar con tareas posteriores.

Características del plan de trabajo semanal

- Seleccionar la secuencia del trabajo, de acuerdo con el plan maestro establecido.
- Determinar las estrategias de ejecución y la constructabilidad (características que hacen que un diseño pueda ser construido).
- Determinar la correcta cantidad de trabajo por sectores, teniendo en cuenta la capacidad de trabajo de las cuadrillas que ejecutarán las actividades.
- Definir la cantidad exacta del trabajo por realizar y que puede hacerse, es decir, cumplir con los prerrequisitos y tener los recursos disponibles para tal fin.

V. Planificación semanal (control)

- Se coordina reuniones semanales en las cuales se analizará el cumplimiento de las tareas planificadas, detectando las causas del no cumplimiento y se realizará la planificación semanal.
- Se mide el avance realizado, mediante el porcentaje de plan completado (PPC) o actividades de actividades completadas (PAC) y se mide el progreso real de la planificación semanal.
- Se hace público los resultados obtenidos por todas las partes implicadas (sean buenos o malos), para reforzar el compromiso de los últimos planificadores.
- Es un proceso semanal iterativo que induce una retroalimentación con las conclusiones obtenidas del análisis semanal. De tal forma que se puede introducir modificaciones a la planificación intermedia o al programa maestro.
- El aprendizaje en esta etapa es fundamental, ya que la disminución de las causas de no cumplimiento puede aumentar la confiabilidad de la planificación futura.

Causas de no cumplimiento

- Mala programación.

- Falta de espacio para la realización de los trabajos.
- Planos defectuosos.
- Cuadrilla mal dimensionada.
- Problemas con los subcontratistas.
- Problemas con los proveedores.
- Falta o falla de equipos
- Baja productividad de mano de obra.
- Falta de materiales.
- Motivos climáticos.
- Mal diseño.
- Falta de coordinación entre las especialidades y el cuerpo técnico que dirige la construcción.

Porcentaje de actividades cumplidas (PAC)

Porcentaje de actividades cumplidas es un indicador que muestra la confiabilidad de la programación de la obra. El porcentaje representa la cantidad de actividades que cumplieron con todo lo programado en la semana respecto del total de actividades programadas en esa semana.

En la Figura 20 se muestra el gráfico de PAC, de la planificación semanal.

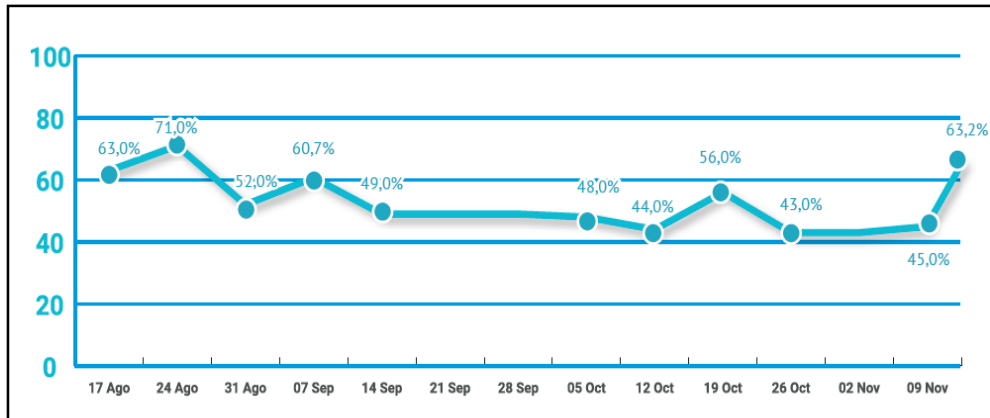


Figura 20. Gráfico de Porcentaje de actividades cumplidas
Fuente: Ponz, Cerveró y Alarcón (2013) (2013) “Last Planner System, un caso de estudio”.

2.3.8.8. Sistema Lean Construction vs. Sistema tradicional

Cuadro 3. Resumen de diferencias entre un proyecto tradicional y un proyecto LEAN
Fuente: Pons, J. (2014) Introducción a Lean Construction.

MODELO TRADICIONAL	MODELO LEAN
Gestión de camino crítico.	Sistema Last Planner.
Sistema Push.	Sistema Pull.
Basado en la transformación de procesos e información.	Basado en la transformación, flujo de valor y generación de valor.
Las actividades se realizan al momento.	Las actividades se realizan previa una planificación.
Los buffers están dimensionados y localizados para optimizar los procesos.	Los buffers están dimensionados y localizados para reducir la variabilidad del flujo.
Se focaliza en contratos y transacciones.	Se basa en un sistema de producción.
Cada especialidad trabaja de manera aislada, los riesgos se asignan y transfiere.	Trabajan con colaboración concurrente, existe una gestión de la comunicación.
El conocimiento se basa en experiencias de otros trabajos. Este muchas veces no es trasferido y se comete los mismos errores.	Se impulsa al aprovechamiento de los conocimientos y habilidades de los trabajadores, haciéndoles partícipes en

	las reuniones para la mejora continua (retroalimentación).
Durante la construcción se realiza la ejecución de procesos.	Los procesos y diseño se realiza de manera conjunta (constructabilidad)
El proceso es lineal.	El proceso es concurrente y multinivel.
Se da prioridad a los costos para la obtención de recursos (materiales).	Se busca proveedores que cumplan con el tiempo de entrega.
El manejo de información, dos dimensiones, analógica.	El manejo de información se realiza mediante medios digitales, virtuales, BIM (multidimensional)
La planificación se basa en la experiencia del administrador.	Se tiene un equipo de planificación.
El traspaso de información se realiza en forma verbal.	Se realizan reuniones , se comparte formatos, se realizan informes semanales.
Planificación muy detallada a largo plazo.	Se tiene niveles de planificación.
No existe una gestión adecuada y el control de obra es deficiente, no existe un seguimiento de la productividad.	Mejora la gestión y el control del proyecto de construcción.
Los requerimientos de materiales se hacen al momento ya que no se tiene una planificación previa.	Disminución de requerimientos urgentes e imprevistos.
Los plazos no son respetados en su gran mayoría.	Menores plazos de ejecución.

2.3.8.9. Lean Construction Institute

El grupo Internacional de Lean Construction (IGLC), fundado en 1993, constituye una red de profesionales e investigadores de arquitectura, ingeniería y construcción (AEC) a nivel mundial. Y en 1997 en EE.UU se funda el Instituto del Lean Construction (LCI).

Las empresas GYM, COINSA, COPRACSA, EDIFICA, MARCAN, MOTIVA y la Universidad Católica del Perú unen esfuerzos y fundan el Capítulo Peruano del Lean Construction, para compartir conocimientos y difundir esta filosofía en

nuestro país, teniendo como principal objetivo contribuir el nivel de profesionalismo y eficiencia de nuestro sector de la construcción.

Lean Construction Institute PERÚ (LCI PERÚ) es una organización sin fines de lucro, que opera como medio para la implementación de LEAN en la industria de la construcción, con un método de gestión uniforme, utilizando principios, fundamentos y prácticas comunes de la filosofía.

Con la finalidad de elevar el nivel profesional y la eficiencia del sector de construcción en el país, las empresas se reúnen para impulsar y crear de la Asociación Capítulo Peruano Lean Construction Institute

Desde el 2011, han liderado el esfuerzo de impulsar la productividad en la industria de la construcción.

Objetivos

- Generar y compartir conocimiento alrededor de la filosofía Lean Construction.
- Promover la aplicación de Lean en la industria de la construcción en el Perú.
- Orientar las aptitudes académicas necesarias para entrar en la industria.

Visión

Generar una comunidad que desarrolle conciencia en la filosofía Lean Construction y lograr un mayor índice de productividad en la industria de la construcción del Perú a través de los diferentes medios de difusión, capacitación y desarrollo de dicha filosofía.

Misión

Compartir conocimiento alrededor de la filosofía Lean Construction, orientando las aptitudes académicas necesarias para la investigación y desarrollo, además de convocar profesionales y empresas comprometidas con elevar el nivel de profesionalismo y eficiencia del sector construcción en el Perú.

2.3.9. Building Information Model (BIM)

2.3.9.1. Reseña histórica de BIM

La historia de CAD comenzó en 1957 cuando el Dr. Patrick J. Hanratty desarrolla el primer software comercial CAM (Computer-Aided Machining). Posteriormente en 1963 aparece el primer software CAD con interfaz gráfica para el usuario bajo el nombre de “Sketchpad” creado por Iván E. Sutherland en los laboratorios Lincoln del MIT y fue presentado en Spring Joint Computer Conference del mismo año. Este software permitió a un ingeniero generar diseños usando una interfaz gráfica; se manipulaban dibujos proyectados en una pantalla usando un dispositivo en forma de lapicero y un teclado (Mojica y Valencia, 2012, p.24).

Podríamos decir que la conceptualización, herramientas y modelación de BIM inicia con el origen del CAD, con la modelación 2D que fue un salto importante en la virtualización de las representaciones de los proyectos (planos), además fue una herramienta de gran ayuda para la gestión en obra, facilitó trabajos como metrados, cálculos, detalles de elementos, toma de medidas más exactas y rápidas, visualización del proyecto, además ahorró mucho tiempo en la elaboración de planos y mejoró la exactitud de estos. Si bien su introducción como herramienta en la construcción y diseño fue muy lenta, por el costo de su implementación, poca gente capacitada, equipos nuevos y onerosos en la época (computadoras caras), en la actualidad su uso es masivo, su estandarización es mundial.

El concepto BIM se remonta al año 1962, donde el inventor estadounidense Douglas C. Engelbart da una visión diferente del futuro arquitectónico, asociando diseños basados en objetos con parámetros y una base de datos rel. Años después, este concepto es tomado por la empresa Húngara, Graphisoft, la cual lanza en 1984, dos años después de su fundación, el primer software BIM en el mundo,

denominado ArchiCAD. Cabe resaltar que este lanzamiento fue dos años después que la puesta en marcha del AutoCAD 2D (Eyzaguirre, 2015, p.6)

En 1986 apareció el primer documento que presentaba explícitamente el concepto de Building Information Modeling - BIM - no obstante, se considera que estas metodologías comenzaron a desarrollarse a partir de un concepto introducido por el Profesor Chuck Eastman en 1975 del Departamento de Arquitectura del Georgia Institute of Technology, quien se considera el padre de BIM. Eastman evidenció que en los procesos de diseño y construcción, se desperdiciaba mucho tiempo modificando y actualizando planos y dibujos cuando se requería hacer una modificación a los existentes y señaló que “Cualquier cambio realizado en un plano o dibujo de un arreglo debería hacerse sólo una vez y los demás dibujos derivados del mismo arreglo de elementos se actualizarían automáticamente” (Mojica y Valencia, 2012, p.26).

Hasta esta parte de la historia, BIM se presenta como un modelamiento paramétrico, una representación tridimensional, desde un punto de vista arquitectónico, donde su principal objetivo es su representación en planos y que a la vez puedan visualizarse en tres dimensiones (con parámetros básicos). Con la invención de los computadores y el CAD, personajes visionarios como los mencionados buscaban romper paradigmas de la época, aunque sus intentos fueron fallidos dio inicio a lo que hoy conocemos la metodología BIM como un sistema multidimensional, su implementación en la actualidad en los proyectos de todo tipo es más realizable y factible en comparación a la implementación del CAD; ello se debe a la globalización de la información, el acceso a computadores, la tecnología de información, entre otros. y muchas empresas han incorporado esta metodología en sus proyectos. Muchos han logrado la estandarización total y parcial de sus proyectos públicos con este sistema BIM, y otros países como el nuestro están en busca de la estandarización en los proyectos públicos.

En el año 2000 K. Boo y M. Fisher lograron una modelación 4D para un edificio de oficinas a partir de un modelo 3D asociado a una programación de diagramas de Gantt que empleaba el método de la ruta crítica (CPM). En 2003 aplicaron modelos e-work para automatizar sistemas de gestión de materiales de construcción: cantidades de obra, licitaciones y revisiones de materiales, pero no fue sino hasta el 2007 que se logró ligar las cantidades de obra a la programación al incorporarlas a las simulaciones. Así se establecieron las bases para la modelación paramétrica que conjuga las propiedades geométricas de la modelación 3D con diversas características que se pueden asignar a esas formas tridimensionales y que son de gran utilidad en la planeación, diseño y ejecución de proyectos de construcción: propiedades de materiales, costos unitarios, tiempos de instalación, entre otros. (Mojica y Valencia, 2012, p.28).

A partir del año 2005, según el estudio del Smart Market Report 2013, empieza a tomar fuerza los sistemas BIM, teniendo hoy en día varias alternativas en cuanto a plataformas y software para la implementación de este. Entre las más conocidas tenemos Autodesk Revit, ArchiCAD, Tekla, BentleySystems, Nemetschek AllPlan y Vico Software. (Eyzaguirre, 2015, p.6).

En la Figura 21, mostramos el proceso histórico del BIM.



Figura 21. Proceso histórico del BIM
Fuente: Elaboración propia

2.3.9.2. Definición de BIM

Según Moreno (2017, p.1), “BIM puede ser visto como un proceso virtual que abarca todos los aspectos, disciplinas y sistemas de cada una de las especialidades dentro de un solo modelo virtual”

Según Coloma (2014, p.10) “BIM es el acrónimo de Building Information Modeling (modelado de la información del edificio) y se refiere al conjunto de metodologías de trabajo y herramientas caracterizado por el uso de información de forma coordinada, coherente, computable y continua; empleando una o más bases de datos compatibles que contengan toda la información en lo referente al edificio que se pretende diseñar, construir o usar. Esta información puede ser de tipo formal, pero también puede referirse a aspectos como los materiales empleados y sus calidades físicas, los usos de cada espacio, la eficiencia energética de los cerramientos, etc.”

BIM es un sistema de gestión de información, como tal produce y almacena información que sirve para operar en las diferentes fases del ciclo de vida de las construcciones (concepción de la idea, diseño, planificación, construcción, uso, mantenimiento y demolición). BIM, representa la integración de todas las especialidades (Arquitectura, estructuras, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, entre otros) en un modelo virtual que contiene información que va desde los agentes que intervienen en el proceso, modelo propio de la construcción, aspectos técnicos, estructurales, de instalaciones, de eficiencia energética, económicos, de materiales, comerciales, fases de ejecución, mantenimiento, administración, programación, costos etc. por lo cual es considerado un modelo multidimensional. BIM como una metodología de trabajo, se define por su cultura colaborativa y como una herramienta de integración de todos los agentes del proceso de construcción y diseño, permitiendo una mejor gestión de comunicación

y toma de decisiones. Y en su uso existe costo-beneficio, velocidad y facilidad de manejo de información.

2.3.9.3. Conceptos BIM

Modelo paramétrico

Un modelo paramétrico es una representación digital de un objeto a la cual se le ha incorporado reglas, características y definiciones que determinan el modo en que los elementos componentes del modelo se relacionan entre sí en el espacio virtual.

Características

- Debe ser un modelo digital
- Espacial en 3D
- Los componentes deben ser identificables.
- Debe ser paramétrico
- Compatible para realizar análisis posteriores
- Consistentes, debe permitir su actualización automática.
- Fácil de coordinar
- Cuantificable y dimensionado
- Accesible para la totalidad de los implicados
- Manejable en su uso para todas las fases del proyecto.

Ciclo de vida de un proyecto

El ciclo de vida de un proyecto de construcción está constituido por las etapas que atraviesa una edificación desde su concepción hasta el fin de su vida útil. Para los procesos BIM el ciclo de vida de las edificaciones se sintetiza en el diagrama que presenta la compañía Autodesk en un video titulado “BIM for the Building Lifecycle”. Según esta casa de diseño de software, la necesidad de controlar la fase

operativa de la edificación reside en que los mayores costos se presentan justamente en esta etapa, para ilustrar, señalan que en los Estados Unidos durante el ciclo de vida de un edificio los costos de construcción y diseño representan aproximadamente entre el 5% y el 10% de los costos totales, el resto son costos de operación y mantenimiento. Al implementar un proceso BIM en un proyecto cuyo resultado será una edificación, se determina previamente el alcance. Un proceso BIM completo cubre todas las etapas del ciclo de vida de la edificación controlando los múltiples subprocesos que ocurren en cada una. BIM puede ser considerado como una nueva metodología para administrar el ciclo de vida de una edificación con un enfoque en el impacto ambiental, en el diseño y la documentación. (Mojica Arboleda. 2012) (ver Figura 22).

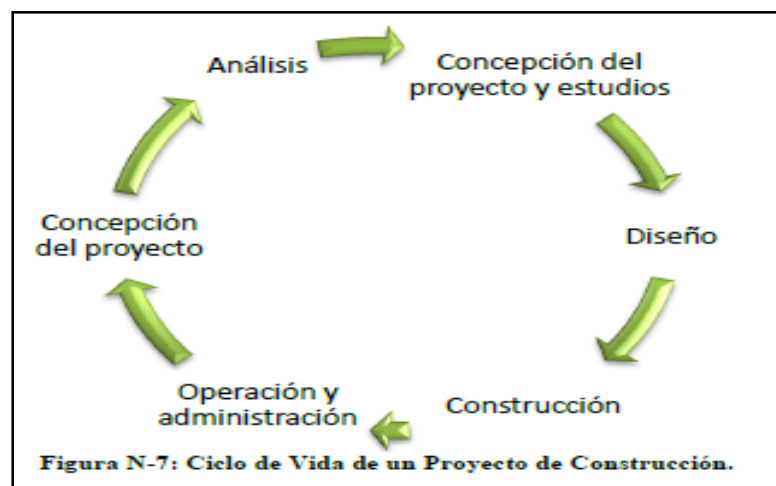


Figura 22. Ciclo de vida de un proyecto de construcción (edificaciones)
Fuente: Mojica,A. (2012). “Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá”

Interoperabilidad

El intercambio de información es uno de los pilares que soportan los procesos BIM. Aunque en la bibliografía especializada se encuentran diversas definiciones del

término, la definición de interoperabilidad radica en la posibilidad de compartir información entre los involucrados en un proceso BIM que es facilitada por la compatibilidad de las herramientas. La interoperabilidad es prerequisite para hacer multi-dimensional a BIM. Tanto la obtención de cantidades de obra como los costos y los análisis de eficiencia energética, ventilación, iluminación, eficiencia térmica, entre otros, requieren de intercambio de información común entre programas especializados para cada tarea.

Constructabilidad

En términos de habilidad, cuando el diseño facilita la construcción de la obra, el proceso es eficiente, económico y se obtienen los niveles de calidad esperados con los materiales, componentes y sub-ensambles. Así mismo la viabilidad de construir el proyecto depende en su mayor parte de esta habilidad. A través de un diseño acertado se puede hacer análisis de inversión utilizando herramientas BIM que brinden claridad sobre los objetivos globales del proyecto y la forma de alcanzarlos, logrando reducir los imprevistos y la incertidumbre en cuanto a presupuesto y tiempo de construcción (Mojica.2012)

Diseño colaborativo e integración de proyectos

Uno de los pilares fundamentales de BIM es la posibilidad de tener profesionales de diversas especialidades trabajando en un único archivo digital que constituye el diseño final del proyecto, se trata de una metodología que logra integrar las diversas áreas de diseño involucradas en el proyecto de construcción. Mediante herramientas BIM cada uno de los profesionales que diseñan pueden trabajar sobre un mismo modelo que se actualiza periódicamente en lapsos breves (Vandezande et al., 2011).

2.3.9.4. Dimensiones de BIM

- **Conceptualización (1D):** Partimos de una idea y definimos las condiciones iniciales, la localización, superficie, volumetría y costes.
- **Dibujo en plano (2D):** Preparamos el software para modelar; planteamos los materiales; definimos las cargas estructurales y energéticas.
- **Modelo tridimensional (3D):** A partir de toda la información recopilada se genera el modelo 3D que nos servirá como base para el resto del ciclo de vida del proyecto. Es más que una representación gráfica de la idea. El modelo 3D no solo es algo visual, sino que incorpora toda la información que se necesitará para las siguientes fases (BIM).
- **Programación(4D):** A lo que hasta ahora podría considerarse algo estático se le aporta la dimensión del tiempo. De modo que podemos definir las fases del proyecto, establecer su planificación temporal; así como realizar simulaciones de parámetros temporales; ciclo de vida, sol, viento, energía, etc.
- **Control de costos (5D):** Se trata del control de costos y estimación de gastos del proyecto. El principal objetivo de esta dimensión es mejorar la rentabilidad del proyecto.
- **Sostenibilidad(6D):** En ocasiones llamada BIM Verde, consiste en simular las posibles alternativas del proyecto para finalmente llegar a la alternativa óptima.
- **Gestión de operaciones(7D):** Podría decirse que se trata del manual que hay que seguir durante la vida del proyecto, una vez construido, para el uso y mantenimiento del mismo; inspecciones, reparaciones, mantenimientos, etc.

En la Figura 23 se muestra un esquema de las dimensiones BIM y en la Figura 24 se muestra las características de cada una y los elementos asociados a la gestión de la construcción.

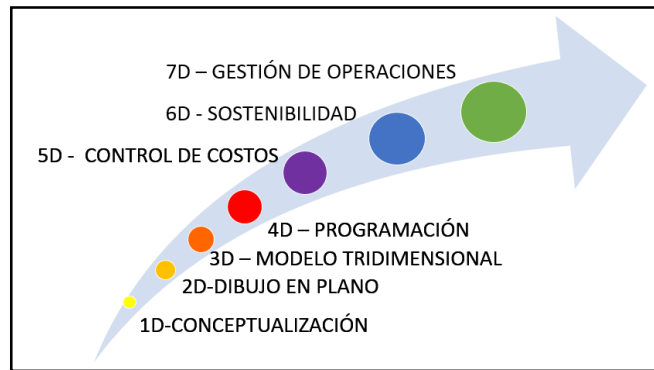


Figura 23. Dimensiones BIM
Fuente: Elaboración propia

Dimensión	Elemento Característico	Elementos Asociados
2D	Documentación.	Planos, esquemas, etc.
3D	Espacio tridimensional.	Visualización.
4D	Tiempo.	Programación de obra.
5D	Costo.	Presupuestos.
6D	Aplicaciones operacionales y de diseño.	Análisis de eficiencia energética, ventilación, iluminación, análisis estructural, etc.
7D	Aplicaciones relacionadas.	Logística, contratación, compras, manejo de proveedores.

Figura 24. Dimensiones de BIM y sus elementos asociados a la gestión
Fuente: Mojica (2012). *“Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá”*

2.3.9.5. Nivel de desarrollo

La AIA (American Institute of Architects) decidió por un sistema para medir la cantidad y calidad de información, inicialmente se denominó “Nivel de Detalle”, pero este fue cambiado por “Nivel de Desarrollo” en el 2013.

- **LOD 100:** El modelo del elemento puede ser representado gráficamente en el modelo general con un símbolo u otra representación genérica, pero no cumple los requisitos para LOD 200. La Información en relación con el elemento de modelo (es decir, el costo por metro cuadrado, el tonelaje de la climatización,

etc.) puede ser derivado de otros elementos del modelo. Para una lámpara, sería un símbolo al nivel del piso, que permite computarla y valorarla.

- **LOD 200:** El modelo del elemento se representa gráficamente en el modelo como un sistema genérico, objeto, o del conjunto con cantidades aproximadas, tamaño, forma, ubicación y orientación. Puede contener Información no gráfica. La lámpara posee una forma genérica, tamaño, forma y localización aproximada.
- **LOD 300** El modelo del elemento se representa gráficamente en el modelo como un sistema específico, objeto o montaje en términos de cantidad, tamaño, forma, ubicación y orientación. Puede contener Información no gráfica. La lámpara posee 2×4 luminarias, posee un tamaño, forma y localización definidos.
- **LOD 350** El modelo del elemento se representa gráficamente en el modelo como un sistema específico, objeto, o montaje en términos de cantidad, tamaño, forma, orientación, e interfaces con otros sistemas del edificio. Puede contener Información no gráfica. La lámpara es marca LLL, modelo MMM, de tamaño, forma y localización específicos.
- **LOD 400** El modelo del elemento se representa gráficamente en el modelo como un sistema específico, objeto o montaje en términos de tamaño, forma, localización, cantidad y orientación con detalles, fabricación, ensamblaje y la información de la instalación. Puede contener Información no gráfica. La lámpara, además de la definición de LOD 350, tiene un detalle de montaje especial, por ejemplo, sobre un plafón decorativo.
- **LOD 500** El modelo del elemento es una representación verificada sobre el terreno en términos de tamaño, forma, localización, cantidad y orientación Puede contener información no gráfica.

2.3.9.6. BIM en la industria de la construcción

En cualquier proyecto de diseño y construcción existen infinitos participantes, existen infinitas interacciones entre partes. Los proyectos son multidisciplinarios e incluyen información que no todos manejan. Entonces, ¿quién es responsable de qué en cada proyecto? ¿hasta dónde llega mi responsabilidad y dónde empieza la tuya? BIM permite ordenar la complejidad de este proceso. (Gonzalo De la Parra García, Arquitecto y Profesor del área BIM en la Pontificia Universidad Católica de Chile).

Beneficios de la aplicación BIM en proyectos de construcción:

- Ofrece un modelamiento y planos constructivos (actualizados).
- Estimación de la cantidad de materiales (metrados).
- Detección de incompatibilidades.
- Simplifica procesos de cuantificación.
- Disminuye el error por factor humano.
- Disminución considerable de los errores en la documentación de obra que se traduce en ahorro de tiempo (evitar rehacer trabajo), ahorro de dinero y se asegura la calidad.
- Posibilidad de evaluar alternativas y modificaciones usando los modelos paramétricos en un ambiente multi-dimensional que favorece la toma de decisiones. Se asocia este beneficio a la necesidad de que los proyectos aseguren su constructabilidad. BIM permite evaluar eficientemente las alternativas para determinar su viabilidad para ser construidas.
- Interacción al más alto nivel de los proyectistas, asociados, clientes e involucrados en la construcción (Cuerpo técnico y personal obrero)
- Capacidad de visualización 3D que permite interactuar con el proyecto en un entorno cuyos elementos cumplen reglas, leyes y se relacionan con los demás elementos del ensamble.

- Simulación 4D
- Interacción entre los especialistas (Ingenieros y Arquitectos) y otros agentes del proyecto (diseño o construcción)
- Diseñar, planear, ejecutar y operar un proyecto de construcción en un ambiente interoperable que favorece el intercambio de información entre los profesionales involucrados en cada una de las etapas (intercambio eficiente de información entre software especializado). Así con un mismo modelo se puede llevar a cabo análisis estructural, análisis de eficiencia energética, análisis de ventilación, obtención de cantidades de obra, etc.
- Facilita el control de inventarios, contratistas.
- Genera base de datos.

2.3.9.7. Reuniones colaborativas ICE

Una de las definiciones de ingeniería concurrente que está más difundida es la proporcionada por el Instituto de Análisis de Defensa Americano (Winner, 1998): “La ingeniería concurrente es un camino sistemático hacia el diseño integrado concurrente de los productos y sus procesos relacionados, incluyendo producción y apoyo. Este camino pretende motivar a los encargados del desarrollo para que se consideren, desde el principio, todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde la concepción hasta su disposición, incluyendo calidad, coste, tiempo y requisitos del usuario. Estas Reuniones ICE vienen implementándose en los proyectos de construcción con la participación de los especialistas para resolver las Observaciones realizadas en los proyectos como incompatibilidades, detección de interferencias, etc.

2.3.10. Análisis de la productividad en la construcción en proyectos de edificación en el Perú

En el año 2011, la empresa Graña y Montero, empleó BIM para modelar en 3D el proyecto Universidad del Pacífico. Este modelo se realizó para las especialidades de estructuras, arquitectura, agua contra incendio, instalaciones sanitarias, eléctricas, de calefacción, ventilación y extracción de aire, que sirvió para detectar interferencias y para reuniones de avance con los capataces. Asimismo, se hizo una simulación 4D de la construcción de la estructura.

En el 2012 se fundó el Comité BIM del Instituto de la Construcción y Desarrollo (ICD) que pertenece a la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO); está integrado por proyectistas y constructores. Este comité busca impulsar las buenas prácticas en el modelamiento de proyectos BIM, constituir una biblioteca virtual con información categorizada adaptada a la realidad peruana, difundir los avances en el uso de herramientas, experiencias y resultados de la aplicación de BIM, promover las capacitaciones en herramientas BIM en los distintos especialistas y participar en la generación de un mercado con mayor nivel técnico, para beneficio de todos los involucrados.

Proyectos BIM en Perú

El uso de la herramienta BIM viene siendo impulsado y empleado por renombradas constructoras en el Perú como son Graña y Montero, AESA, MARCAN, COSAPI y entre otras. Debido a esto la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO) ha conformado el Comité BIM, este un grupo técnico que incorpora profesionales que forman parte en todas las etapas de un proyecto, incluyendo a clientes, proyectistas y constructores, con experiencias directas en la aplicación del BIM en el Perú y en proceso de desarrollo. Con la creación de este comité se busca impulsar las buenas prácticas en el modelamiento de proyectos BIM, constituir una biblioteca virtual con información categorizada adaptada a la realidad peruana, difundir los avances en el uso de herramientas, experiencias y resultados de la aplicación del BIM,

promover las capacitaciones de herramientas BIM en los distintos especialistas y participar en la generación de un mercado con mayor nivel técnico, para beneficio de todos los involucrados.

A continuación, se lista algunos proyectos realizados en el Perú con la metodología BIM:

- Nueva Sede Institucional Del Banco De La Nación.
- Proyecto Línea 2 del Metro de Lima.
- Proyecto Edificio Educativo Universidad del Pacífico.
- Proyecto Nuevo Campus Utec.

2.3.11. BIM y Lean Construction como sistema para la mejora de la productividad

La filosofía Lean aporta en la creación de valor para el cliente, eliminando todo lo que no aporte al producto, optimizando el uso de recursos, y en la búsqueda constante de mejores procesos de transformación; mientras que la metodología BIM se enfoca en aumentar la colaboración entre los actores, bajo la utilización de herramientas de información las cuales gestionan, describen y establecen características del proyecto, formando un entorno de trabajo más favorable para la mejor toma de decisiones, teniendo como fin la más cercana aproximación a la completa definición del proyecto, convirtiéndolo en un proyecto confiable.

La metodología BIM busca la participación desde la fase de diseño de todos los profesionales del proyecto. Mediante el uso de modelos BIM, los equipos de diseño podrán comunicar visualmente la apariencia del proyecto al cliente, asimismo compartir con los demás especialistas su funcionamiento y diseño, logrando intercambiar conocimientos y verificar si el diseño es el adecuado.

En lo que corresponde al “Sistema del Ultimo Planificador” o “Last Planner System”, el cual centra sus esfuerzos en garantizar un flujo de trabajo constante,

mediante planificaciones intermedias con mayor confiabilidad y protegiendo el desarrollo de toda actividad de construcción (Fischer, Reed, Khanzode, & Ballard, 2006); también estará influenciado por la incorporación de tecnologías BIM-4D. A través de estas, se optimizaría el análisis de restricciones, siendo de gran utilidad para analizar y levantar las distintas restricciones presentes en el sitio, tales como trabajos previos necesarios o falta de seguridad. De esta manera, en comparación a un registro tradicional, se lograría que los equipos de trabajo identifiquen exactamente y visualmente cuál es la restricción, resultando en soluciones más efectivas.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El presente trabajo de Tesis corresponde al siguiente tipo de investigación:

Investigación adaptiva: El tipo de investigación utilizada es la adaptiva, consiste en la adaptación de la filosofía de Lean Construction, las técnicas o herramientas para el control de la productividad basadas en los principios de esta filosofía y la adaptación de la metodología BIM. Su aplicación se limita a proyectos de edificación a nivel local. Este tipo de investigaciones es muy importante en sistemas productivos y donde los beneficiarios finales están involucrados en la investigación y en este caso se medirá la productividad en la construcción de edificaciones.

El presente trabajo de Tesis utilizará el siguiente método de investigación:

- Investigación cuasi-experimental: Utilizamos este método, ya que los tratamientos se realizarán a la variable independiente; “Sistema de Gestión BIM-LEAN”, la cual propone un plan de productividad, basada en técnicas y metodologías, que se aplicará en el proyecto de edificación, dicho sistema de gestión busca mejorar la productividad. Evidenciando la relación causa-efecto.
- Investigación Explicativa o Causal: Mediante este tipo de investigación se requiere la combinación de los métodos cuantitativo y cualitativo, tratando de responder por qué la productividad es importante en la industria de la construcción mediante la recolección y procesamiento de información en campo.

3.2. Población y muestra

La aplicación del presente trabajo de investigación se realizará en el proyecto Residencial Los Nogales II, edificio de 10 niveles y semisótano, 49 departamentos, ubicado en Urbanización San Judas Tadeo Mz. C Lt. 12, Distrito de Tacna, Provincia de Tacna, Departamento de Tacna.

El estudio de la productividad se realizará a nivel casco de la construcción, de la cual el primer piso será objeto de estudio con el sistema tradicional, el segundo y tercer piso serán objeto de aplicación y estudio de la implementación del sistema propuesto. Se tomará partidas principales para su análisis; concreto, encofrado/desencofrado, acero corrugado, instalaciones sanitarias e instalaciones eléctricas.

3.2.1. Nivel de incidencia de presupuesto de las actividades

Para determinar la muestra, se tomó como punto de partida la identificación de las especialidades de mayor incidencia en cuanto al presupuestos, ya que al mejorar la productividad de estas actividades (mayor incidencia) se generará mayores beneficios sobre el proyecto (reducción de costos y tiempos) (Tabla 1).

Se realizó un análisis de incidencia presupuestal de las especialidades (trabajos preliminares, movimiento de tierra, concreto simple, estructuras, arquitectura, instalaciones eléctricas e instalaciones sanitarias), determinándose así las de mayor incidencia la especialidad de estructuras, la cual consiste en la construcción de elementos como columnas, placas, vigas, escaleras, muros y losa, las cuales conllevan a las siguientes actividades principales; colocación de acero, encofrado, colocación de concreto (ver Figura 25).

Tabla 1. Presupuesto resumen del Proyecto Residencial los Nogales II
Fuente: Elaboración propia

PRESUPUESTO RESUMEN DEL PROYECTO RESIDENCIAL LOS NOGALES II					
Descripción	Valor	IGV (18%)	Total	% incidencia	% acumulado
Trabajos preliminares	7 424,2	8 760,6	16 184,8	1%	1%
Movimiento de tierras	44 307,7	52 283,1	96 590,8	4%	5%
Concreto simple	5 710,6	6 738,5	12 449,1	1%	5%
Estructuras	607 168,2	716 458,5	1 323 626,7	55%	60%
Arquitectura y acabados	282 166,3	332 956,2	615 122,5	25%	85%
Instalaciones Sanitarias	98 022,5	115 666,6	213 689,1	9%	94%
Instalaciones Eléctricas	66 579,8	78 564,2	145 144,0	6%	100%
Costo Directo	1 111 379,3	1 311 427,7	2 422 807,0	100%	100%

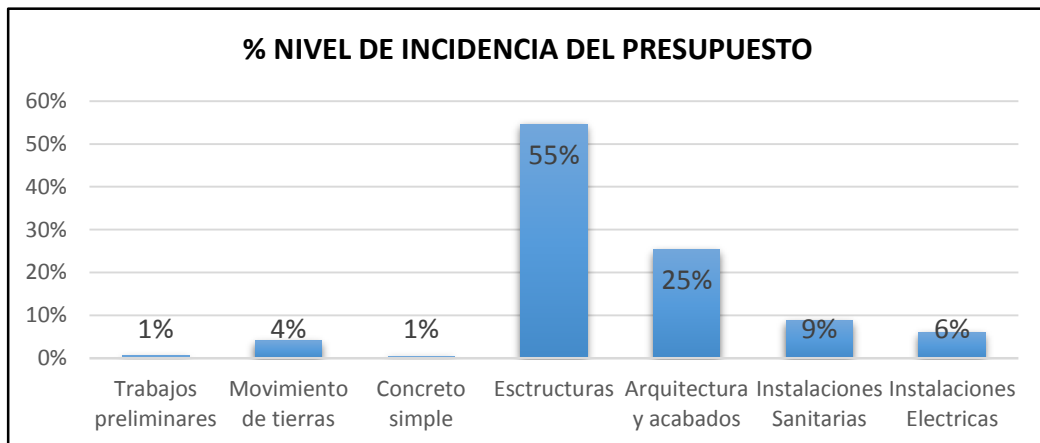


Figura 25. Diagrama de Pareto del presupuesto resumen del proyecto
Fuente: Elaboración propia

3.3. Técnicas y herramientas

Se realizará el seguimiento y análisis del método tradicional, para el cual se desarrolló un plan de control y seguimiento, como se muestra en el Cuadro 04.

El sistema de gestión BIM-LEAN, propone un plan de productividad, consiste en la aplicación de técnicas y metodologías como se muestra en el Cuadro 06.

Cuadro 4. Plan de control y seguimiento del sistema tradicional
Fuente: Elaboración propia

CONTROL Y SEGUIMIENTO SISTEMA TRADICIONAL			
FASES DE LA GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	ACTIVIDADES	FORMA DE MEDICIÓN Y CONTROL	DOCUMENTOS DE SALIDAD
PLANIFICACIÓN	Programación	Programación Gantt	
EJECUCIÓN	Avance diario	Análisis de restricciones	Análisis de sus causas.
CONTROL	Avance semanal	Metrado diario	Tren de actividades /avance diario BIM
RETROALIMENTACIÓN	Cartas balance	Seguimiento diario de actividades	Porcentaje de nivel de actividad
	Círculo fiel	Metrado diario	Ratios de productividad / Pérdidas o ahorros en MO

Cuadro 5. Plan de productividad del Sistema de Gestión BIM/LEAN.
Fuente: Elaboración propia

PLAN DE PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN			
FASES DE LA GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	ACTIVIDADES	DOCUMENTOS DE ENTRADA	DOCUMENTOS DE SALIDAD
PLANIFICACIÓN	Plan maestro	Presupuesto	Gráficos de comparación entre las actividades planificadas semanalmente y lo ejecutado.
	Sectorización	Modelo BIM sectorizado	Balance de cargas de trabajo.
EJECUCIÓN	Look Ahead	Tren de actividad	Planificación anticipada.
	Plan semanal	Análisis de restricciones	Planificación semanal de actividades realmente ejecutables.
	Plan diario	Plan semanal	Órdenes de trabajo diario.
CONTROL	Avance semanal	Metrado diario	Gráficos de comparación entre la planificación semanal (Lookahead), plan (diagrama gantt) y lo ejecutado a la semana.
	PAC semanal	Plan Semanal / avance semanal	Causas de no cumplimiento.
RETROALIMENTACIÓN	Trazabilidad de PAC	PAC semanal	Porcentajes de asignaciones complementadas.
	Círculo fiel	Metrado diario	Ratios de productividad / Pérdidas o ahorros en MO

3.4. Secuencia metodológica

Se seguirá la siguiente secuencia de trabajo:

- I. Revisión bibliográfica. - Se realizará la búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas: Tesis, artículos, páginas web y libros.
- II. Desarrollo del marco teórico. - Se realizará una revisión bibliográfica de Tesis, páginas web y libros publicados por diferentes organizaciones Internacionales, nacionales y locales.
- III. Desarrollo de la metodología de trabajo. - En esta parte del desarrollo de la Tesis se realizará un plan de producción, generado a partir de técnicas y metodologías de la Gestión de Productividad (BIM y LEAN), para el control del proyecto de edificación “Residencial Los Nogales II”. Se tomarán datos en obra, haciendo

un seguimiento inicial a las actividades para luego implementar las técnicas y metodologías de gestión de la productividad y hacer seguimiento en campo (Objeto de estudio 2do y 3er piso). Anterior a esta se realizará una descripción y análisis de los resultados del sistema tradicional, para lo cual nos limitaremos a tomar datos y seguir los avances del primer piso de la construcción del edificio Los Nogales II.

IV. Análisis de resultados. - La investigación culmina con el análisis de la productividad con respecto a la confiabilidad de la programación y su relación costo/tiempo.

3.5. Operacionalización de variables

Se muestra la Matriz de Operacionalización de variables en el Cuadro 06.

3.6. Descripción del proyecto en estudio

3.6.1. Descripción de la empresa ejecutadora del proyecto

Inmobiliaria Casta es una empresa de accionistas peruanos, con 07 años trabajando en la heroica ciudad de Tacna, con tres proyectos ejecutados y vendidos con éxito en la ciudad. Una empresa que cree en el progreso de Tacna está en su propia gente, y que merecen una vida mejor y cada vez más providente, es por ello que trabajan para brindarle un mejor nivel de vida y para ofrecerles una inversión rentable a través del tiempo.

Cuadro 6: Matriz de Operacionalización de variables para proyecto de tesis

Fuente: Elaboracion propia

MATRIZ DE CONSISTENCIA PARA PROYECTO DE TESIS				
Título de tesis: "MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN PROYECTOS DE EDIFICACIÓN MEDIANTE EL SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN"				
Universidad: Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann				
Nombre y apellidos del tesista: Lizbeth Sara Choquesa Lopez				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS	VARIABLE INDEPENDIENTE	VARIABLE INDEPENDIENTE
Existe un desconocimiento y falta de implementación de sistemas modernos de gestión para la mejora de la productividad en proyectos de edificación, por lo que es habitual que las construcciones de edificaciones presenten desperdicios, sobretiempos, deficiente calidad y baja rentabilidad..	Dar a conocer un sistema moderno de gestión en la productividad en proyectos de edificación.	El conocimiento sobre del Sistema de Gestión BIM-LEAN, generará una forma distinta de ver la gestión de la productividad en proyectos de edificación.	XI: Sistema de gestión BIM-LEAN	Comparación de sistemas tradicional vs propuesto.
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
	OE 01: Impartir el conocimiento de los conceptos y aplicaciones de la metodología BIM, Filosofía Lean Construction, herramientas y técnicas basadas en estos sistemas desde el punto de vista de la productividad.	H 01: El conocimiento de los conceptos y aplicación de las herramientas de la metodología BIM y la filosofía Lean Construction, serán útil para un mayor manejo de información sobre los sistemas modernos y mejor comprensión sobre la aplicación del sistema.	Y1: Mejora de la productividad	Gráfico comparativo de avances semanales vs Look Ahead vs plan maestro, gráfico comparativo de avances mensuales vs plan maestro, Porcentaje de plan cumplido, Gráficos de rendimientos , pérdidas o ahorros. Análisis de tiempos de construcción por piso, análisis de pérdidas o ahorro.
	OE 02: Proponer un sistema de gestión de la productividad basado en la filosofía Lean Construction y la metodología BIM; "Sistema de gestión BIM-LEAN".	H 02: La sinergia de la Filosofía LEAN y herramientas con la metodología BIM, creará un sistema muy beneficioso para la gestión de la productividad.		
	OE 03: Mejorar la productividad con la implementación del "Sistema de gestión BIM-LEAN" en un proyecto de edificación existente en la ciudad de Tacna.	H 03: La implementación del Sistema de gestión BIM-LEAN, evidenciará una mejora en la productividad y la relación de tiempo/costo en los proyectos de edificación.		
OE 04: Realizar una comparación en relación a la gestión de la productividad entre el sistema tradicional y el sistema de gestión propuesto.	H 04: La comparación del sistema tradicional y el Sistema de Gestión BIM-LEAN, notará los beneficios y ventajas del sistema propuesto.			

3.6.2. Generalidades

Proyecto: Residencial los Nogales II (Vivienda multifamiliar)

Propietario: Inmobiliaria CASTA S.R.L

Ubicación: Provincia : Tacna

Distrito : Tacna

Urbanización : San Judas Tadeo

Calle : 04

Manzana : C

Lote N° : 12

Linderos:

El terreno tiene los siguientes linderos y colindantes.

Por el Frente : Con la calle Nro 04 en un tramo de línea recta de 20,00 m .

Por la Derecha : Con el lote Nro 14 en un tramo de línea recta de 30,00 m .

Por la Izquierda : Con el lote Nro 11 en un tramo de línea recta de 30,00 m .

Por el Fondo : Con el lote Nro 22 en un tramo de línea recta de 20,00 m .

Área y perímetro

Área del Terreno : 600,00 m² .

Perímetro : 100,00 m .

3.6.3. Descripción del edificio

3.6.3.1. Ambientes

Semisótano: 16 estacionamientos, 08 depósitos, cuarto de basura, caja de escalera y ascensor

Primer nivel: 05 estacionamientos, recepción, ascensor y caja de escalera.

- Departamento 102: Sala, comedor, cocina, lavandería, estudio, dormitorio 01 y 02, SS.HH, dormitorio principal con baño y terraza.
- Departamento 103: Estar, sala, comedor, cocina, lavandería, estudio, dormitorio 01 y 02, SS.HH, dormitorio principal con baño y terraza.
- Departamento 104: Sala, comedor, cocina, lavandería, dormitorio 01 y 02, SS.HH, dormitorio principal con baño y terraza.
- Departamento 105: Sala, comedor, cocina, lavandería, dormitorio 01 y 02, SS.HH, dormitorio principal con baño y terraza.

Segundo al décimo nivel: Corredor, ascensor y caja de escalera.

- Departamento 201: Sala, comedor, cocina, lavandería, estudio, dormitorio 01 y 02, SS.HH, dormitorio principal con baño.
- Departamento 202: Sala, comedor, cocina, lavandería, estudio, dormitorio 01 y 02, SS.HH y dormitorio principal con baño.
- Departamento 203: Sala, comedor, cocina, lavandería, estudio, dormitorio 01 y 02, SS.HH y dormitorio principal con baño.
- Departamento 204: Sala, comedor, cocina, lavandería, estudio, dormitorio 01 y 02, SS.HH y dormitorio principal con baño.
- Departamento 205: Sala, comedor, cocina, lavandería, dormitorio 01 y 02, SS.HH y dormitorio principal con baño.

3.6.3.2. Sistema estructural

a. Columnas: Para estructurar nuestro edificio se utilizó placas y columnas, que se encuentran presentes en todos los pisos del edificio, ya que éstos serán el soporte del edificio siendo los encargados de transmitir las cargas hacia el suelo.

- b. Vigas:** Adicionalmente a las columnas tenemos vigas, la mayoría de las cuales sirven de unión entre columna haciendo las veces de amarre entre los elementos verticales, pero además existen otras vigas cuya importancia es mayor, ya que además de servir de amarre resisten cargas importantes provenientes de las losas. Estas vigas al ser de mayores dimensiones, ayudarán también al comportamiento del edificio de manera que trabajen como pórticos frente a sollicitaciones sísmicas.
- c. Losas macizas:** Otro elemento estructural de gran importancia son las losas o techos del edificio, éstos, para nuestro edificio en estudio, son de un tipo macizas. Las losas sirven de amarre a toda la estructura y su funcionamiento nos asegura un comportamiento de diafragma rígido más uniforme para la estructura, al permitir que todos los elementos de un mismo nivel se desplacen en la misma dirección.

3.6.3.3. Acabados

- Piso: Piso de cemento pulido, cerámico color blanco, porcelanato color beige.
- Puertas y Ventanas: Puertas de madera tipo contraplacadas, Metal y ventanas de vidrio crudo de 6 mm .
- Revestimientos: Tarrajeo frotachado con pintura látex.
- Baños: Baños completos nacionales con cerámico de color blanco.

3.6.3.4. Instalaciones sanitarias y eléctricas

- Instalación Eléctrica: corriente monofásica empotrada.
- Instalación Sanitaria: Tuberías de PVC SAP empotradas para agua fría, y tuberías de CPVC para agua caliente.

3.6.4. Organigrama de la obra

En la Figura 26 se muestra el organigrama de la empresa ejecutora del proyecto

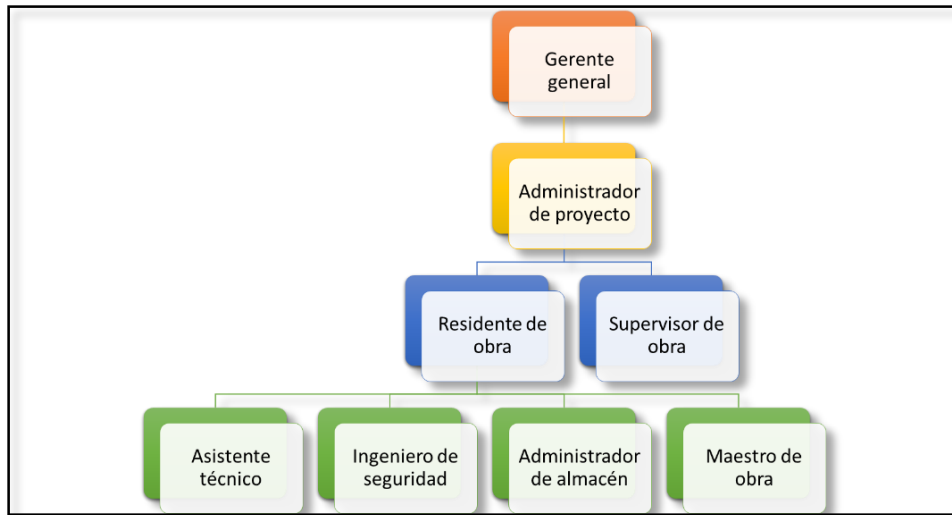


Figura 26. Organigrama de Inmobiliaria Casta
Fuente: Elaboración propia

3.6.5. Resumen de presupuesto

En el Tabla 2 mostramos el presupuesto del casco gris de la obra, donde vemos que las de mayor incidencia son de acero y encofrado, por lo cual en la presente Tesis realizaremos un análisis de pérdidas y ganancias en mano de obra de las actividades colocación de acero, encofrado y vaciado de concreto. El presupuesto total de la obra es de 1 376 998,86 soles.

Tabla 2: Presupuesto nivel casco gris del Proyecto Residencial Los Nogales II
Fuente-. Elaboración propia.

PRESUPUESTO NIVEL CASCO GRIS (1ER -10MO PISO)					
Item	PARTIDA	Und	Metrado	P.Unit.	Parcial
1	ESTRUCTURA				
01.01.0	COLUMNAS				0,00
01.01.01	COLUMNAS: CONCRETO FC=210 KG/CM2	m3	087	18,12	1 572,27
01.01.02	COLUMNAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	746,13	15,98	11 923,16
01.01.03	COLUMNAS: ACERO GRADO 60	kg	17 767,63	0,87	15 457,84
01.02.0	MUROS DE CONCRETO				
01.02.01	MUROS: CONCRETO FC=210 KG/CM2	m3	483,84	18,12	8 767,18
01.02.02	MUROS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	4 000,52	15,98	63 928,31
01.02.03	MUROS: ACERO GRADO 60	kg	56 888,94	0,87	49 493,38
01.03.0	VIGAS				
01.03.01	VIGAS: CONCRETO FC=210 KG/CM2	m3	313,58	18,12	5 682,07
01.03.02	VIGAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	1 997,39	15,98	31 918,29
01.03.03	VIGAS: ACERO GRADO 60	kg	58 380,00	0,87	50 790,60
01.04.0	LOSAS MACISAS				
01.04.01	LOSAS MACISAS: CONCRETO FC=210 KG/CM2	m3	563,50	18,12	10 210,62
01.04.02	LOSAS MACISAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	3 753,17	15,98	59 975,66
01.04.03	LOSAS MACISAS: ACERO GRADO 60	kg	49 117,11	0,87	42 731,89
01.05.0	ESCALERAS				
01.05.01	ESCALERAS: CONCRETO FC=210 KG/CM2	m3	33,30	18,12	603,40
01.05.02	ESCALERAS: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	210,00	16,98	3 565,80
01.05.03	ESCALERAS: ACERO GRADO 60	kg	3 981,76	0,87	3 464,13
01.06.0	TABIQUES				
01.06.01	TABIQUES: CONCRETO FC=175 KG/CM2	m3	503,71	17,12	8 623,52
01.06.02	TABIQUES: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	9 867,33	16,98	167 547,26
01.06.03	TABIQUES: ACERO GRADO 60	kg	20 721,39	0,87	18 027,61
2	INSTALACIONES ELECTRICAS				48 379,53
3	INSTALACIONES SANITARIAS				68 781,33
	COSTO DIRECTO				788 604,70
	GASTOS GENERALES Y DIRECCIÓN TÉCNICA	5,00%			39 430,24
	SUBTOTAL				828 034,94
	IGV	18%			149 046,29
	TOTAL				977 081,23

CAPÍTULO IV: SISTEMA TRADICIONAL

La gestión de la construcción en función de la productividad se enfoca en cuatro fases importantes: planificación, ejecución, control y retroalimentación. Para el éxito de este, es necesario gestionar de manera eficiente.

En el siguiente capítulo trataremos sobre el sistema tradicional y su forma de gestión en estas fases ya mencionadas. Se realizará la descripción y el análisis de este sistema en la construcción del edificio en el primer piso (nivel casco gris), por lo cual nos limitaremos a tomar datos y a observar. Cabe recalcar que, para el análisis de la productividad, identificaremos las principales restricciones de las actividades que afectaron el avance normal de la obra, describiremos el sistema de producción de las principales actividades. Para el estudio de la productividad utilizaremos circuito fiel, para analizar el avance real de las actividades principales y determinar pérdida o ganancia en base al número de horas hombres utilizadas con una comparación entre el rendimiento real, promedio y presupuestal. A continuación, mostramos un plan de control de seguimiento del sistema tradicional (ver Cuadro 7).

Cuadro 7: Plan de control y seguimiento del sistema tradicional
Fuente: Elaboración propia.

CONTROL Y SEGUIMIENTO SISTEMA TRADICIONAL			
FASES DE LA GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	ACTIVIDADES	FORMA DE MEDICIÓN Y CONTROL	DOCUMENTOS DE SALIDAD
PLANIFICACIÓN	Programación	Programación Gantt	
EJECUCIÓN	Avance diario	Análisis de restricciones	Análisis de sus causas.
CONTROL	Avance semanal	Metrado diario	Tren de actividades /avance diario BIM
RETROALIMENTACIÓN	Cartas balance	Seguimiento diario de actividades	Porcentaje de nivel de actividad
	Circuito fiel	Metrado diario	Ratios de productividad / Pérdidas o ahorros en MO

4.1. Planificación (Programación Gantt)

Es una fase importante ya que define la duración del proyecto y de las actividades, la cantidad de recursos necesarios del proyecto. Generalmente esta fase en el sistema tradicional se trabaja en un nivel superficial, como se mencionó con

anterioridad, existe niveles de planificación, siendo la planificación general la utilizada en este sistema, es decir que la planificación es global, teniéndose, así como una metodología de programación; Diagramas Gantt y de Ruta Crítica (CPM), estas técnicas se basan en gráficas de barra dentro de un calendario y la identificación de tareas críticas y aquellas que tienen holgura.

A continuación, mostramos la programación del proyecto en la Figura 27, donde se observa que la duración del primer piso es 33 días hábiles, iniciando el 8 de diciembre y culminando el 15 de enero del 2019, donde se tiene como principales actividades: Construcción de columnas, placas, tabiquería (concreto), vigas, losa maciza y escaleras, estas actividades se muestran de modo general incluyendo su trazado, colocación de acero, encofrado y vaciado de concreto, las instalaciones eléctricas y sanitarias, son incluidas de manera global desde el sótano al último piso.

Para este caso los hitos son los días que se termina de vaciar cada piso, estas fechas nos permite medir el avance del proyecto. El inicio de la construcción del primer piso fue el 23 de noviembre y culminando el 26 de diciembre teniéndose así una duración de 28 días hábiles y 5 días de diferencia entre el plan y lo ejecutado. Aun con el sistema tradicional y lo programado en el plan general se tiene una ganancia en tiempo.

4.2. Ejecución (restricciones)

Generalmente las decisiones se toman de manera general, entre el residente de obra y el maestro de obra, teniendo de referencia el plano en planta y dividiendo los días que tomara cada actividad según la experiencia de ambos agentes, dichas decisiones son tomadas de manera verbal (sin ningún compromiso) y además el plan diario de las actividades son tomadas por los mismos jefes de cuadrilla, acomodándose a su conveniencia, provocando desorden, retrasos (al no liberar frentes de trabajo

necesario), entre otros. El problema principal de ello es la falta de comunicación entre todos los agentes y de realizar un plan semanal y diario común para todos.

En los siguientes párrafos mostraremos un cuadro de los principales desperdicios presentados en la construcción del primer piso, además se mostrará un segundo cuadro con las principales restricciones dadas en obra, y se determinará el porcentaje de responsabilidad de cada agente en las restricciones.

A continuación, se muestra el Cuadro 8 de las causas de la improductividad (desperdicios) en la construcción del edificio Los Nogales II del primer piso a nivel casco gris. La de mayor incidencia para la causa de la improductividad es por los problemas de recursos, ya que, al no abastecer con los materiales para su construcción, se produjo paralizaciones en la obra, otro problema fue la lentitud de los trabajos de encofrado ya que esta actividad define el avance de las otras actividades, considerándose así una actividad crítica. También se muestra el Cuadro 9, restricciones de obra, donde visualizamos los principales problemas ocasionados cada semana y los agentes involucrados (responsables) según el área que corresponden y, además se trató de puntualizar las acciones correctivas y acuerdos.

Cuadro 8: Desperdicios de obra del 1er nivel de lo Nogales II
Fuente: Elaboración propia

DESPERDICIOS EN OBRA	
Tipos	Descripción de los problemas
Problemas de diseño	En la parte estructural algunas placas no tienen detalle de acero.
	Los detalles de vigas no están bien definidas.
	Los muros de concreto de cerramiento no presentan detalles.
	El sistema estructural no está bien definido.
	Incompatibilidad entre los planos de estructuras y arquitectura en; espesor de losa, altura muros, posición de ventanas de la parte frontal del edificio, posición de la rampa de discapacitados, detalle de escalera (número de pasos y longitud).
	La altura de los pisos es muy bajo por lo cual (2,45 m de nivel de piso terminado a nivel de losa superior) por acuerdo de la entidad y residencia se aumentó 15 cm .

	<p>La dimensiones de las cajas de pase de instalaciones eléctricas eran mayores al espesor del muro, por lo cual se cambió el tipo de caja por uno de menor espesor y se añadió otra caja más.</p> <p>El muro para la ubicación de los medidores era de menor espesor, por lo cual se decidió aumentar el espesor de estas.</p> <p>Se replanteó algunas posiciones de las instalaciones sanitarias de desagüe por el exceso de distancia y no cumplía con las pendientes, ya que el espesor de las losas es de 15 cm.</p>
Problemas de planificación y/o control	<p>Al inicio de obra no se contaba con un cronograma general actualizado.</p> <p>No se cuenta con ninguna metodología de control y planificación. Las programaciones diarias los tomaba el ingeniero residente en conjunto con los subcontratas.</p> <p>Se trabajaba con fechas tentativas en los hitos, los cuales no eran respetadas debido a la falta de compromiso de ambas partes.</p>
Ineficiencia de administración y área técnica	<p>La comunicación es jerarquizada es decir de cliente a entidad, entidad con el ingeniero residente y el ingeniero residente con los subcontratistas, los subcontratistas con los jefes de cuadrilla.</p> <p>Cambio de personal del almacén constantemente, ineficiente manejo de inventarios.</p> <p>La obra no cuenta con un cuerpo técnico para el manejo de las programaciones, planificaciones, producción y control. El ingeniero residente maneja todas estas áreas de manera espontánea sin ninguna metodología o técnica, basándose en su experiencia laboral.</p> <p>El proyecto no cuenta con un supervisor permanente, las visitas de supervisión por parte de la entidad son eventuales.</p>
Procesos de construcción inadecuados	<p>El personal contratado para trabajos por casa, son en su mayoría son personas no capacitadas, por lo que realizan procedimientos inadecuados, en el caso de colocación concreto, los trabajos de encofrado, acero e instalaciones eléctricas y sanitarias fueron trabajos realizados por subcontratas que en su mayoría tienen años trabajando en su especialidad.</p> <p>El desorden en las áreas de los trabajos ha sido unos de los mayores problemas, sobretodo de parte de los carpinteros (trabajos de encofrado) y además que el área de trabajo es reducida y se tiene a muchas cuadrillas trabajando de manera paralela.</p> <p>Se observó que hay una falta de control de calidad de los trabajos.</p> <p>No se utilizó tecnologías sofisticadas, los trabajos para la construcción del edificio fueron en su mayoría artesanales, solo se hizo uso de concreto premezclado para las vigas, losa maciza y placas.</p>

	<p>La falta información sobre los detalles de construcción, o detalles de los planos, ha sido un problema, ya que los jefes de cuadrilla no realizan la consulta adecuada, lo cual ha generado retrabajos. Ancho de muros (encofradores), armado de vigas (acero), posición de salidas de luz, tomacorrientes, etc.</p> <p>La espera fue de las causantes para el sobretiempos del proyecto, otra causante para espera de los trabajos es la falta de recurso para la realización de las actividades, por ejemplo, no se tenía material de instalaciones eléctricas y sanitarias, acero.</p> <p>Los retrabajos fueron unos de las deficiencias más notorias sobretodo en elementos de concreto armado, ya que estas fueron cortadas, picadas posteriormente porque no se controló el nivel de vaciado de concreto fresco.</p>
<p>Problemas de recursos</p>	<p>Se encontró que se usaba acero de más en vigas y muros, debido a que el subcontratista usaba más acero para elevar sus costos de valorización. Y lo otro es que en la dosificación de concreto se usaba menos cantidad de agregado que lo requerido, aumentando el uso de la cantidad de cemento.</p> <p>En las actividades de colocación de concreto se tenía exceso de personal, lo cual ya que en la mayoría del tiempo había personal en espera.</p> <p>La falta de recursos fue unos de los principales motivos de parte de la obra (paralizada un mes), y atrasos para cumplir la meta en la fecha indicada, ya que no se tenía los materiales.</p> <p>Los personales no estaban capacitados, por lo cual cuando se realizaba los trabajos se cambiaba la tarea por otro personal, por falta de instrucciones claras muchas veces hacia los trabajos a su manera produciendo posteriormente retrabajos.</p> <p>Muchas veces se notaba el descontento del personal por las pagas impuntuales, lo cual los hacia menos productivos.</p> <p>La rotación de personal fue muy común, por parte de los subcontratistas, por decir que se cambió al subcontratista de acero debido a su poca colaboración con el orden de los trabajos, El subcontratista de encofrados cambió periódicamente su personal. Por casa muchos de los trabajadores se retiraron. Los subcontratistas de instalaciones sanitarias cambio su personal en tres oportunidades y trae consigo a que los trabajadores deban acostumbrarse al trabajo.</p> <p>La improvisación de equipos es muy común ya que no se cuenta con las herramientas, equipos en cantidad y en buen estado. Por ejemplo al inicio de obra no se contaban con carretillas en buen estado, las</p>

	vibradoras estaban en mal estado, solo se cuenta con un winche para el traslado de material y concreto.
Problemas de seguridad	No se ha presentado accidentes de mediana y gran magnitud, el uso de arnés para trabajos en altura es utilizado. El área de trabajo no está señalizada como debería, las charlas de seguridad no son frecuentes. La seguridad en obra no ha sido gran problema para la improductividad.
Falta de mejoramiento de la productividad	No se tiene control registrado de la producción, el avance de los trabajos es medido de manera experimental. No se realiza un análisis de las restricciones para su mejora, los procedimientos constructivos son mejorados conforme se va experimentando y se mejora la técnica. No se usan métodos, ni herramientas para el control de la producción.
Problemas externos	La ubicación de la obra es muy alejada de centros de venta. La temperatura es calurosa, debido a la época (verano).

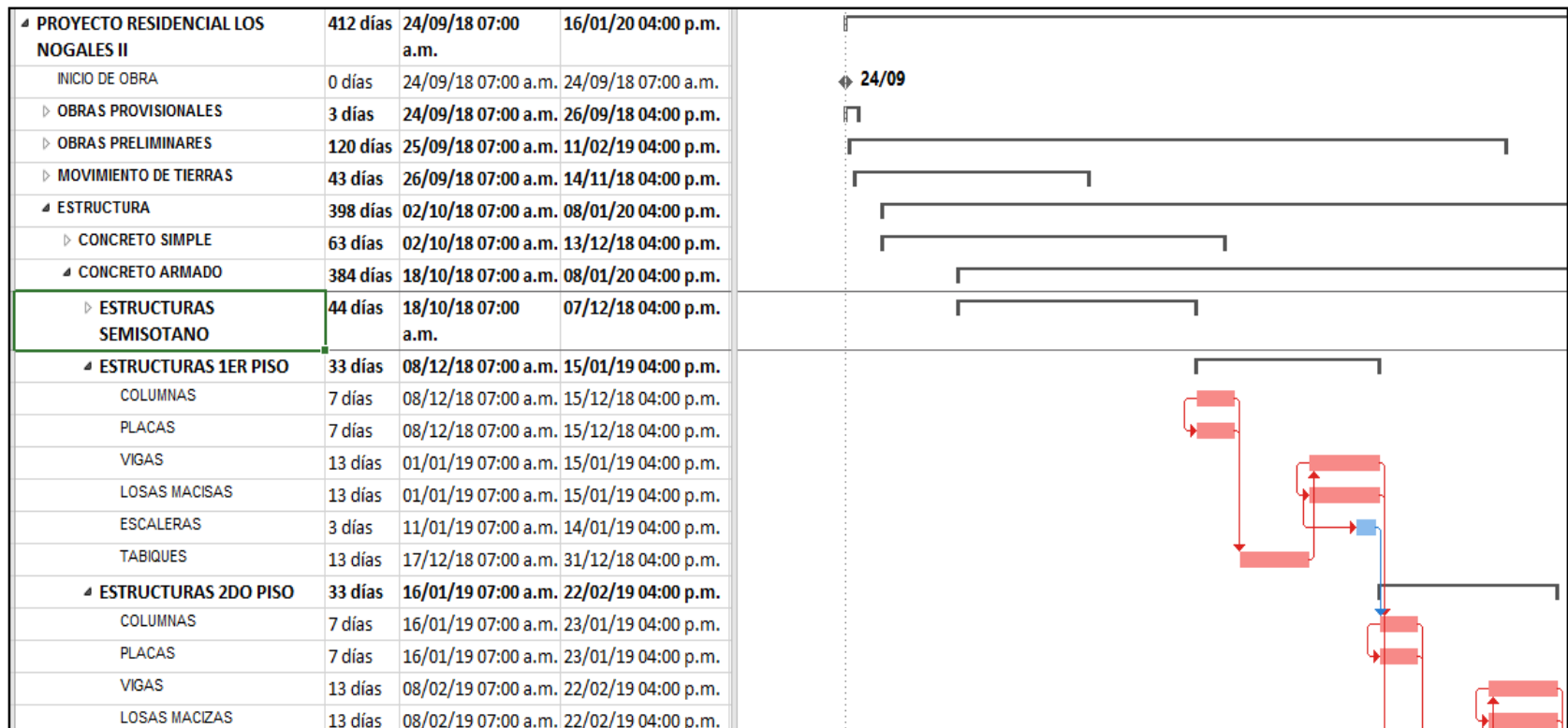


Figura 27. Programación maestra del proyecto Residencial Los Nogales II
Fuente: Elaboración propia

4.3. Control (Avance semanal)

La gestión de la productividad en los proyectos de edificación es muy deficiente, ya que no se tiene un equipo especializado que realice esta tarea, generalmente la parte técnica está compuesta por el ingeniero residente y asistentes. ello se debe a que el contratista prefiere ahorrar dinero en la disminución de personal del cuerpo técnico. Por lo cual el ingeniero residente se encarga de la planificación, producción (ejecución) y control, no cubriendo todas estas funciones de manera efectiva.

Al no tener un control diario sobre los avances, la productividad se resuelve muy discontinua, no teniendo metas, al acercarse la fecha de culminación muchas veces se toma la decisión de aumentar personal para cumplir con la fecha establecida, trayendo consigo mayores gastos en mano de obra, exigencia a los trabajadores, lo cual hace que rindan menos debido al cansancio y produciéndose también sobredimensionamiento de cuadrillas, y mayor desorden en el área de trabajo debido al exceso de trabajadores.

En la presente obra, se observó que no se tenía un control en los avances diarios, no se realizaba un seguimiento a las actividades. Muchas veces el avance diario era tomado por los mismos jefes de cuadrilla, sin ningún acuerdo entre ellos. Lo cual ocasionaba un desorden evidentemente y no había un flujo continuo de las actividades. Nosotros desde un punto de espectadores, observamos el avance diario de las actividades y el orden de estas, para lo cual presentamos un tren de actividades, un modelo BIM que proyecta el orden de los avances de cada actividad.

En el Cuadro 10 se presenta el tren de actividad de la construcción del primer piso de la edificación, se trató de proyectar las actividades según el proceso constructivo y los días que se tomaron en realizar cada actividad y su orden, se observa que el total de días hábiles que se tomó para construir este primer piso fueron 28 días, 9 días en la construcción de columnas, 14 días en la construcción de muros y 13 días

en losa, vigas y escalera. En referencia a este se realizará el tren de actividades de los siguientes pisos, además nos apoyaremos de los rendimientos diarios, los cuales también fueron tomados y explicaremos en párrafos más adelante.

Presentamos un modelo BIM con los avances diarios de encofrados de placas, columnas, muros de cerramiento, losa y vigas. se consideró esta actividad porque es crítica, ya que define las otras actividades, y también porque sus costos son representativos.

En la Figura 28 se muestra el avance diario de placas y columnas, y en la Figura 30 mostramos la leyenda de colores de las fechas de avance, podemos observar que no existe una estrategia de trabajos definido (programado). Se ha observado que las decisiones diarias del avance son tomadas por los jefes de cuadrilla. En la figura 29 mostramos el avance diario de muros de cerramiento, se observa que las cuadrillas trabajan en diferentes frentes, acomodándose al espacio de la obra, es decir que si en un frente se está vaciando concreto ellos buscan una zona libre para encofrar.

En la figura 31 se visualiza el avance diario de encofrado de vigas y losas, y en la Figura 32 se muestra la leyenda de colores según la fecha de avance. Se observa que existe un orden de atrás para adelante (fachada de la edificación).

La finalidad de mostrar los avances diarios en BIM, es proyectar la forma de trabajo en obra con el sistema tradicional. Muchas veces la comunicación entre el residente de obra y jefes de cuadrilla es ineficiente, ya que el ingeniero da órdenes globales del avance o fechas límites para culminar las actividades directamente a los subcontratistas, generalmente ellos no se encuentran trabajando en la obra. No existiendo una gestión eficiente en la programación y control de las actividades.

Cuadro 10: Tren de actividades proyectadas de la construcción del 1er nivel de lo Nogales II
Fuente: Elaboración propia

ITEM		ACTIVIDAD LOOKAHEAD		METRADO TOTAL SALDO	FORMATO TREN DE ACTIVIDADES OT.TA.001 Versión: 01																																												
		DESCRIPCIÓN	Cuad.		Jom.	UND	SEMANA 01					SEMANA 02					SEMANA 03					SEMANA 04					SEMANA 05					SEMANA 06																	
					L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D			
ESTRUCTURA NIVEL CASCO - PISO 01																																																	
1.1	Columnas y placas																																																
1.1.1	Acero	8	8,0 h	kg	7 249,54																																												
1.1.2	Trazado	2	4,0 h	ml	91,12																																												
1.1.3	Encofrado y desencofrado	8	8,0 h	m2	329,95																																												
1.1.5	Concreto	9	8,0 h	m3	36,94																																												
1.2	Muros de cerramiento																																																
1.2.2	Acero	2	5,0 h	kg	1 398,02																																												
1.2.1	Trazado	2	5,0 h	ml	197,01																																												
1.2.3	Entubado y salidas IE	3	5,0 h	pto	273,00																																												
1.2.4	Entubado y salidas IS	2	5,0 h	pto	173,00																																												
1.2.5	Encofrado	14	8,5 h	m2	880,37																																												
1.2.6	Concreto	9	5,0 h	m3	43,78																																												
1.3	Elementos horizontales: Losa maciza y vigas																																																
1.3.3	Acero en vigas	6	8,0 h	kg	4 381,01																																												
1.3.2	Encofrado de viga y losa	10	8,0 h	m2	544,61																																												
1.3.1	Trazado de muros	2	5,0 h	ml	197,01																																												
1.3.4	Acero (malla)	6	5,0 h	kg	4 506,63																																												
1.3.6	Instalaciones sanitarias (agua y desague)	2	8,0 h	pto	187,00																																												
1.3.7	Instalaciones eléctricas	2	8,0 h	pto	372,00																																												
1.3.8	Instalaciones de dowells	4	8,0 h	ml	197,01																																												
1.3.9	Acero y encofrado en escalera	4	8,0 h	glb	1,00																																												
1.3.10	Concreto losa, viga y escalera	7	5,0 h	m3	89,10																																												

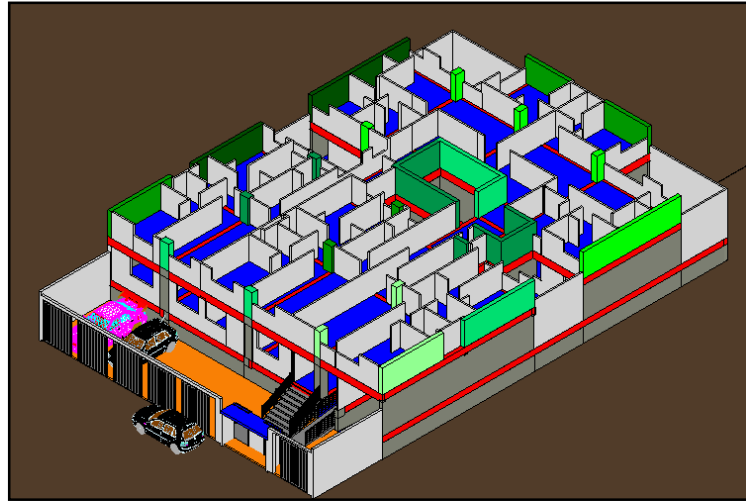


Figura 28. Avance diario BIM de encofrado en placas y columnas
1er piso

Fuente: Elaboración propia

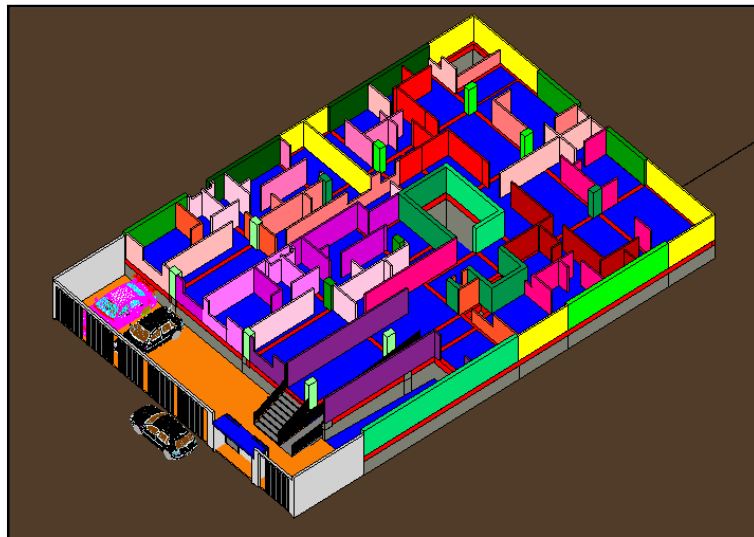


Figura 29. Avance diario BIM de encofrado de muros de
cerramiento – 1er piso

Fuente: Elaboración propia

Nombre	Visibilidad	Proyección/Superficie			Corte		Tramado
		Líneas	Patrones	Transparen...	Líneas	Patrones	
Enc 26.11.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc Buffer	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 10.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 11.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 12.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 13.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 14.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 4.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 5.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 6.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 7.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 8.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 27.11.18 (P1)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 28.11.18 (P1)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 29.11.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 30.11.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 1.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc 3.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Figura 30. Leyenda de avance diario de encofrado en elementos verticales
Fuente: Elaboración propia

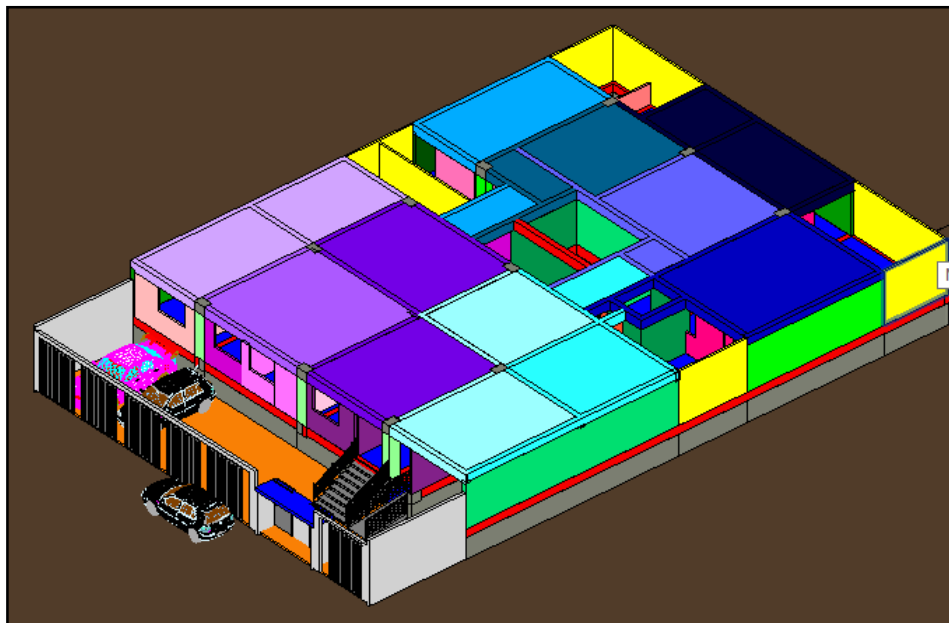


Figura 31. Avance diario BIM de losa maciza y vigas – 1er piso
Fuente: Elaboración propia

Enc 11.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 12.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 13.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 15.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 16.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 17.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 18.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 19.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 20.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 22.12.18 v	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 1.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>
Enc 3.12.18 (1P)	<input checked="" type="checkbox"/>							<input type="checkbox"/>

Figura 32. Leyenda de avance diario de encofrado en elementos horizontales
Fuente: Elaboración propia

4.4. Retroalimentación (circuito fiel)

Esta fase del proyecto consiste en la evaluación de la forma de trabajo, y realizar una mejora continua a base de información dada en el mismo proyecto, la cual es analizada y tomada en cuenta para los próximos trabajos. En el sistema tradicional esta fase es llevada de manera improvisada, es decir que no se tiene una información registrada. En la presente obra la construcción del semisótano fue un referente para la construcción del primer piso.

A continuación, mostraremos una metodología usada esencialmente para realizar mejoras en los pisos posteriores; circuito fiel, dichas metodologías nos servirá para evaluar los niveles de actividad, el rendimiento real, calcular el número de trabajadores productivos, pérdidas o ganancias según cada especialidad mediante gráficos y formatos.

4.1.4. Circuito fiel o dimensionamiento de cuadrilla

Circuito fiel es una metodología para realizar el análisis del avance de las actividades, y determinar su causa. Muchas veces creemos que, al aumentar el número de personal se cumplirá la meta. Este análisis es más profundo donde determinamos el número óptimo de personas que se tendrá para dicha actividad.

Muchas veces las causas de los atrasos son ocasionadas por falta de velocidad de producción, falta o exceso de personal.

Procedimiento

Se determina el número de horas diarias trabajadas. En nuestro caso tenemos 8,5 horas diarias trabajadas de lunes a viernes en un horario de 7:30 horas a 12:30 horas y de 13:30 horas a 17:00 horas, con una hora libre para el almuerzo al mediodía. Y los sábados se tiene un horario de trabajo de 7:30 horas a 13:00 horas.

Se fijan datos de entrada como productividad del presupuesto, productividad meta, costo HH promedio, horas de jornada diaria, número de personas. Estos datos nos sirven para hallar los siguientes datos; rendimiento presupuestado y rendimiento meta. Donde el rendimiento presupuestado sirve como un parámetro para verificar el rendimiento real, el cual debe de estar por encima del rendimiento presupuestado.

Con estos datos se elabora la tabla, en la cual se tienen las HH diarias y acumuladas, los metrados diarios y acumulados, los rendimientos diarios y acumulados; y el rendimiento presupuestado. Una vez elaborado el cuadro se sabe que las HH diarias depende el número de trabajadores, entonces esta herramienta consiste en ingresar preliminarmente la conformación de nuestra cuadrilla y luego comparar el rendimiento obtenido con el presupuestado así se podrá asegurar que no se sobredimensione una cuadrilla.

Se realiza el seguimiento diario a la producción (metrado diario de avance y número de personas trabajando), realizando la comparación entre el rendimiento hh/und de obra (número de trabajadores presentes en obra) y el rendimiento hh/und presupuestado, se calculará la pérdida o ganancia, y determinaremos si nuestra cuadrilla está sobredimensionada o incompleta.

A continuación, mostramos los formatos de circuito fiel de muros de cerramiento, de encofrado, colocación de concreto y colocación de acero.

Circuito fiel de encofrados en muros de cerramiento

En la Tabla 3 presentamos el circuito fiel de encofrados de muros de cerramiento, donde la cantidad de trabajadores varía entre siete y trece, el avance diario es muy discontinuo ya que varía entre $44,94 \text{ m}^2$ y $105,4 \text{ m}^2$, teniendo así un rendimiento muy variado entre $0,82 \text{ hh/m}^2$ y $1,27 \text{ hh/m}^2$, según se puede observar en la tabla, se presenta una pérdida de 227,58 soles en mano de obra.

Podemos observar también en la Figura 33, una gráfica de comparación de rendimientos (diario, promedio y presupuestado) según los avances diarios. Observamos que se tiene el rendimiento promedio está por encima del presupuestado, lo cual concluye en pérdidas de mano de obra. Se nota que el rendimiento real (diario) es muy discontinuo. Ello refleja la invariabilidad de la producción en el sistema tradicional.

Circuito fiel de colocación de concreto en muros de cerramiento

En la Tabla 4 presentamos el circuito fiel de colocación de concreto en muros de cerramiento, donde la cantidad de trabajadores varia en cuatro a cinco, el avance diario es muy discontinuo ya que varía entre $6,04 \text{ m}^3$ y $9,18 \text{ m}^3$, principalmente ello se debe a que no se tenían elementos liberados para su vaciado debido al bajo rendimiento de encofrados, teniendo así un rendimiento muy variado entre $4,63 \text{ hh/m}^3$ y $5,67 \text{ hh/m}^3$, según se puede observar en la tabla, se presenta una pérdida de 467,8 soles en mano de obra, el cual es relativamente bajo. Esto se debe al aumento de rendimiento de la fecha 15 de diciembre.

Podemos observar también en la Figura 34, que el rendimiento promedio está por encima del presupuestado, lo cual concluye en pérdidas de mano de obra relativamente bajas, Se nota que el rendimiento real (diario) es muy discontinuo. Ello refleja la invariabilidad de la producción en el sistema tradicional.

Circuito fiel de colocación de acero en muros de cerramiento

En la Tabla 5 presentamos el circuito fiel de colocación de acero en muros de cerramiento, donde la cantidad de trabajadores varía entre dos a tres, el avance diario es muy discontinuo ya que varía entre 186,64 kg y 262,66 kg, teniendo así un rendimiento casi constante entre 0,04 hh/kg y 0,1 hh/kg, según se puede observar en la tabla, se presenta una pérdida de 359,0 soles en mano de obra, el cual es relativamente bajo.

Podemos observar también en la Figura 35, que el rendimiento promedio está por encima del presupuestado, lo cual concluye en pérdidas de mano de obra relativamente bajas, Se nota que el rendimiento real (diario) es muy discontinuo. Ello refleja la invariabilidad de la producción en el sistema tradicional.

Tabla 3: Circuito fiel de encofrados de muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

Descripción		Fecha	03-dic	04-dic	05-dic	06-dic	07-dic	08-dic	10-dic	11-dic	12-dic	13-dic	14-dic
		Día	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
Número de trabajadores	und	11	11	10	13	13	10	10	10	10	9	9	7
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	5,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	93,5	93,5	85	110,5	110,5	55	85	85	85	76,5	76,5	59,5
Horas hombre acumuladas	hh	93,5	187,00	272,00	382,50	493,00	548,00	633,00	718,00	794,50	871,00	930,50	
Avance diario	m2	76,87	77,81	73,45	105,41	105,44	44,94	103,55	96,07	74,91	74,91	47,01	
Metrado acumulado	m2	76,87	154,68	228,13	333,54	438,98	483,92	587,47	683,54	758,45	833,36	880,37	
Rendimiento diario	hh/m2	1,22	1,2	1,16	1,05	1,05	1,22	0,82	0,88	1,02	1,02	1,27	
Rendimiento acumulado	hh/m2	1,22	1,21	1,19	1,15	1,12	1,13	1,08	1,05	1,05	1,05	1,06	
Rendimiento presupuestado	hh/m2	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Ganancia/pérdida del día	hh	-13,84	-12,45	-8,81	-1,05	-1,05	-8,09	22,78	15,37	1,5	1,5	-10,81	
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-13,84	-26,29	-35,1	-36,15	-37,2	-45,29	-22,51	-7,14	-5,64	-4,14	-14,95	
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	-211,8	-190,5	-134,8	-16,1	-16,1	-123,8	348,5	235,2	23,0	23,0	-165,4	
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-211,8	-402,2	-537,0	-553,1	-569,2	-692,9	-344,4	-109,2	-86,3	-63,3	-228,7	

Rendimiento presupuesto	1,04	HH/m2
Rendimiento meta	0,93	HH/m2
Productividad presupuesto	97,81	m2/jornada
Productividad meta	110,04	m2/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	12	hombres

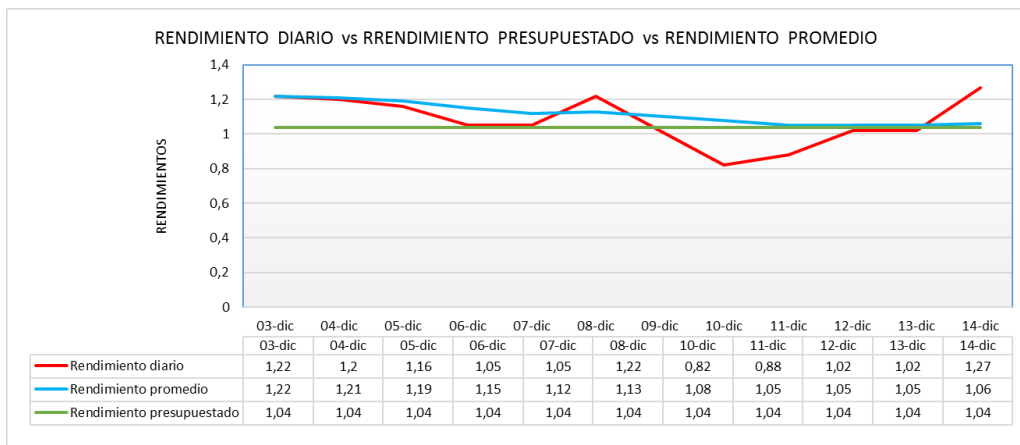


Figura 33. Gráfica de rendimientos de encofrados de muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Circuito fiel de colocación de concreto en muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

FORMATO		Código:	005				
CIRCUITO FIEL		Constructora:	Casta inmobiliaria				
OT.CF.005		Nivel	PRIMER PISO				
Versión: 01		Elaborado por:	Lizbeth C.				
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)							
CIRCUITO FIEL: CONCRETO EN MUROS DE CERRAMIENTO							
PRIMER PISO							
Descripción	Fecha	05-dic	07-dic	10-dic	12-dic	14-dic	15-dic
	Día	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Número de trabajadores	und	4	4	5	5	5	5
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	34	34	42,5	42,5	42,5	42,5
Horas hombre acumuladas	hh	34	68	110,5	153	195,5	238
Avance diario	m2	6,04	6,07	7,49	7,38	7,62	9,18
Metrado acumulado	m2	6,04	12,11	19,6	26,98	34,6	43,78
Rendimiento diario	hh/m2	5,63	5,6	5,67	5,76	5,58	4,63
Rendimiento acumulado	hh/m2	5,63	5,62	5,64	5,67	5,65	5,44
Rendimiento presupuestado	hh/m2	4,76	4,76	4,76	4,76	4,76	4,76
Ganancia/pérdida del día	hh	-5,25	-5,1	-6,82	-7,38	-6,25	1,19
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-5,25	-10,35	-17,17	-24,55	-30,8	-29,61
Costo hh promedio	soles/hh	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Ahorro/pérdida del día	S/	-83,0	-80,6	-107,8	-116,6	-98,8	18,8
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-83,0	-163,5	-271,3	-387,9	-486,6	-467,8

Rendimiento presupuesto	4,76	HH/m3
Rendimiento meta	3,88	HH/m3
Productividad presupuesto	8,93	m3/jomada
Productividad meta	10,95	m3/jomada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres

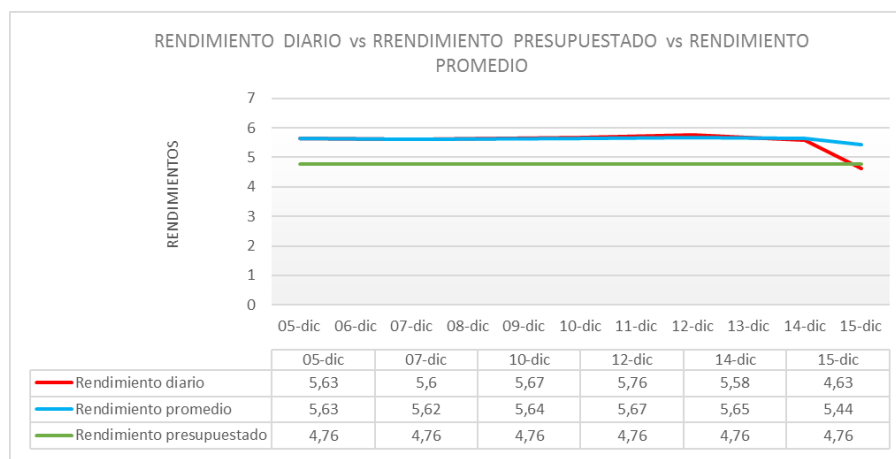



Figura 34. Gráfica de rendimientos de colocación de concreto en muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Circuito fiel de colocación de acero de muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

		FORMATO		Código: 006			
		CIRCUITO FIEL OT.CF.006 Versión: 01		Constructora: Casta inmobiliaria Nivel: PRIMER PISO Elaborado por: Lizbeth C.			
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)							
CIRCUITO FIEL: ACERO EN MUROS DE CERRAMIENTO							
PRIMER PISO							
Descripción	Fecha	30-nov	01-dic	03-dic	04-dic	05-dic	06-dic
	Día	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Número de trabajadores	und	3	2	3	3	2	2
Horas diarias	h	8,50	5,00	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	25,5	10	25,5	25,5	17	17
Horas hombre acumuladas	hh	25,5	35,50	61,00	86,50	103,50	120,50
Avance diario	m2	260,7	186,64	251,69	262,66	243,95	192,38
Metrado acumulado	m2	260,7	447,34	710,00	961,69	1205,64	1398,02
Rendimiento diario	hh/m2	0,1	0,05	0,1	0,1	0,07	0,09
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,1	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Ganancia/pérdida del día	hh	-7,82	3,73	-7,88	-7,55	0	-3,85
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-7,82	-4,09	-11,97	-19,52	-19,52	-23,37
Costo hh promedio	soles/hh	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	16,8
Ahorro/pérdida del día	S/	-109,5	58,9	-124,5	-119,3	0,0	-64,7
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-109,5	-50,5	-175,1	-294,3	-294,3	-359,0

Rendimiento presupuesto	0,07	HH/kg
Rendimiento meta	0,07	HH/kg
Productividad presupuesto	466	kg/jornada
Productividad meta	466	kg/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	4	hombres

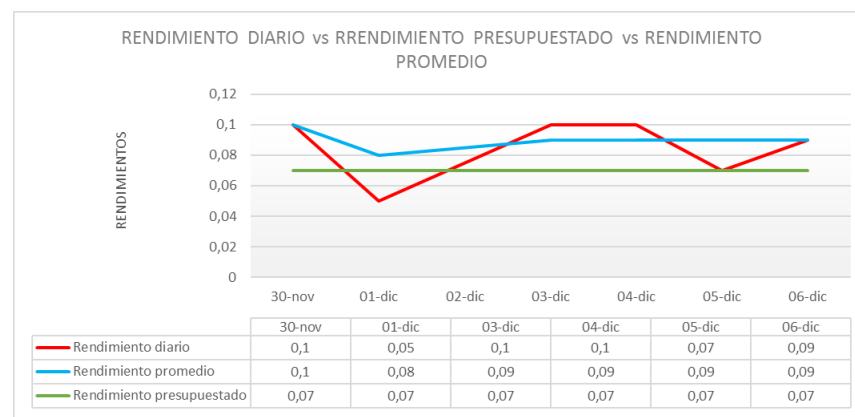


Figura 35. Gráfica de rendimientos de colocación de acero en muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DEL SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN

5.1. Resumen

En el siguiente capítulo desarrollaremos la aplicación del Sistema de gestión BIM-LEAN, propuesto en la presente Tesis para la mejora de la productividad, para lo cual se propone un plan de productividad como se muestra en el cuadro 11. Serán desarrolladas en tres fases de la construcción: Planificación, ejecución, control y retroalimentación, en la cual proponemos una serie de actividades, para la realización de estas se necesita documentos de entrada. Después de su aplicación se generará los documentos de salida, estos mismo nos servirán para el estudio y análisis de los resultados.

La aplicación del sistema propuesto se realizó en el Proyecto Residencial Los Nogales II, en el segundo y tercer piso. En los siguientes párrafos se explicará la aplicación en cada una de las fases, de las metodologías usadas en ellas (actividades del plan de productividad de Gestión BIM-LEAN), y de los documentos de entrada y salida. Para no ahondar con la aplicación se desarrollará la gestión de la productividad del sistema propuesto en la construcción del tercer piso, en la construcción de muros de cerramiento, según la descripción de las metodologías desarrolladas, denominaremos la semana 06. Para resultados se tomarán en cuenta todas las actividades del plan en los pisos aplicados y las actividades de la programación.

5.2. Planificación

La planificación es una fase importante en la construcción, se trata de una estrategia de trabajo, la cual definirá el orden de las actividades, el proceso constructivo, el tiempo de ejecución, los recursos empleados, ritmo de trabajo, entre otros, en base

a documentos, como la programación maestra, el presupuesto, metrados, especificaciones técnicas, precios unitarios y planos.

Cuadro 11. Plan de productividad del sistema de gestión BIM-LEAN

Fuente: Elaboración propia

PLAN DE PRODUCTIVIDAD DEL SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN			
FASES DE LA GESTIÓN DE LA CONSTRUCCIÓN	ACTIVIDADES	DOCUMENTOS DE ENTRADA	DOCUMENTOS DE SALIDAD
PLANIFICACIÓN	Plan maestro	Presupuesto	Gráficos de comparación entre las actividades planificadas semanalmente y lo ejecutado.
	Sectorización	Modelo BIM sectorizado	Balace de cargas de trabajo.
EJECUCIÓN	Look Ahead	Tren de actividad	Planificación anticipada.
	Plan semanal	Análisis de restricciones	Planificación semanal de actividades realmente ejecutables.
	Plan diario	Plan semanal	Órdenes de trabajo diario.
CONTROL	Avance semanal	Metrado diario	Gráficos de comparación entre la planificación semanal (Lookahead), plan (diagrama gantt) y lo ejecutado a la semana.
	PAC semanal	Plan Semanal / avance semanal	Causas de no cumplimiento.
RETROALIMENTACIÓN	Trazabilidad de PAC	PAC semanal	Porcentajes de asignaciones complementadas.
	Círculo fiel	Metrado diario	Ratios de productividad / Pérdidas o ahorros en MO

Es la partida del proyecto, donde se realizó un estudio del panorama futuro, proyectando la posible ejecución, donde se puede optimizar los recursos (productividad). En el Proyecto Residencial Los Nogales II, como se trató con anterioridad, el semisótano y el primer piso fueron construidos con el sistema tradicional, a partir de esta se incluye el Sistema de gestión BIM-LEAN. Los documentos alcanzados y con lo que se trabajó fueron; la programación Gantt, el presupuesto total de la obra, especificaciones técnicas y planos, además que la construcción de los pisos inferiores nos ayuda como referencia y experiencia. Generalmente el trabajo inicial de planificación es realizado por un equipo especializado, en este caso se realizó con el ingeniero residente, y con conversaciones directas con los subcontratistas. Para finalmente presentar una propuesta estratégica al gerente de proyectos de la inmobiliaria.

Esta fase consistió esencialmente en el estudio de la programación Gantt, los planos y los documentos alcanzados, en conversar directamente con los agentes, en considerar los datos obtenidos en la construcción, en analizar la situación de la obra

actualmente. Y por otro lado esta fase consistió en la modelación del edificio (nivel casco) a partir de los planos CAD, para luego iniciar con la sectorización.

5.2.1. Programación maestra (programación Gantt)

La programación maestra es una programación global (no detallada), nos será útil para definir hitos, y cumplir con las fechas determinadas en el proyecto, también nos servirá como holguras entre las fechas. Esto nos permitirá más adelante realizar programaciones más detalladas, pero respetando las fechas y los días por piso en este caso. En este caso particular nos permitió adelantarnos a la fecha y dejar holguras para algún imprevisto, y recuperar algún atraso.

En la Figura 36 se muestra la programación Gantt del segundo y tercer piso, los cuales deben ser construidos en 33 días a nivel casco por piso (placas, columnas, muros de cerramiento, viga, losa y escalera).

En el Cuadro 12 se muestra las fechas de inicio y fin, las duraciones (días hábiles), de la programación Gantt, la programación Look Ahead y lo ejecutado, más adelante se llenarán los datos para su posterior explicación en los resultados. Podemos observar que en el segundo piso tenemos un retraso de un mes aproximadamente, por lo cual se quiere recuperar esos días en los pisos posteriores para cumplir con las fechas.

Cuadro 12. Duraciones según lo programado y lo ejecutado
Fuente: Elaboración propia

DURACIONES SEGÚN LAS PROGRAMACIONES									
Pisos	Plan maestro		Días hábiles	Programación inicial Look Ahead		Días hábiles	Ejecución real		Días hábiles
	Inicio	Fin		Inicio	Fin		Inicio	Fin	
1er piso	08-dic-18	15-ene-19	33	Sistema tradicional		33	23-nov-18	26-dic-18	28
2do piso	16-ene-19	22-feb-19	33						
3er piso	23-feb-19	02-abr-19	33						

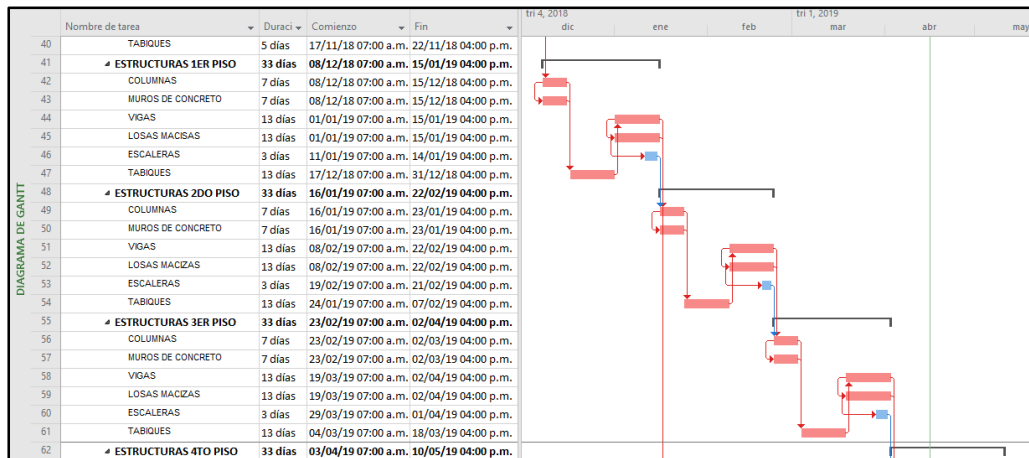


Figura 36. Programación Gantt del Proyecto Residencial Los Nogales II

Fuente: Elaboración propia

5.2.2. Generación del modelo BIM

Este tipo de modelación se realizó en la fase constructiva de la edificación, estos fueron realizados a partir de planos CAD (arquitectura y estructuras), las cuales nos brindan información acerca del edificio como; formas, dimensiones, distribución y características de los elementos que lo conforman, estos elementos son; cimentación, placas, columnas, escaleras, muros, vigas y losa maciza. La edificación consta de un semisótano, 10 pisos, donde a partir del segundo piso es típico, con algunas variaciones en los muros de cerramiento de la fachada.

El nivel de desarrollo BIM es un LOD 300, donde se tiene un modelo representado como un sistema específico, que contiene información como tamaño, forma, cantidad, ubicación y orientación, sin embargo, no hace interface con otros sistemas de edificación, Se decidió hacer a este nivel de desarrollo, ya que usaremos el modelo para fines constructivos a nivel casco gris, y no se necesita mayores detalles. Se usó para visualizar mejor los elementos y como herramienta para la programación y control de obra.

El sistema de gestión BIM-LEAN, propone usar el modelo para la sectorización, por ende, en modelo BIM será una herramienta de gestión visual (ver Figura 37), para visualizar las sectorizaciones de los elementos, y este mismo nos fue útil para realizar el tren de actividades, también se realizó un seguimiento de los avances diarios en los modelos. Esta herramienta se usará las reuniones semanales como herramienta de visualización ya que refleja la construcción misma.

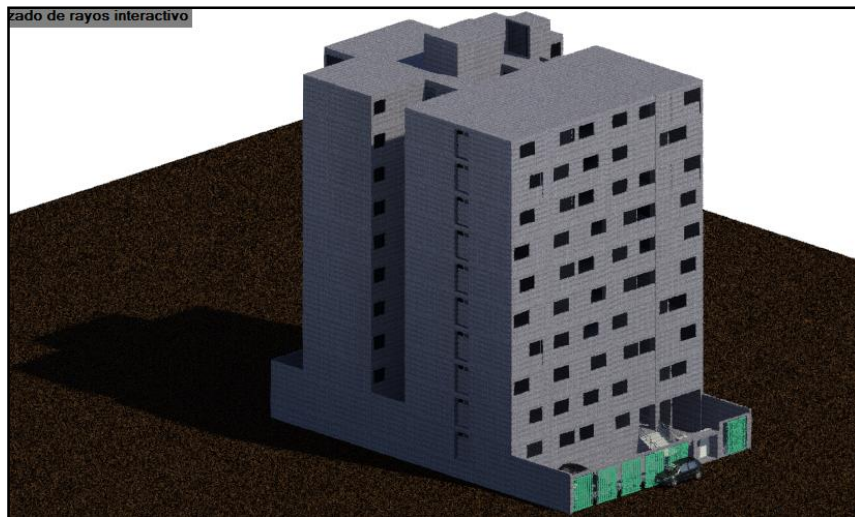


Figura 37. Modelo BIM del Proyecto Residencial Los Nogales II
Fuente: Elaboración propia

5.2.2.1. Configuración en Revit

BIM como metodología maneja muchos softwares los cuales van dependiendo para su utilidad. Para el desarrollo de la presente Tesis se utilizó el Software Revit de Autodesk. La plataforma Revit como tal es una herramienta de diseño y documentación que soporta el modelo, los dibujos, las tablas de planificación que se requieren para un proyecto de construcción. Las tablas de cantidades, fases del proyecto, y además simula una construcción virtual (pre construcción). En nuestro caso se tiene el proyecto en planos CAD, las cuales serán modeladas nuevamente

en REVIT. Es decir que utilizaremos la metodología BIM en la etapa de construcción y como una herramienta para la productividad.

La configuración del entorno de modelación es un proceso sumamente importante en el que se establecen características, restricciones y propiedades globales del modelo (comunes para todos los elementos paramétricos).

En la Figura 38 se muestra el interfaz, muchos estamos familiarizados con el interfaz de AutoCAD y estos son similares. Presenta una barra de herramientas de acceso rápido, una barra de opciones donde se muestran todas las herramientas de las fichas. Lo nuevo que muestra son dos ventanas de propiedades (la cual nos permitirá ponerles propiedades a los elementos creados), tenemos más también la ventana de navegador de proyectos, el cual nos permitirá visualizar en la ventana de dibujo el modelo realizado (cortes, secciones, vistas 3D, planos, etc.). En la parte inferior se muestra una barra de controles de vista (nos permitirá visualizar los planos y modelos en diferentes aspectos)

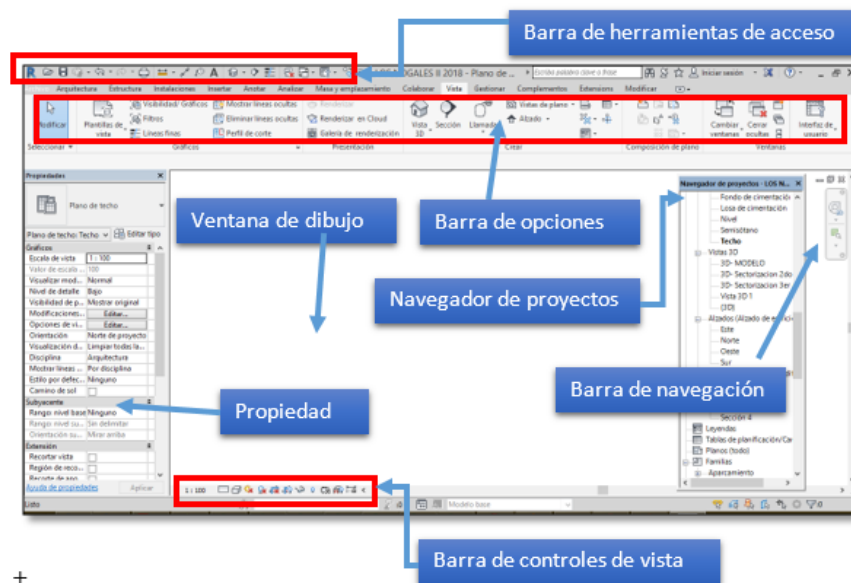


Figura 38. Interfaz de Revit
Fuente: Elaboración propia

5.2.2.2. Modelamiento paramétrico

Para el modelamiento se ha definido algunos procedimientos (ver Figura 39) principales como:

i. Creación de nuevo proyecto

Principalmente este proceso consiste en la creación de un nuevo proyecto, guardar el nuevo proyecto, seguidamente se define las unidades (metros). Se trabajará en base a planos (arquitectura y estructuras), para ello se importará. Para este procedimiento es necesario tener los planos CAD limpios, es decir solo deberá estar el plano de planta que se va a modelar.

En las Figuras 40 y 41 se muestran los planos de planta del arquitectura y estructuras.

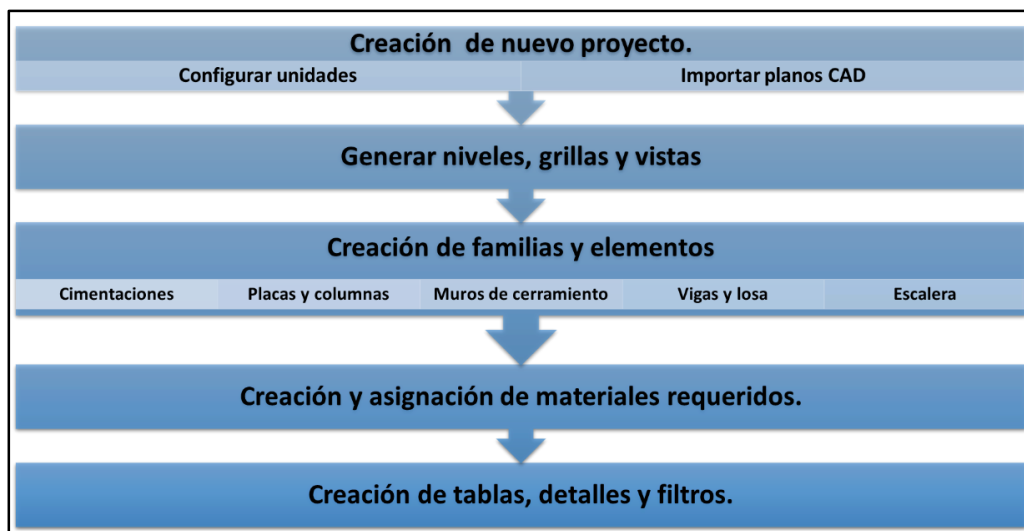


Figura 39. Procedimientos para el modelamiento BIM del Proyecto Residencial Los Nogales II

Fuente: Elaboración propia

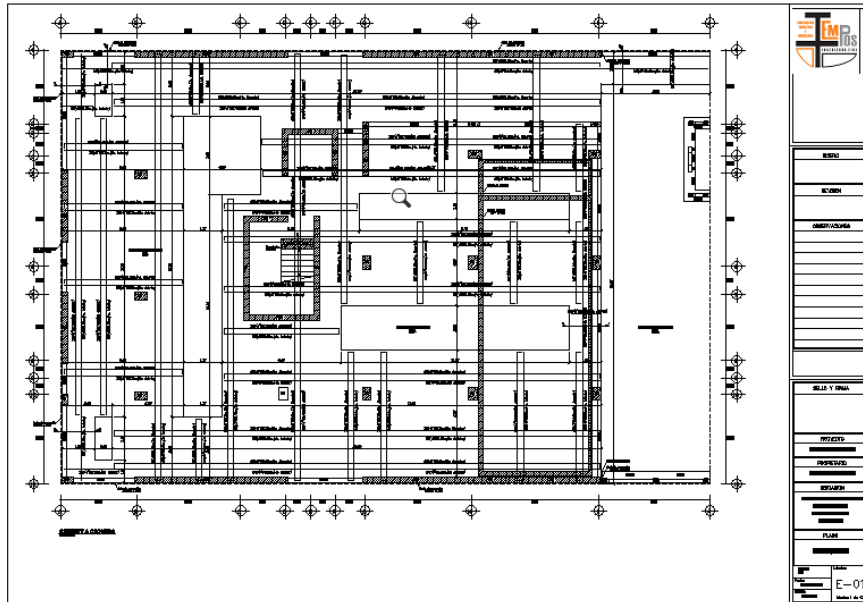


Figura 40. Planos de cimentación del Proyecto Residencial Los Nogales II
Fuente: Expediente técnico del Proyecto Residencia Los Nogales II

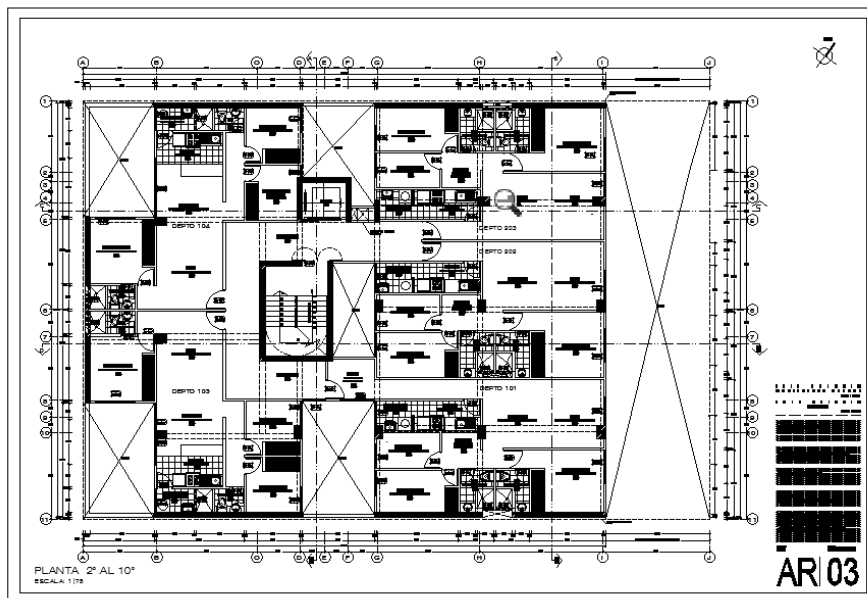


Figura 41. Plano de planta de 1er piso arquitectura del Proyecto Residencial Los Nogales II
Fuente: Expediente técnico del Proyecto Residencia Los Nogales II

ii. Generación de niveles, grillas y vistas

Para este proceso se usará los planos exportados para crear las grillas, también se hará uso de los planos CAD de elevación (Figura 42). Una vez creados estos se reflejarán en todos pisos, a diferencia del AutoCAD. Para la generación de niveles, este nos define la altura de cada piso, nos será útil para crear los elementos, ya que al crearlos tomamos en referencia los niveles. Se muestra en la Figura 43 y 44 los niveles y grillas generadas en Revit.

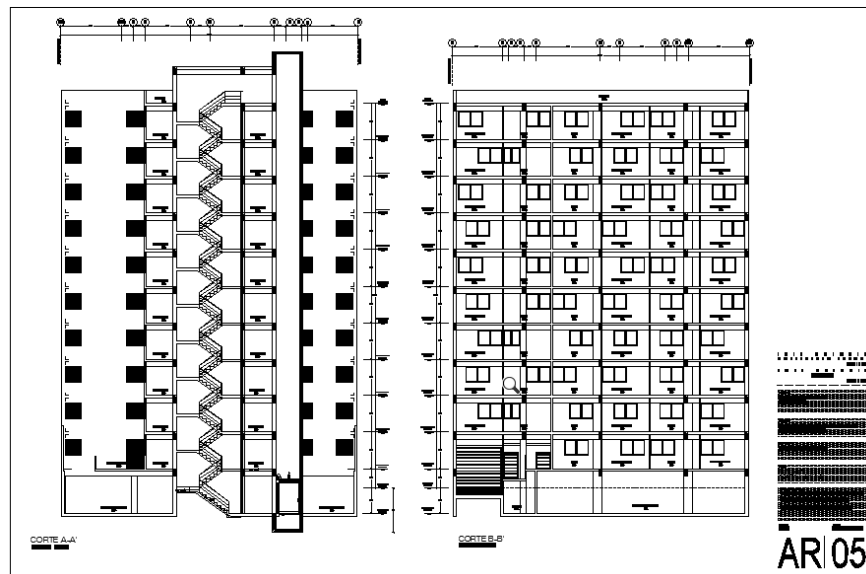


Figura 42. Plano de cortes del Proyecto Residencia Los Nogales II
Fuente: Expediente técnico del Proyecto Residencia Los Nogales II

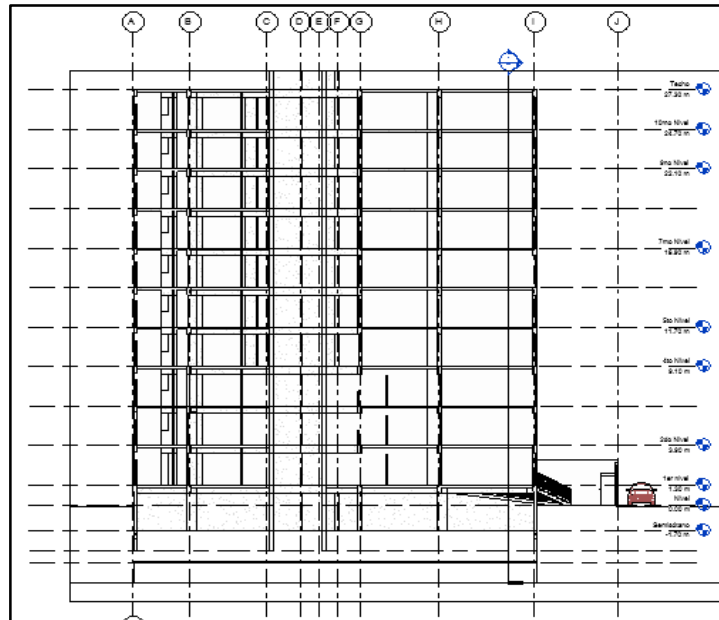


Figura 43. Generación de niveles en Revit del Proyecto Residencial Los Nogales II
Fuente: Elaboración propia

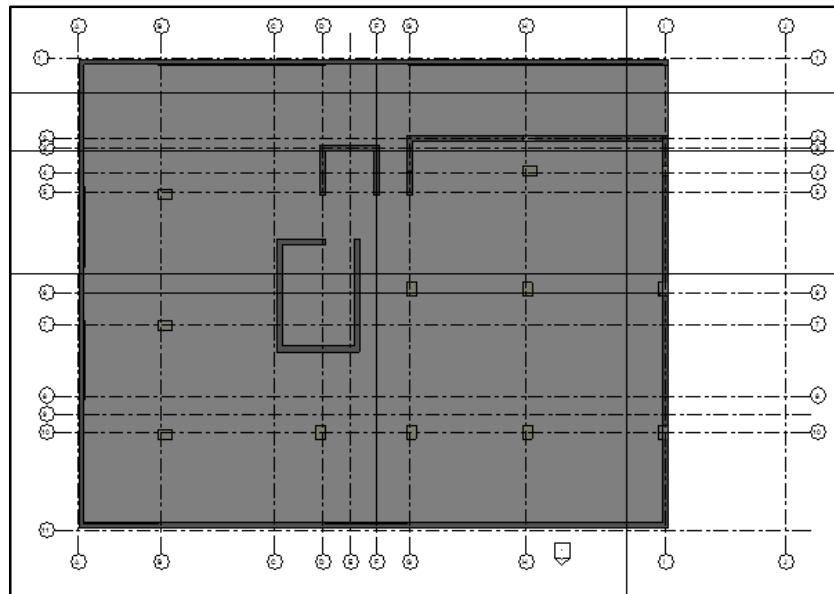


Figura 44. Generación de grillas en Revit
Fuente: Elaboración propia

iii. Creación de familias y elementos

La creación de familias y elementos se realizan en proyección de los planos CAD. Las familias están incluidas en el software en su mayoría, en nuestro caso se trabajó con los existentes puesto que los elementos son comunes y regulares, la creación de elementos es fundamental en esta parte se clasificó por su espesor, material, otras características.

El orden de la creación de elementos es fundamental, debe ser acorde a los procesos constructivos, también se debe tomar en cuenta el sistema estructural. En nuestro caso se trata de un edificio con un sistema dual o mixto.

Para una mejor explicación daremos un ejemplo de creación de vigas. Consiste en escoger una categoría (vigas), de la cual escogemos una familia (vigas rectangulares de hormigón), y finalmente creamos elementos, con características más concretas, Viga 105 (50X25) (ver Figura 45), procedemos a ubicarlas sobre los planos CAD en su posición adecuada Cabe recalcar que para ubicar las vigas se debe tener modelado los elementos verticales (placas, columnas y muros).

La creación de elementos como se mencionó depende del proceso constructivo y sistema estructural, en nuestro caso presenta este orden. Ello se realizará en el semisótano, primer piso y segundo piso, a partir de esta se replicará ya que se trata de pisos típicos. Cabe insistir que el modelamiento se realizó a nivel casco gris sin considerar los detalles de acero, instalaciones sanitarias y eléctricas.

- Creación de losa de cimentación
- Creación de placas y columnas.
- Creación de muros de cerramiento.
- Creación de vigas.
- Creación de losa maciza.

- Creación de escalera.

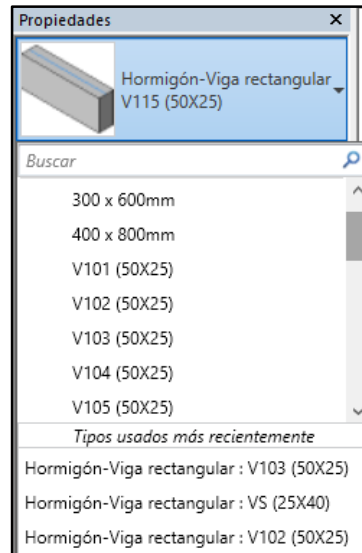


Figura 45. Generación de elementos- vigas en Revit
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 46, mostramos el orden de creación de los elementos. Primero se crea una capa de solado seguidamente la losa de cimentación, posterior a esta se coloca las columnas y placas, una capa de relleno (tierra), falso piso, y continuamos con la creación de muros de cerramiento, vigas, losa maciza y escalera. Para la réplica de los pisos típicos se copia por categoría de elementos, es decir se recomienda pegar las columnas para todos los pisos, y así con las otras categorías.

En la Figura 47 se muestra el modelamiento completo por todos los pisos, con detalles en el techo y la fachada del edificio.

iv. Creación y asignación de materiales

Se puede asignar el tipo de material a cada material, en nuestro caso el tipo de material manejable es el concreto en elementos estructurales (placas, columnas, losas y escalera) 210 kg/cm^2 y para muros de cerramiento 175 kg/cm^2 .

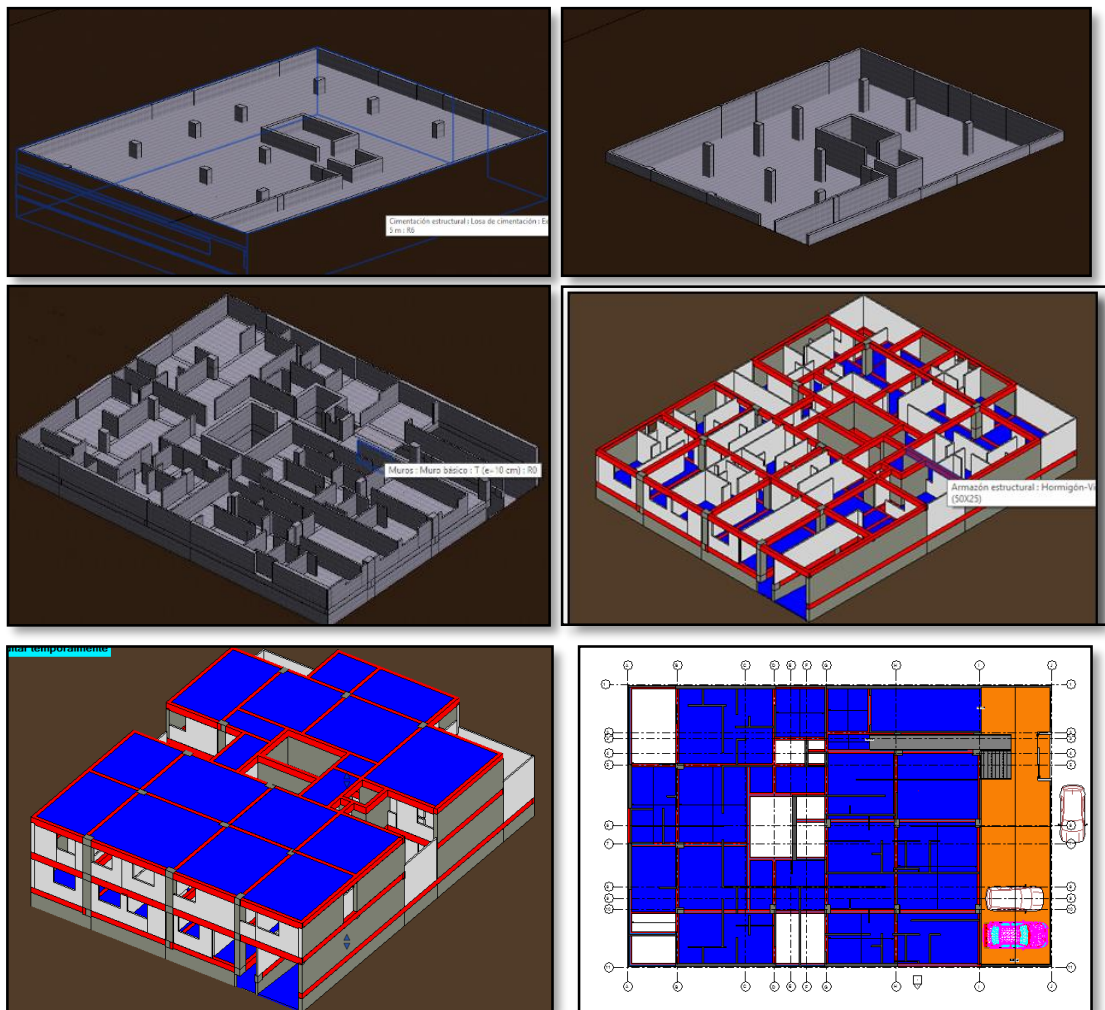


Figura 46. Generación de elementos en Revit
Fuente: Elaboración propia

v. Creación de tablas detalles y filtros

En este proceso de modelamiento compromete más propiedades a los elementos, dependiendo del uso del modelamiento o requerimiento del cliente, en nuestro caso será fue usado en la etapa de construcción para la gestión de productividad (sectorización, control de avances).

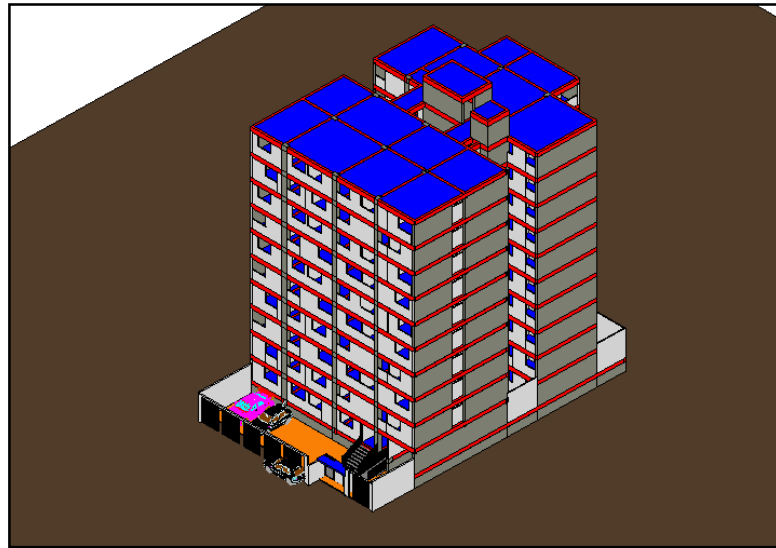


Figura 47. Modelamiento del Proyecto Residencia Los Nogales II
Fuente: Elaboración propia

5.2.2.3. Sectorización a partir del modelo BIM

La programación, planificación y control son fundamentales para la gestión de la construcción (productividad). La sectorización es una metodología de balanceo de cargas de los metrados de cada actividad. Su finalidad es crear lotes de producción, es decir dividir proporcionalmente los elementos de cada actividad para su realización diaria. Esta herramienta nos será necesaria para realizar los trenes de trabajo para la programación Lookahead y plan semanal.

Generalmente esta metodología se realiza sobre un plano. El sistema de gestión BIM-LEAN, propone utilizar como herramienta para la sectorización el modelo BIM, ya que nos permitirá mayores beneficios respecto como:

- Sectorización en tres dimensiones, beneficia la visualización de trabajos.
- Útil para practicar secuencias en el ordenador antes de iniciar la obra.
- Conocer al instante la repercusión de los cambios.
- Facilitar la colaboración en reuniones.

- Comunicar de forma clara y transparente la programación (diaria, semanal, mensual)

De acuerdo a la metodología Lean construcción, se requiere una mejora continua, es por ello cada piso tendrá una sectorización diferente a la anterior debido a que se va mejorando optimizando los procesos, mejorando tiempos.

Procedimiento:

- Al iniciar la sectorización se debe tener a disposición: a) Los metrados de las actividades en sus respectivas unidades (trazado, acero, encofrados, concreto y puntos de instalaciones sanitarias y eléctricas), los metrados se pueden hacer manualmente y utilizando el modelo BIM, b) Tener el modelamiento tridimensional, c) Tener claro los hitos de la programación general (Programación Gantt), duraciones por piso y aproximado por actividad y d) Tener la productividad presupuestada.
- Realizar una sectorización tentativa, teniendo en cuenta el proceso constructivo y la duración del proyecto.
- Con estos datos se procede a realizar una aproximación del metrado por sector, y calcular aproximadamente la cantidad de días para realizar dicha actividad, dividir por metrados similares y calcular la cantidad de personal necesaria. Hasta alcanzar un balance entre los metrados.
- Realizada ya la sectorización aproximada, proyectarlos en el modelo BIM, para su mejor visualización y replanteo.

En la siguiente parte de la aplicación para su explicación puntual, realizaremos la sectorización de encofrados, del tercer piso de la construcción del edificio (placas, columnas, muros de cerramiento, vigas y losa), ya que se considera a la actividad

de encofrados como critica, debido que es la actividad que más tiempo toma y además la que tiene mayor consumo de mano de obra, por lo tanto, una de las de mayor incidencia de costos, esta actividad define el avance de las otras actividades.

Según la programación la duración por piso es 33 días, por decisión de gerencia se tomó acuerdo en mejorar los tiempos y recuperar el tiempo perdido (aproximadamente 1 mes después de la construcción del primer piso). Por lo que en el segundo piso se realizó en 23 días hábiles (ver Cuadro 13), en función a esta se decidió programar en 17 días, sabiendo que la actividad critica es encofrados se decidió tener dos subcontratistas.

Cuadro 13. Duraciones según lo programado y lo ejecutado -3er piso
Fuente: Elaboración propia

Pisos	Plan maestro		Días hábiles	Programación inicial Looh Ahead		Días hábiles	Ejecución real		Días hábiles
	Inicio	Fin		Inicio	Fin		Inicio	Fin	
1er piso	08-dic-18	15-ene-19	33	Sistema tradicional		33	23-nov-18	26-dic-18	28
2do piso	16-ene-19	22-feb-19	33	11-feb-19	06-mar-19	21	11-feb-19	08-mar-19	23
3er piso	23-feb-19	02-abr-19	33	09-mar-19	28-mar-19	17			

a. Sectorización de elementos verticales (placas y columnas)

La sectorización de elementos verticales, En nuestro caso particular (Proyecto Residencial Los Nogales II), se tienen dos subcontratistas que trabajan cada uno en un frente determinado (ver Figura 48).

Sectorización de placas y columnas, se ha dividido la sectorización en tres partes, es decir que se debe realizar el encofrado de estos elementos en tres días. Se observa que los metrados del sector de subcontratistas 02 es mayor al otro, estos serán compensados con los metrados de muros de cerramiento. En la Figura 49 se observa la sectorización de cada subcontratista donde el color rosa es el sector 01, el color amarillo el sector 02 y el color celeste el sector 03. En la Tabla 6 mostramos los metrados por cada sector y contratista, más adelante se explicará la cantidad de

mano de obra necesaria y secuencia a tomar por cada actividad (tren de actividades y Look Ahead). Las demás actividades seguirán este orden de los sectores definidos (sector 01, sector 02 y sector 03).

Sectorización de muros de cerramiento, se sectorizó en 4 partes, donde cada sector será realizado en dos días (encofrados). En la Figura 50 se muestra la sectorización, y en la Tabla 7 se muestra los metrados por sector para cada subcontratista.

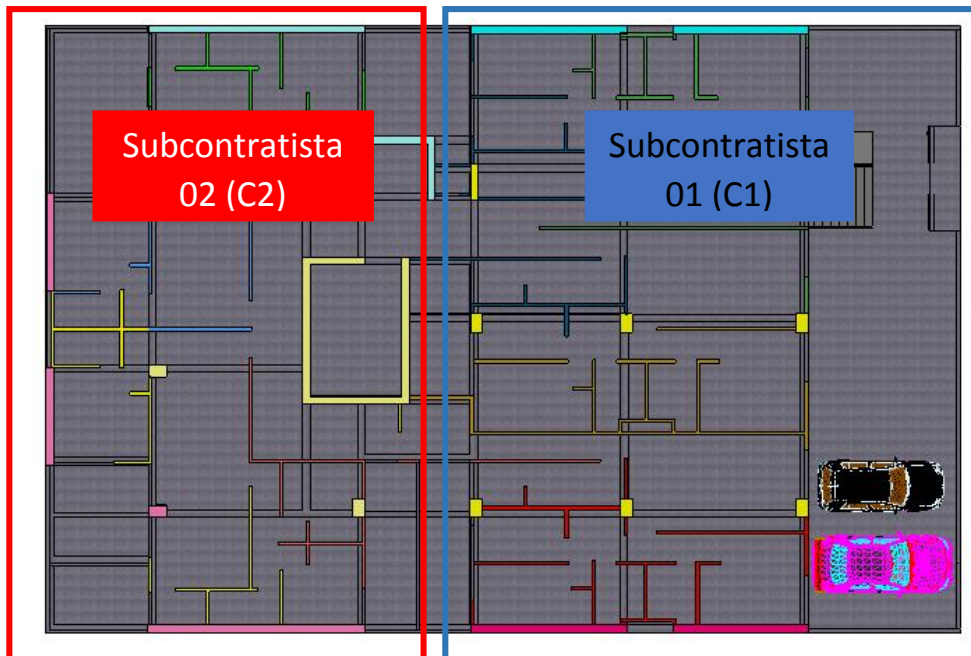


Figura 48. Sectorización de contratista de encofrado
Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Medrado de encofrado de columnas por sectores y contratistas
Fuente: Elaboración propia

Metrados para encofrado		
Sector	C1 (m2)	C2 (m2)
S01	44,44	67,78
S02	39,06	69,93
S03	44,44	64,3
	127,94	202,01

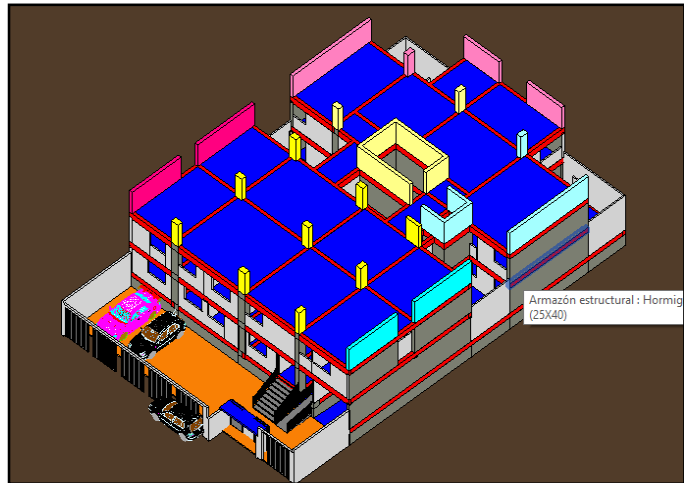


Figura 50. Sectorización de placas y columnas en Revit
Fuente: Elaboración propia

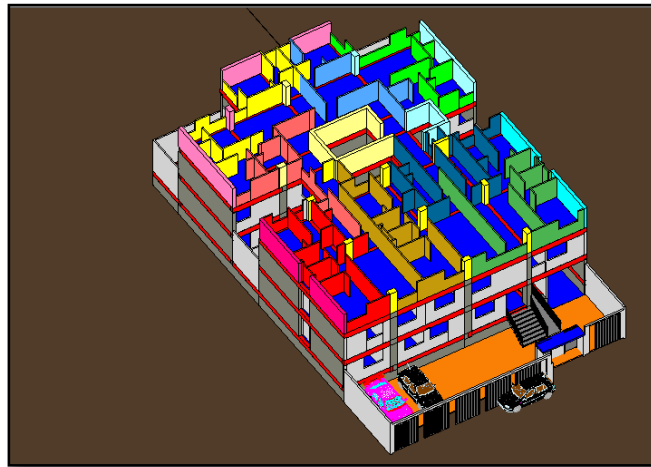


Figura 49. Sectorización BIM de muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

Tabla 7. Metrado de encofrado de muros por sectores y contratistas
Fuente: Elaboración propia

PISO 03		
Sector	C 02	C 01
S1	115,73	153,85
S2	113,22	164,19
S3	93,28	164,59
S4	91,9	144,49
	414,13	627,12

b. Sectorización de elementos horizontales (vigas y losa maciza)

La sectorización de vigas y columnas se realizó en 4 sectores como en la sectorización de muros para cada frente de los subcontratistas, sector 01 (rosado), sector 02 (amarillo), sector 03(celeste), sector 04 (verde) (ver figura 51). Teniendo para cada sector dos días para su realización (encofrados). Las demás actividades seguirán el orden de las sectorizaciones en ambos frentes tomándose como una. Más adelante se mostrará el tren de actividades, donde se muestra la programación diaria (metrados por actividad diaria) y la secuencia de estas por sectores.

En la Tabla 8 se muestra los metrados por contratista y por sectores. Se observa que el frente C2 tiene mayor cantidad de metrados, para lo cual el subcontratista 01, deberá aumentar el número de trabajadores para cumplir la meta en el mismo tiempo con el otro frente y las otras actividades deberán trabajar en ambos frentes para cumplir la secuencia del tren de trabajo.

En la Figura 52 se muestra la sectorización del segundo piso, podemos observar que la sectorización fue tomada en toda el área, en comparación del tercer piso que se realizó en dos frentes, debido a que se tenía un solo contratista de encofrados. Las dos propuestas son válidas, ya que son balanceadas las cargas al tiempo estimulado, cantidad de personal y la productividad de estos.

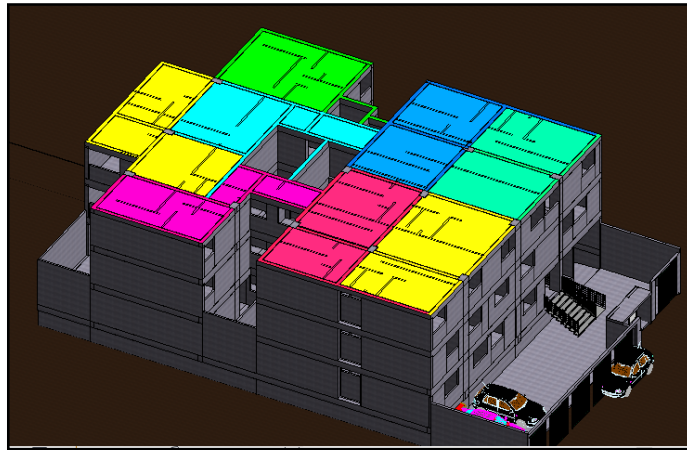


Figura 51. Sectorización BIM de elementos verticales
Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Metrado de encofrado de losa y vigas por sectores y contratistas
Fuente: Elaboración propia

TERCER PISO- ENCOFRADOS POR SECTORES				
CONTRATISTA 01	LOSA	VIGA	TOTAL	
S1	34,26	26,27	60,53	
S2	39,91	27,27	67,18	
S3	34,93	27,84	62,77	
S4	34,52	28,1	62,62	253,1
CONTRATISTA 02	LOSA	VIGA	TOTAL	
S1	45,31	26,33	71,64	
S2	54,41	20,75	75,16	
S3	41,52	29,82	71,34	
S4	50,45	22,9	73,35	291,49

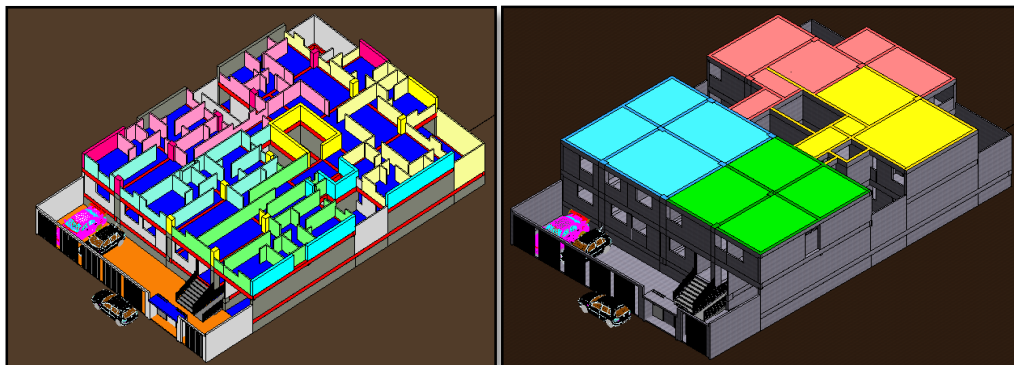


Figura 52. Sectorización BIM de segundo piso del proyecto
Fuente: Elaboración propia

5.3. Ejecución

Esencialmente esta fase de la gestión de la productividad consiste en la programación de intervalos de tiempos más cortos (mensual y semanal), es decir lo que puedo hacer y lo que voy a hacer, a comparación del plan maestro que se define por lo que deberíamos hacer, entonces este tipo de programación presenta menor incertidumbre en la realización de las actividades, asegurando así el cumplimiento de las fechas contractuales y la optimización de los recursos.

El sistema de gestión BIM-LEAN propone para la fase de ejecución la programación intermedia (Look Ahead), la programación semanal (Plan semanal) y el análisis de restricciones. El Look Ahead, en nuestro caso específico es de cuatro semanas, este tipo de programaciones son muy manejables ya que nos permite actualizar la programación semanalmente, definiendo el avance semanal, y accediendo manejar los avances, levantar restricciones, ajustar los rendimientos, recuperar retrasos, optimizar los recursos, y disminuir desperdicios. Después se tiene la programación semanal, la cual viene a ser una parte de la programación Look Ahead, define el avance diario y cumple con los mismos propósitos que la programación Look Ahead en una unidad más pequeña (semana). Tenemos también las restricciones de obra, a las cuales se les realiza un seguimiento diario, para luego en una reunión semanal, detectar las causas, plantear soluciones, encargar responsabilidades, para liberar actividades y continuar con nuestra planificación.

Para la descripción de estas herramientas, y su explicación se tomará la semana 6 como ejemplo, en los anexos se añadirá las programaciones del segundo y tercer piso.

5.3.1. Programación intermedia: Look Ahead

En la Tabla 09 se muestra el Look Ahead de la semana 6 hasta la semana 9, del 18 de marzo al 14 de abril, donde se muestra la programación del tercer y cuarto piso. Y además se detalla los metrados diarios que se debe realizar (según la sectorización), el número de personas necesarias para la actividad, el rendimiento diario meta, rendimiento programado, jornada diaria y el tren de actividades sectorizado.

Se muestra la plantilla de la programación Look Ahead, en las columnas se especifica el número de semana, los días y las fechas, en las filas se ubican las actividades, estas están distribuidas por elementos constructivos:

- Placas y columnas
- Muros de cerramiento
- Losa maciza, vigas y escalera

Estos elementos distribuyen en las filas una serie de actividades según el proceso constructivo de cada elemento, en la siguiente lista presentamos las actividades para la construcción de muros de cerramiento, en la tabla 9 podemos ver las demás actividades para cada elemento:

- Trazado
- Entubado y salidas IE (instalaciones eléctricas)
- Entubado y salidas IS (instalaciones sanitarias)
- Encofrado
- Concreto

También podemos observar en las columnas para cada actividad:

- Número de personas por cuadrilla: Cantidad de trabajadores en total por actividad.

- Jornada diaria: En nuestro caso se trabajan 8,5 horas diarias y 5,5 horas los sábados, completando así 48 horas a la semana, y serían 8 horas los 6 días a la semana, por lo que se consideró 8 horas en el formato.
- Ratio meta: Es un factor de la productividad.
- Rendimiento meta: Es la cantidad de trabajo (metrado), que se debe realizar en un día, en otras palabras, la producción diaria esperada. Esta es hallada de la siguiente manera; multiplicación de la jornada diaria por el número de trabajadores (cuadrilla) y dividido por el ratio meta.
- Rendimiento programado: Es la producción diaria programada, esta resulta del promedio de los avances diarios.
- Metrado 4 semanas: Es la suma de los metrados diarios programados.

Se tiene el tren de actividades, en la cual se detalla el metrado diario, y además están pintadas respecto al color de sector; asimismo todas estas actividades están secuenciadas respecto al proceso constructivo, las duraciones programadas, y el número de sectores. Tanto el tren de actividades y la sectorización son procedimientos que se realizan en conjunto ya que al tener una incongruencia en cualquiera de ellos se vuelve al otro, hasta compatibilizar y tener un producto final (Lookahead).

5.3.2. Programación semanal: Plan semanal

La programación semanal, es una parte del Lookahead, donde se definen los avances diarios de cada actividad, pueden ser actualizadas durante la semana para cumplir con las metas. Estas se realizan una vez a la semana, en nuestro caso se realizaron los viernes, para llevar a cabo una reunión al final de la jornada con los últimos planificadores (trabajadores y jefes de cuadrilla), el ingeniero residente, subcontratistas, administrador de obra, asistentes y otros, para analizar los avances, la productividad, analizar las restricciones, planificar la programación de la

siguiente semana y delegar responsabilidades para el levantamiento de las restricciones, entre otros puntos.

Entonces se define la programación de la semana que viene acomodando el trabajo que no se realizó de la semana anterior o adelantando trabajos. Este tipo de programación a corto plazo ayuda a prever con los recursos o visualizar alguna restricción para ser levantada, liberar frentes de trabajo y tomar decisiones asertivas. También nos ayudó a tener un control sobre los avances y determinar estrategias para recuperar lo perdido durante la semana o controlarlo desde la programación Look Ahead.

En la Tabla 9 se muestra el formato del plan semanal de la semana 06, se visualiza la programación de muros de cerramiento y parte de losa y vigas. Esta programación define el avance diario, para luego ser controlado y hacer un análisis de cumplimiento de actividades. Se tiene 7 actividades programadas en la semana, el cual está sectorizado; sector 02 (amarillo), sector 03(celeste) y sector 04(verde).

Trazado en muros de cerramiento; esta actividad es posterior a la colocación de mallas de acero en muros de cerramiento es realizada por un operario y un peón, en los sectores tres y cuatro, se tomó como jornada de cinco horas, teniendo como meta 50,0 ml mínimos, estos trabajos se deben realizar en dos frentes ya que se tiene dos subcontratistas de encofrado. El tiempo para la realización de esta actividad es un día por sector. Teniendo en total como meta 112,25 m en la semana 06.

- Entubado y salidas de instalaciones sanitarias; realizada por un operario y un peón, en los sectores tres y cuatro, se tomó como jornada de cinco horas, teniendo que realizar 32 puntos diarios mínimos. El tiempo para la realización de esta actividad es un día por sector, teniendo en total como meta 63 puntos en la semana 06.

- Entubado y salidas de instalaciones eléctricas; esta actividad es realizada por un operario y un peón, en los sectores tres y cuadro, se tomó como jornada de cinco horas, teniendo como meta 61 puntos diarios mínimos. El tiempo para la realización de esta actividad es un día por sector, teniendo en total como meta 122 puntos en la semana.
- Encofrado de muros de cerramiento; esta actividad procede después de tener instalados las salidas de instalaciones sanitarias y eléctricas. Se tiene dos frentes de trabajo, ya que se cuenta con dos subcontratistas. En esta semana 6 se programó el sector 02 (amarillo), sector 03 (celeste) y sector 04 (verde). Donde la producción diaria de los subcontratistas C1 es 80,61 m² y del otro subcontratista 51,90 m², para llegar a la meta evidentemente los subcontratistas C1 deben contar con aproximadamente 10 personas y los C2 con 7 personas, teniendo en total como meta 112,25 m en la semana 06.

Tabla 9. Programación Look Ahead – Semana 06
Fuente: Elaboración propia

ITEM		ACTIVIDAD LOOKAHEAD		UND	METRADO TOTAL SALDO	Ratio Meta	Rend. Meta	Rend. Programado	METRADO 4 SEMANAS	SEMANA 06							SEMANA 07							SEMANA 08							SEMANA 09							
		DESCRIPCION	Cuad.							Jorn.	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
ESTRUCTURA NIVEL CASCO - PISO 3																																						
1,2 Muros de cerramiento																																						
1.2.1	Trazado	2	5,0 h	ml	112,25	0,20	50,00	56,13	112,25	56,13		56,12																										
1.2.3	Entubado y salidas IE	2	8,0 h	pto	128,00	0,25	64,00	61,00	122,00	61,00		61,00																										
1.2.4	Entubado y salidas IS	2	8,0 h	pto	63,00	0,35	45,71	31,50	63,00	32,00		31,00																										
1.2.5	Encofrado C1	10	8,0 h	m2	403,06	1,00	80,00	80,61	403,06	93,99	82,29	82,29	72,24	72,25																								
1.2.5	Encofrado C2	7	8,0 h	m2	311,42	1,00	56,00	51,90	311,42	69,63	56,61	46,64	46,64	45,95	45,95																							
1.2.6	Concreto	5	8,0 h	m3	42,29	5,20	7,69	7,05	42,29		9,23	7,00	7,14	7,14	5,89	5,89																						
1,3 Losa maciza, vigas y escalera																																						
1.3.3	Acero en vigas	5	8,0 h	kg	4 368,46	0,040	1 000,00	1 092,12	4 368,46					1 111,12	1 136,10	946,60	1 174,64																					
1.3.2	Encofrado de viga y losa C2	10	8,0 h	m2	253,10	1,30	61,54	63,28	253,10						60,53	67,18	62,77	62,62																				
1.3.2	Encofrado de viga y losa C1	12	8,0 h	m2	291,49	1,30	73,85	72,87	291,49						71,64	71,34	75,16	73,35																				
1.3.1	Trazado de muros	2	5,0 h	ml	233,85	0,20	50,00	58,46	233,84						58,46	58,46	58,46	58,46																				
1.3.4	Acero (malla)	4	8,0 h	kg	4 506,63	0,03	1 066,67	1 126,66	4 506,63						933,38	1 236,20	996,83	1 340,22																				
1.3.6	Instalaciones sanitarias	2	8,0 h	pto	218,00	0,35	45,71	54,50	218,00						54,00	54,00	55,00	55,00																				
1.3.7	Instalaciones electricas	2	8,0 h	pto	181,00	0,25	64,00	45,25	181,00						45,00	45,00	45,00	46,00																				
1.3.8	Instalaciones de dowells	2	8,0 h	ml	233,85	0,28	57,14	58,46	233,84						58,46	58,46	58,46	58,46																				
1.3.9	Acero y encofrado en escalera	4	8,0 h	glb	1,00			0,50	1,00									0,50	0,50																			
1.3.10	Concreto losa, viga y escalera	7	5,0 h	m3	89,10			89,10	89,10										89,10																			
ESTRUCTURA NIVEL CASCO - PISO 4																																						
1,1 Columnas y placas																																						
1.1.1	Acero	6	8,0 h	kg	7 249,54	0,020	2 400,00	2 416,51	7 249,54																													
1.1.2	Trazado	2	4,0 h	ml	91,12	0,20	40,00	30,37	91,12																													
1.1.3	Encofrado y desencofrado C	6	8,0 h	m2	127,94	1,00	48,00	42,64	127,91																													
1.1.4	Encofrado y desencofrado C	9	8,0 h	m2	202,02	1,00	72,00	67,34	202,01																													
1.1.5	Concreto	8	8,0 h	m3	36,94	5,20	12,31	12,31	36,94																													
1,2 Muros de cerramiento																																						
1.2.2	Acero	4	8,0 h	kg	1 720,16	0,060	533,33	430,04	1 720,16																													
1.2.1	Trazado	2	5,0 h	ml	233,85	0,20	50,00	58,46	233,84																													
1.2.3	Entubado y salidas IE	2	8,0 h	pto	259,00	0,25	64,00	64,75	259,00																													
1.2.4	Entubado y salidas IS	2	8,0 h	pto	126,00	0,35	45,71	31,50	126,00																													
1.2.5	Encofrado C1	10	8,0 h	m2	627,12	1,00	80,00	78,39	627,12																													
1.2.5	Encofrado C2	7	8,0 h	m2	414,13	1,00	56,00	51,77	414,13																													
1.2.6	Concreto	5	8,0 h	m3	53,58	5,20	7,69	6,81	47,69																													
1,3 Elementos horizontales: Losa maciza y vigas																																						
1.3.3	Acero en vigas	5	8,0 h	kg	4 424,72	0,040	1 000,00	1 111,12	4 424,72																													

- Colocación de concreto en muros; esta actividad es realizada aproximadamente por 5 personas, en la cual esta semana se programó los trabajos en el sector 02 (amarillo), sector 03 (celeste) y sector 04 (verde), teniendo como meta una producción mínima de 7,69 m³. Teniendo en total como meta 42,29 m³ en la semana 06.
- Acero en vigas; es una actividad realizada por 5 personas, esta propuesta realizar esta actividad en 4 días, de la cual en la semana 06 se realizará el sector 01, con una meta de 1 111,12 kg.

5.3.3. Restricciones de obra

Las restricciones de obra son aquellos sucesos que se dan en obra durante la realización de las actividades, se les considera como desperdicios porque no agregan valor alguno al producto final y generan un sobre costo. En el cuadro 16 se muestran el formato de restricciones detectadas en obra hasta la semana 06, donde se tiene que llenar con los siguientes datos:

- Tipo de restricción: En el cuadro 14 se especifica los tipos de restricciones.
- Actividad del Look Ahead: Estas son las actividades del tren de actividad.
- Descripción: Se realiza un breve resumen de la causa del retraso.
- Responsable: En el cuadro 15 se lista los nombres de los responsables de cada área.
- Acciones correctivas: Estas decisiones son tomadas en una reunión colaborativa con los últimos planificadores (jefes de cuadrilla y trabajadores) y los administradores de la obra y oficina técnica y se delega responsabilidades a los responsables de cada área.

- Estado: Se definió tres estados. En proceso(amarillo), cuando se delega una responsabilidad y se está realizando su levantamiento. Pendiente (rojo), cuando se delega una responsabilidad y se espera que se realice su levantamiento durante la fecha acordada y aun no se tiene novedades sobre su solución y liberado (verde), cuando la restricción ha sido liberada.
- Plazo: Es el tiempo acordado para su solución.
- Semana- día: En el formato presentado se muestra las semanas y días se marcan en los cuadros correspondientes para su mejor visibilidad.

Como se observa en el cuadro 16, la restricción de la semana 06 detectada fue: Paralización de las actividades de colocación de acero por falta de pagos a los trabajadores (23 de marzo), cuyo tipo de restricción es subcontrata, la actividad Look Ahead perjudicada es la colocación de acero en vigas y losas, cuyo responsable en levantar la restricción es el Gerente de Proyectos. En una reunión con los jefes de cuadrilla y algunos trabajadores, expusieron su caso y se acordó agilizar el pago correspondiente para el lunes 25 de marzo y recuperar durante la próxima semana el retraso, delegando esa responsabilidad al gerente de proyectos y al subcontratista recuperar lo perdido. Felizmente, dicha actividad no influyó en las demás actividades, porque estas se estuvieron realizando con normalidad.

Cuadro 14. Tipo de restricción de obra

Fuente: Elaboración propia

TIPO DE RESTRICCIÓN
Actividad
Equipos
Información Técnica
Sub contrata
Mano de Obra
Servicios
Materiales
Método
Permisos o Licencia

Cuadro 15. Nombre de personas responsables en áreas del proyecto

Fuente: Elaboración propia

ÁREA	NOMBRE
Gerente de Proyecto	Manuel Zúñiga
Administrador de Obra	Fredy Montoya
Ingeniero residente	Gilbert Acosta
Asistente de ingeniería	Lizabeth Choquesa
Ingeniero de seguridad en obra	Carlos Álvarez
Almacenero	Josep Acosta
Supervisión	Banco Banbif
Subcontrata de encofrados 01	Vicente Ticono
Subcontrata de encofrados 02	Luis López
Subcontrata de acero	Elías Chambilla
Subcontrata de IE	Eduardo Ortiz
Subcontrata de IS	Andrés Condori
Jefe de cuadrilla por casa	Serafín Blanco

Tabla 10 . Programación Plan semanal – Semana 06
 Fuente: Elaboración propia

FORMATO										Código: 006						
LAST PLANNER										Constructora: Casla inmobiliaria						
OT.LP.006										Semana: SEMANA 06						
Versión: 01										Aprobado por:						
PLAN SEMANAL										Elaborado por: Lizbeth C.						
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)																
ITEM	ACTIVIDAD LOOKAHEAD			UND	METRADO TOTAL SALDO	Ratio Meta	Rend. Meta	Rend. Programado	METRADO 1 SEMANA	SEMANA 06						
	DESCRIPCIÓN	Cuad.	Jorn.							L	M	M	J	V	S	D
									18-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	23-mar	24-mar	
ESTRUCTURA NIVEL CASCO - PISO 3																
1,2	Muros de cerramiento															
1.2.1	Trazado	2	5,0 h	ml	112,25	0,20	50,00	56,13	112,25	56,13		56,12				
1.2.3	Entubado y salidas IE	2	5,0 h	pto	122,00	0,25	40,00	61,00	122,00	61,00		61,00				
1.2.4	Entubado y salidas IS	2	5,0 h	pto	63,00	0,35	28,57	31,50	63,00	32,00		31,00				
1.2.5	Encofrado C1	9	8,5 h	m2	403,06	0,85	90,00	80,61	403,06	93,99	82,29	82,29	72,24	72,25		
1.2.5	Encofrado C2	8	8,5 h	m2	311,42	0,90	75,56	51,90	311,42	69,63	56,61	46,64	46,64	45,95	45,95	
1.2.6	Concreto	7	5,0 h	m3	36,40	5,20	6,73	7,28	36,40		9,23	7,00	7,14	7,14	5,89	
1,3	Elementos horizontales: Losa maciza y vigas															
1.3.3	Acero en vigas	6	8,0 h	kg	4 368,46	0,040	1 200,00	1 092,12	-						1 111,12	

5.4. Control

La fase de control de la gestión de la productividad, consiste en realizar un seguimiento diario de los avances diarios con respecto a lo programado, el Sistema de Gestión BIM-LEAN, propone dos herramientas para tal propósito: Por un lado, tenemos un formato en Excel, que nos permite realizar un análisis sobre los avances en comparación con los programado en el Look Ahead y el plan maestro. En segundo lugar, tenemos a los modelos BIM donde filtraremos los elementos ya liberados según las actividades.

Estas herramientas de control nos permiten, realizar un estudio posterior para su mejora continua en el desarrollo de la construcción, y tener así una gestión de la productividad más eficiente.

5.4.1. Avance Semanal

Esta herramienta es una extensión de la programación Look Ahead, consiste en un formato Excel (ver Tabla 11), en las columnas se tiene las semanas y la fechas, y en las filas se tiene las actividades (acero, trazado, encofrado, concreto, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas e instalación de dowells) y en cada una de las actividades se tiene seis filas, que especifican:

- L.H: Se refiere a las programaciones Look Ahead que se van actualizando semanalmente.
- Realizado: Se refiere al avance real diario.
- Plan: Se refiere a la programación Gantt diaria.
- Ac. L.H: Acumulado de la programación Look Ahead.
- Ac. Real: Es el acumulado de los avances diarios.
- Ac. Plan: Es el acumulado de la programación diaria del Gantt.

Cabe recalcar que las actividades semejantes se han unido en una sola, por ejemplo, si se tiene encofrados de placas, columnas, muros, viga y losa, se han unido en la actividad encofrados.

5.4.2. Avance semanal BIM

El avance semanal BIM es una herramienta que nos ayudará a controlar el avance diario de las actividades programadas, y tendremos así un registro de datos paramétricos dentro del modelo que será usado como herramienta de gestión visual para las reuniones colaborativas.

5.4.2.1. Avance semanal BIM- colocación de acero

En la Figura 53 se muestra el modelo BIM (modelo tridimensional) con los avances diarios de la colocación de acero en columnas y placas, el cual fue realizado en tres días, cumpliendo con la sectorización programada. En la Figura 55 se observa la leyenda de los avances según las fechas realizadas y mostradas por elementos.

Se muestra luego los avances de colocación de acero en muros de cerramiento (Figura 55), con respecto a la sectorización hubo ligeros cambios con respecto al avance de los elementos, pero se cumplió con el tiempo propuesto, las modificaciones se acomodaron a los trabajos diarios, pero se respetó la dirección de la sectorización. Estos también cumplieron con los tiempos programados.

Los avances de vigas y losa no cumplieron con la sectorización acordada debido al retraso de los encofrados de muros del frente de los subcontratistas C1, por lo cual iniciaron los trabajos por la parte trasera para acabar por la parte frontal. La Figura 54 muestra los avances de diarios de colocación de acero en vigas y losa).

Tabla 11. Avance semanal – Semana 06
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Und	Observac.	TOTAL SEM 0	TOTAL SEM 1	TOTAL SEM 2	TOTAL SEM 3	TOTAL SEM 4	TOTAL SEM 5	Sem 6 - 18-marzo - 24-marzo						TOTAL SEM 6		
									18-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	23-mar		24-mar	
Acero	kg	L.H.	-	8 482,31	1 143,89	2 720,52	10 421,90	6 444,97							1 111,12	-	1 111,12
		Real	-	7 776,80	1 143,89	2 944,62	8 406,19	6 444,97							738,11		738,11
		Plan		5 325,07	4 219,15	4 833,03	1 671,15	-			873,69	873,69	873,69	873,69	873,70		4 368,46
	kg	Ac. L.H.	-	8 482,31	9 626,20	12 346,72	22 768,62	29 213,59	29 213,59	29 213,59	29 213,59	29 213,59	29 213,59	30 324,71	30 324,71		30 324,71
		Ac. Real		7 776,80	8 920,69	11 865,31	20 271,50	26 716,47	26 716,47	26 716,47	26 716,47	26 716,47	26 716,47	27 454,58	27 454,58		27 454,58
		Ac. Plan	10 668,07	15 993,14	20 212,29	25 045,32	26 716,47	26 716,47	26 716,47	27 590,16	28 463,85	29 337,54	30 211,23	31 084,93	31 084,93		31 084,93
Trazado	m	L.H.	-	149,58	175,38	-	264,21	177,67	58,46								116,92
		Real	-	149,58	175,38	-	233,84	184,13	28,58	30,05	29,23	27,82	25,15				112,25
		Plan		233,84	-	91,12	233,84	-									-
	m	Ac. L.H.	-	149,58	324,96	324,96	589,17	766,84	825,30	825,30	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76
		Ac. Real	-	149,58	324,96	324,96	558,80	742,93	771,51	801,56	830,79	858,61	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76
		Ac. Plan	324,96	558,80	558,80	649,92	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76	883,76
Encofrado y desencofrado	m2	L.H.	-	585,51	841,66	521,78	405,92	738,22	163,62	138,90	128,93	118,88	118,20	45,95	-		714,48
		Real	-	395,15	707,27	519,67	293,70	656,06	130,73	126,05	155,02	124,81	142,22	35,65			714,48
		Plan		326,86	217,81	329,95	347,07	694,19			54,45	54,45	54,45				163,35
	m2	Ac. L.H.	-	585,51	1 427,17	1 948,95	2 431,54	3 169,76	3 333,38	3 472,28	3 601,21	3 720,09	3 838,29	3 884,24	3 884,24		3 884,24
		Ac. Real		395,15	1 102,42	1 622,09	1 915,79	2 571,85	2 702,58	2 828,63	2 983,65	3 108,46	3 250,68	3 286,33	3 286,33		3 286,33
		Ac. Plan	1 371,20	1 698,06	1 915,87	2 245,82	2 592,89	3 287,08	3 287,08	3 287,08	3 341,53	3 395,98	3 450,43	3 450,43	3 450,43		3 450,43
Colocacion de concreto	m	Look Ahead	-	43,26	38,64	17,87	89,10	50,46	9,23	7,00	7,14	7,14	5,89	-			36,40
		Real	-	36,94	35,71	17,87	89,10	48,23	9,54	7,42		5,72	7,34	7,93			37,95
		Plan		-	89,10	36,94	-	44,65	8,93								8,93
	m	Ac. L.H.	-	43,26	81,90	117,64	206,74	257,20	257,20	266,43	273,43	280,57	287,71	293,60	293,60		293,60
		Ac. Real		36,94	72,65	90,52	179,62	227,85	237,39	244,81	244,81	250,53	257,87	265,80	265,80		265,80
		Ac. Plan	90,52	90,52	179,62	216,56	216,56	261,21	270,14	270,14	270,14	270,14	270,14	270,14	270,14		270,14
Entubado y salidas de instalaciones electricas	m3	Look Ahead	-	96,00	161,00	-	180,00	129,00	61,00			61,00					122,00
		Real	-	98,00	161,00	-	180,00	137,00	28,00	35,00		32,00	27,00				122,00
		Plan		36,00	145,00	-	259,00	-									-
	m3	Ac. L.H.	-	96,00	257,00	257,00	437,00	566,00	627,00	627,00	688,00	688,00	688,00	688,00	688,00	688,00	688,00
		Ac. Real	-	98,00	259,00	259,00	439,00	576,00	604,00	639,00	671,00	698,00	698,00	698,00	698,00	698,00	698,00
		Ac. Plan	259,00	295,00	440,00	440,00	699,00	699,00	699,00	699,00	699,00	699,00	699,00	699,00	699,00	699,00	699,00
Entubado y salidas de instalaciones sanitarias	m3	Look Ahead	-	46,00	82,00	-	218,00	63,00	32,00			31,00					63,00
		Real	-	44,00	82,00	-	218,00	63,00	18,00	23,00	22,00						63,00
		Plan		43,00	175,00	-	126,00	-									-
	m3	Ac. L.H.	-	46,00	128,00	128,00	346,00	409,00	441,00	441,00	472,00	472,00	472,00	472,00	472,00	472,00	472,00
		Ac. Real	-	44,00	126,00	126,00	344,00	407,00	425,00	448,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00
		Ac. Plan	126,00	169,00	344,00	344,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00	470,00
Instalaciones de dovels	m3	Look Ahead	-	-	-	-	233,84	-									-
		Real	-	-	-	-	233,84	-									-
		Plan		-	-	233,84	-	-									-
	m3	Ac. L.H.	-	-	-	-	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84
		Ac. Real	-	-	-	-	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84
		Ac. Plan	-	-	-	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84	233,84

5.4.2.2. Avance semanal BIM- encofrado

En la Figura 56 se muestra el modelo BIM con los avances diarios de encofrado en columnas y placas, se tiene dos frentes de trabajo, ya que se tiene a dos subcontratistas para esta actividad. Según la sectorización se tiene tres sectores, El subcontratista C1 logró realizar dicha actividad en 3 días, el subcontratista C2, tuvo mayores inconvenientes sobre los avances debido a que presenta mayores metrados, por lo que se tomaron cuatro días para la realización de esta actividad.

En la figura 58 se observa la leyenda de los avances según las fechas realizadas y mostradas por elementos. Se muestra los avances de encofrado en muros de cerramiento, la sectorización inicial muestra cuatro sectores, estas deben ser realizadas en 2 días cada una, según los avances mostrados en la Figura 56, el subcontratista C1 realizó los trabajos en 9 días, y el subcontratista C2, realizó la actividad en 8 días. En el frente C2 se tuvo inconvenientes debido a los mayores metrados presentados y la falta de personal para realizar los trabajos.

En la Figura 57 se observa los avances diarios de encofrado de viga y losa, podemos observar que se siguió la sectorización de la programación, donde divide cada frente en cuatro sectores, pero en la leyenda (Figura 58), se puede observar que el subcontratista C1 demoró seis días, ello se debe porque al encofrar las vigas no se encofra la parte exterior y por lo tanto dejan un día extra para realizar esta tarea, lo cual no se tomó en cuenta en la programación. El subcontratista C2 demoró 7 días en el encofrado debido a la falta de materiales.

5.4.2.3. Avance semanal BIM- colocación de concreto

En la Figura 59 se muestra el modelo BIM, con los avances diarios de la colocación de concreto en columnas y placas, el cual fue realizado en cinco días, no cumpliendo

con a la sectorización programada, debiéndose cumplir en tres días, ello debido a la falta de elementos liberados para su vaciado. En la figura 60 se observa la leyenda de los avances según las fechas realizadas y mostradas por elementos. Se muestra los avances de colocación de concreto en muros de cerramiento, según la sectorización se tiene cuatro sectores definidos, previsto realizar la tarea en 8 días, sin embargo, se tomaron nueve días según el avance real (ver Figura 59).

La sectorización y el avance real varían debido a que diariamente en obra se presenta situaciones que comprometen la no realización de ciertos elementos, por lo cual se trata de seguir la dirección de la sectorización, cambiando algunos elementos con otros para llegar a la producción diaria programada.

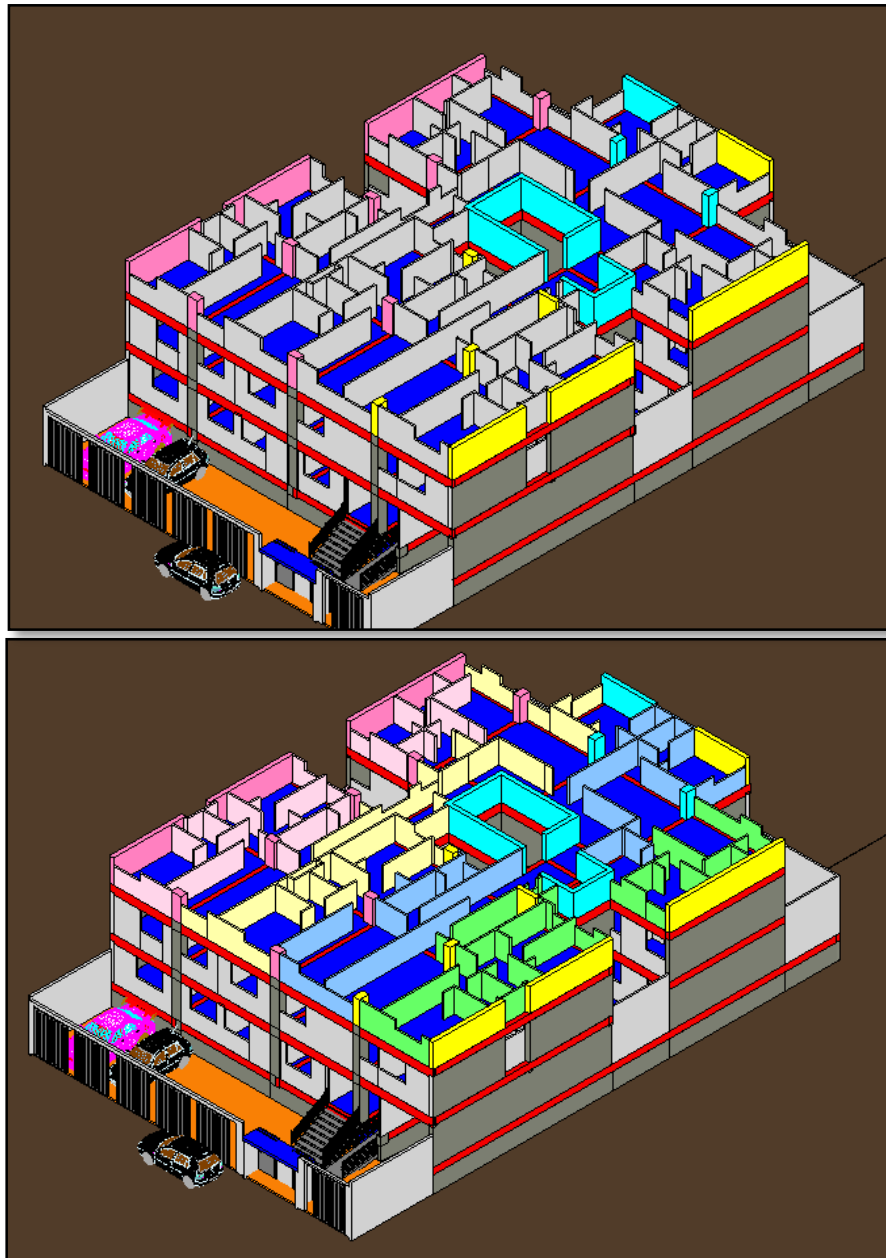


Figura 53. Avance diario BIM de colocación de acero en elementos verticales - tercer piso

Fuente: Elaboración propia

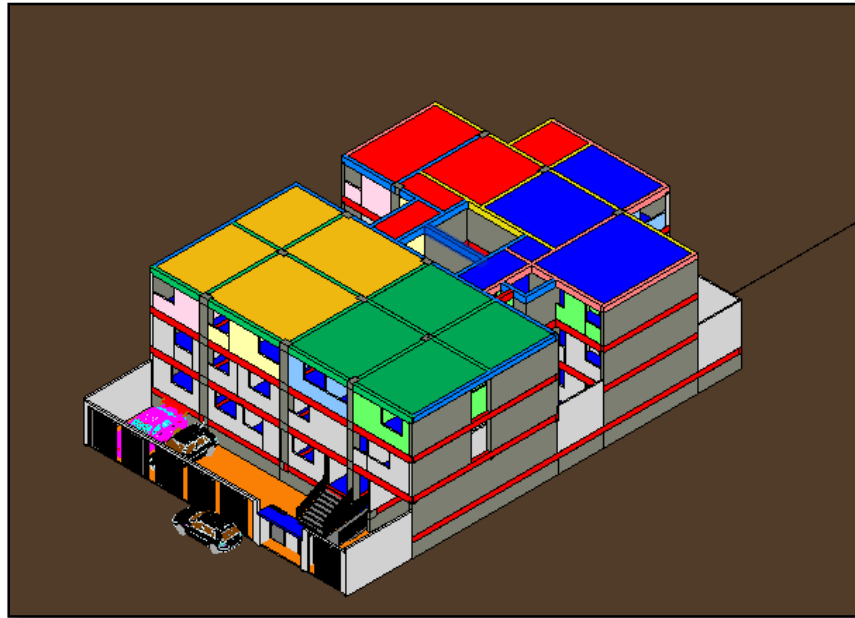


Figura 54. Avance diario BIM de colocación de acero en elementos horizontales
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Visibilidad	Proyección/Superficie			Corte		Tramado
		Líneas	Patrones	Transparen...	Líneas	Patrones	
Ac.9.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.28.03.19 L	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.29.03.19 L	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.30.03.19 L	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.31.03.19 L	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.25.03.19 V	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.26.03.19 V	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.27.03.19 V	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.22.03.19 V	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.13.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.14.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.15.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.16.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.11.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Ac.12.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Figura 55. Leyenda de los avances diarios BIM de colocación de acero
Fuente: Elaboración propia

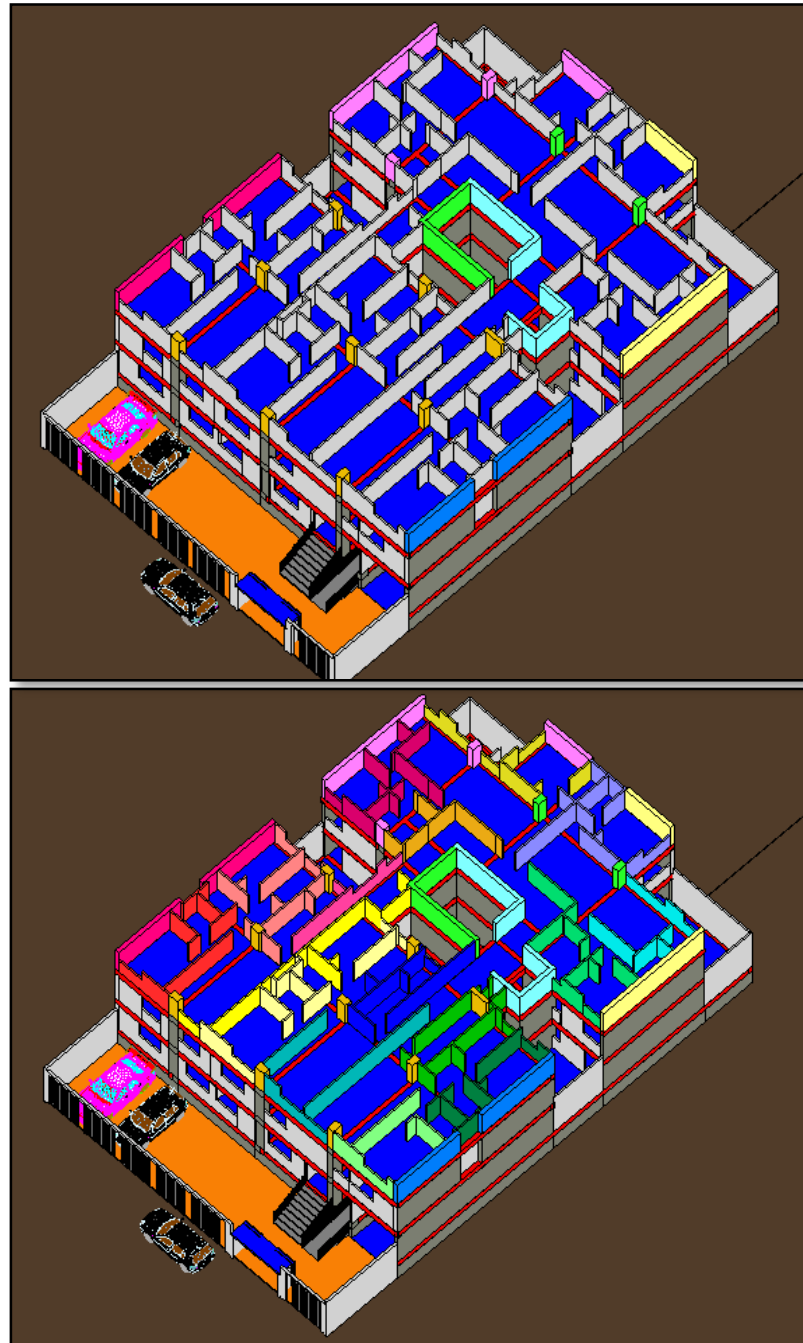


Figura 56. Avance diario BIM de encofrados en elementos verticales
Fuente: Elaboración propia

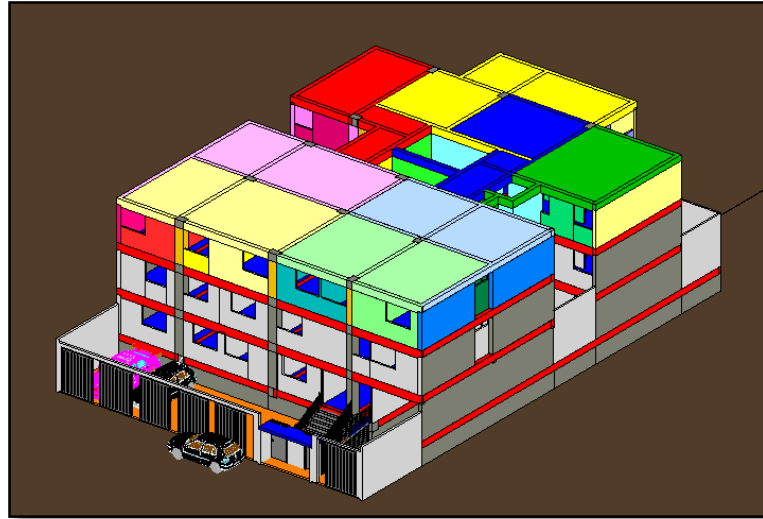


Figura 57. Avance diario BIM de encofrados en elementos verticales
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Visibilidad	Proyección/Superficie			Corte		Tramado
		Líneas	Patrones	Transparen...	Líneas	Patrones	
Enc.11.03.19 PyC C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.25.03.19 LyV C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.26.03.19 LyV C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.27.03.19 LyV C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.28.03.19 LyV C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.30.03.19 LyV C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.31.03.19 LyV C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.25.03.19 LyV C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.26.03.19 LyV C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.27.03.19 LyV C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.28.03.19 LyV C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.30.03.19 LyV C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.31.03.19 LyV C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.01.04.19 LyV C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.15.03.19 M C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.16.03.19 M C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.18.03.19 M C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.19.03.19 M C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.20.03.19 M C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.21.03.19 M C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.22.03.19 M C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.14.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.15.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.16.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.18.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.19.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.20.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.21.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.22.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.23.03.19 M C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.12.03.19 PyC C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.13.03.19 PyC C1	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.11.03.19 PyC C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.12.03.19 PyC C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.13.03.19 PyC C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Enc.14.03.19 PyC C2	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Figura 58. Leyenda de los avances diarios BIM de encofrados
Fuente: Elaboración propia

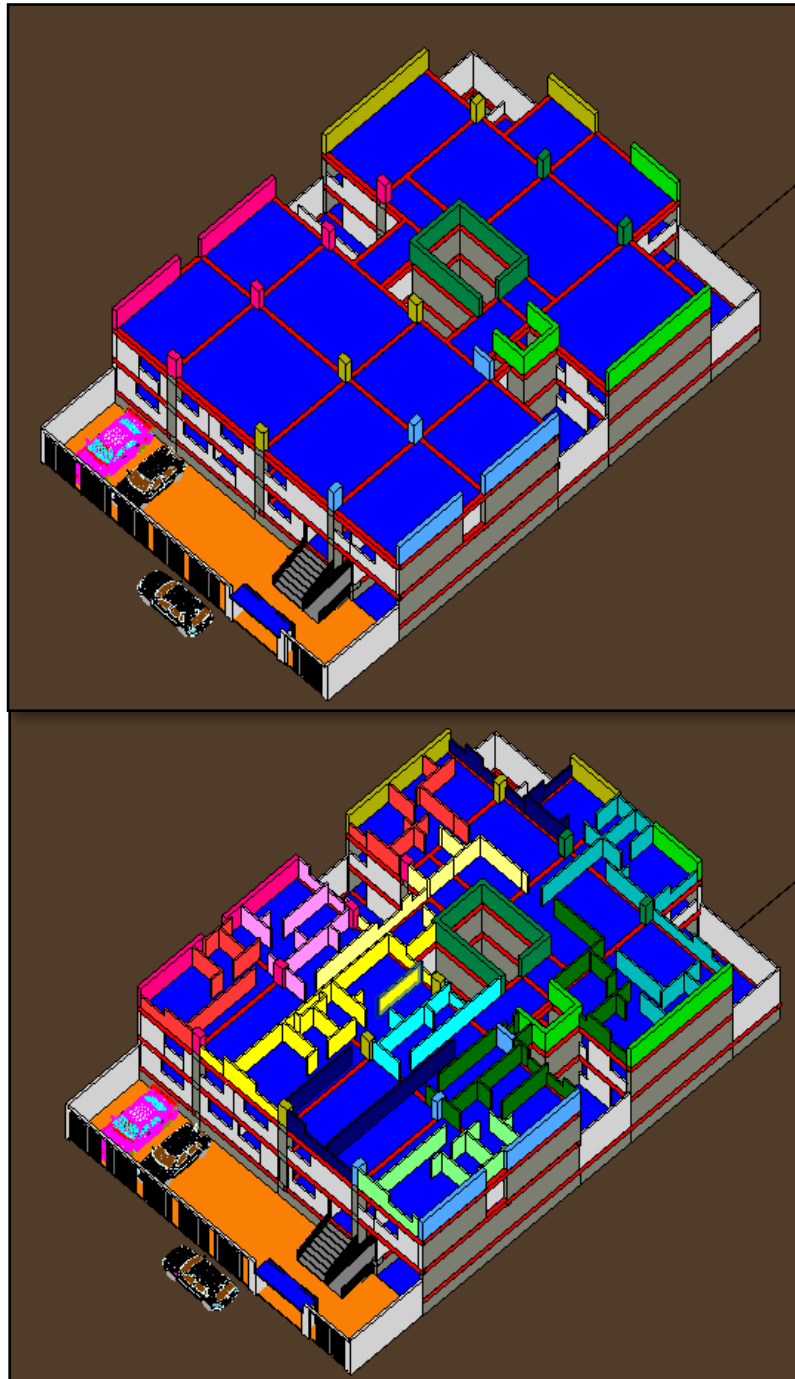


Figura 59. Avance diario BIM de colocación de concreto en elementos verticales
Fuente: Elaboración propia

Nombre	Visibilidad	Proyección/Superficie			Corte		Tramado
		Líneas	Patrones	Transparen...	Líneas	Patrones	
Con.12.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.15.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.16.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.18.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.19.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.20.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.21.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.22.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.23.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.25.03.19 M	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.01.04.19 VyL	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.13.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.14.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.15.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Con.16.03.19 PyC	<input checked="" type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>

Figura 60. Leyenda de los avances diarios BIM de colocación de concretos
Fuente: Elaboración propia

5.1. Retroalimentación

Uno de los principios de la filosofía Lean es la introducción de la mejora continua en los procesos, para tal propósito se necesita tener una base de datos que nos sirvan de indicadores de la situación real de la obra con respecto a la productividad, es por ello que en las fases anteriores se utilizó herramientas que organicen y ordenen la producción. Esta fase intenta interpretar dichos datos y dar un diagnóstico de la situación real de la obra y compartir dichos resultados con los últimos planificadores y agentes de la construcción, de tal manera que se genere una participación colaborativa entre todos para realizar una mejora en las próximas actividades.

A continuación, se presenta tres métodos para el análisis de los datos obtenidos en la fase de control:

5.1.1. Porcentaje de actividades completadas (PAC)

El siguiente método consiste en evaluar la programación de la semana pasada (plan semanal), mediante un análisis de actividades no cumplidas, donde hace referencia


al tipo de restricción, a la causa del no cumplimiento y medida correctiva que se tomó (ver Tabla 12). Se puede notar que se tiene 12 actividades programadas para la semana 05, pero solo son realizadas 9. Entonces hacemos un gráfico de porcentajes sobre las responsabilidades para cada área. En la parte inferior de Figura 61 se muestra un cuadro resumen de las responsabilidades por área evaluadas por semana.

5.1.2. Trazabilidad semanal del porcentaje de asignaciones completadas (PAC)

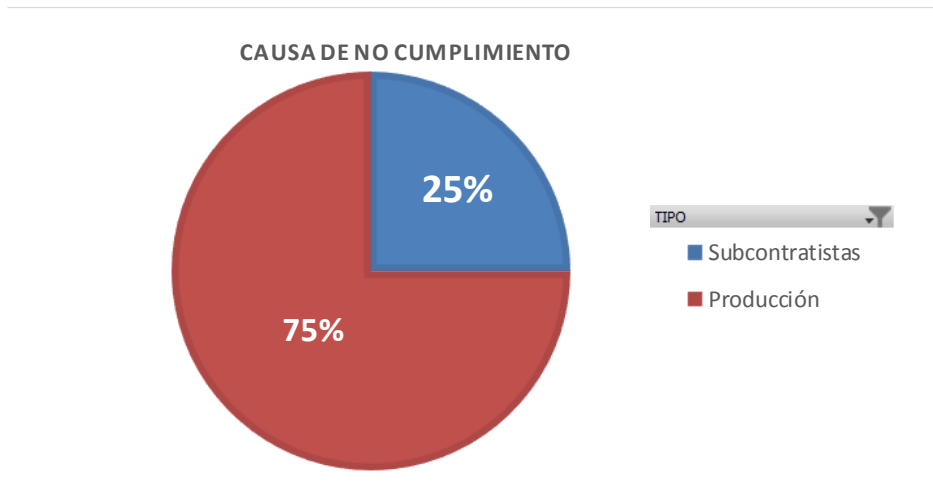
La siguiente herramienta de control consiste en la evaluación porcentual de las actividades cumplidas semanalmente, mediante un gráfico de donde se tiene el porcentaje de actividades completadas vs actividades completadas acumuladas y un factor indicativo que evalúa la eficiencia de la programación, cuyo valor es el 80%. Si el porcentaje de las actividades esta sobre el 80% indica un buen desempeño de cumplimiento.

En la Tabla 13 se muestra el porcentaje de asignaciones completadas hasta la semana 05, se observa la línea roja que viene hacer un valor porcentual de las actividades completada durante cada semana. La semana 01 se tiene un 40% de actividades completadas, siendo este valor realmente bajo, por lo cual se evaluó las causas de incumplimiento, siendo estas; falta de material para las instalaciones sanitarias y eléctricas, falta de material para colocar acero en columnas y placas, retraso en las actividades de colocación de acero y encofrado. En la semana 02 se trató de mejorar, teniendo así un 67%. En la semana 03 se tuvo un 88%, entonces podemos indicar que el proyecto está relativamente bien debido a la mejora continua, en la semana 05 y 06 se tuvo una baja debido al inicio del nuevo piso 03, con un 73% y 75% respectivamente.

Tabla 12. Porcentaje de actividades completadas – Semana 06
Fuente: Elaboración propia

 FORMATO LAST PLANNER OT.LP.006 Versión: 01															Código: 005 Constructora: Casta inmobiliaria Semana: SEMANA 06 Aprobado por: Elaborado por: Lizbeth C.				
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)															PERIODO: 11-mar al 17-mar 2019				
ITEM	ACTIVIDAD				METRADO TOTAL	REND	METRADO EJECUTADO SEMANA 05	SEMANA 05 - Programado							¿CUMPLIÓ?		TIPO	CAUSA DE NO CUMPLIMIENTO	MEDIDA CORRECTIVA
	DESCRIPCION	Cadrilla	Jornada	UND				L	M	M	J	V	S	D	SI	NO			
								11-mar	12-mar	13-mar	14-mar	15-mar	16-mar	17-mar					
ESTRUCTURA NIVEL CASCO - PISO 3																			
1,1	Columnas y placas																		
1.1.1	Acero	6	8,0 h	kg	4 773,82	2 386,91	4 773,82	2 201,24	2 572,58								X		
1.1.2	Trazado	2	3,0 h	ml	91,12	30,37	91,12	30,37	30,37	30,38							X		
1.1.3	Encofrado y desencofrado C2	6	8,0 h	m2	127,94	42,64	127,94	44,44	39,03	44,44							X		
1.1.4	Encofrado y desencofrado C1	9	8,0 h	m2	202,02	67,34	202,01	67,78	69,93	64,30							X		
1.1.5	Concreto	8	8,0 h	m3	36,94	12,31	36,94		13,33	10,59	13,02						X		
1,2	Muros de cerramiento																		
1.2.2	Acero	4	8,0 h	kg	1 720,16	430,04	1 720,16		429,43	446,69	466,75	377,29					X		
1.2.1	Trazado	2	5,0 h	ml	116,92	58,46	121,59		58,46		58,46						X		
1.2.3	Entubado y salidas IE	2	8,0 h	pto	129,00	64,50	137,00		64,00		65,00						X		
1.2.4	Entubado y salidas IS	2	8,0 h	pto	63,00	31,50	63,00		31,00		32,00						X		
1.2.5	Encofrado C1	10	8,0 h	m2	235,96	78,65	224,06				76,93	76,93	82,10				X	Oficina Técnica Exigir mayor rendimiento meta en la programación, de lo que se puede realizar en campo.	Se realizara una reprogramación con los recursos disponibles(mano de obra) y el rendimiento real.
1.2.5	Encofrado C2	7	8,0 h	m2	172,34	57,45	102,71				57,87	57,86	56,61				X	Seguridad en obra Suspensión de dos trabajadores, debido a tardanzas reiteradas.	Se conversó con el ingeniero de seguridad, cambiar el castigo por otro, ya que al retirar trabajadores, se disminuye la productividad diaria.
1.2.6	Concreto	5	8,0 h	m3	13,52	6,76	11,29					6,76	6,76				X	Subcontratistas Falta de liberación elementos para su debida colocación de concreto.	Se tomó como acuerdo trabajar el sábado de la semana siguiente la jornada completa.

TOTAL	
N° DE ACTIVIDADES COMPLETADAS EN LA SEMANA:	9
N° DE ACTIVIDADES PROGRAMADAS EN LA SEMANA:	12
% ACTIVIDADES COMPLETADAS:	75,0%

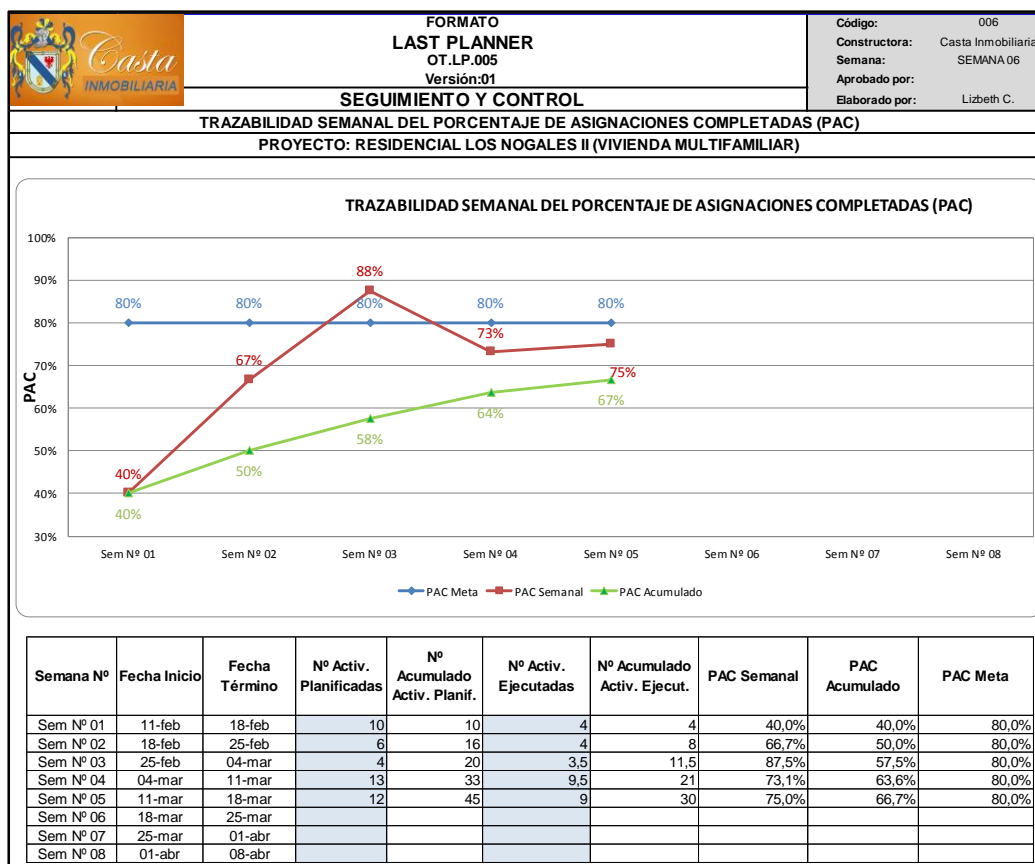


DESCRIPCIÓN \ SEMANAS	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	SEM 9
Gerencia									
Administración del proyecto	2								
Residencia			1						
Producción	2	1		3	3				
Oficina Técnica									
Seguridad en obra									
Subcontratistas	1			1	1				
Almacén	1	1							
Supervisión									
	6	2	1	4	4	0	0	0	0

Figura 61. Responsables de las causas de no cumplimiento – Semana 06
Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Porcentajes de asignaciones completadas – Semana 06

Fuente: Elaboración propia



5.1.3. Circuito fiel

En el capítulo 4 se aplicó y explicó la función de esta herramienta con respecto a la productividad. Esta herramienta refleja el avance diario, el número de personas que intervienen en la ejecución de dicha actividad, las horas hombre empleadas y con estos datos se obtiene el rendimiento diario, este es mismo es operado, con el rendimiento presupuestal y el costo de hora hombre promedio se halla una pérdida o ahorro aproximado. Lo cual nos será útil para el análisis de los resultados.

Para su mayor explicación, se tomará de ejemplo el circuito fiel de muros de cerramiento en encofrados, colocación de acero y colocación de concreto, se explicará el comportamiento de estos:

Encofrado de muros de cerramiento C1

En la Tabla 14 presentamos el circuito fiel de encofrados de muros de cerramiento del frente de los subcontratistas C1, donde la cantidad de trabajadores es nueve, el avance diario varía entre 68,52 m² y 77,71 m², teniendo así un rendimiento muy variado entre 0,98 hh/m² y 1,26 hh/m², según se puede observar en la tabla, se presenta una pérdida de 63,2 soles en mano de obra.

Podemos observar también en la Figura 62, una gráfica de comparación de rendimientos (diario, promedio y presupuestado) según los avances diarios. Observamos que se tiene el rendimiento promedio está por encima del presupuestado, pero no es mucha la diferencia, lo cual concluye en menores pérdidas de mano de obra.

Encofrado de muros de cerramiento C2

En la Tabla 15 presentamos el circuito fiel de encofrados de muros de cerramiento del frente de los subcontratistas C2, donde la cantidad de trabajadores varía entre siete y ocho, el avance diario varía entre 52,1 m² y 77,31 m², teniendo así un rendimiento muy variado entre 0,97 hh/m² y 1,31 hh/m², según se puede observar en la tabla, se presenta una pérdida de 64,4 soles en mano de obra.

Podemos observar también en la Figura 63, una gráfica de comparación de rendimientos (diario, promedio y presupuestado) según los avances diarios. Observamos que se tiene el rendimiento promedio está por encima del

presupuestado, pero no es mucha la diferencia, lo cual concluye en menores pérdidas de mano de obra, pero se observa un rendimiento diario muy variado

Colocación de concreto en muros de cerramiento

En la Tabla 16 presentamos el circuito fiel de colocación de concreto en muros de cerramiento, donde la cantidad de trabajadores varía entre nueve y seis, el avance diario es muy discontinuo ya que varía entre $4,34 \text{ m}^3$ y $9,54 \text{ m}^3$, principalmente ello se debe a que no se tenían elementos liberados para su vaciado debido al bajo rendimiento de encofrados, teniendo así un rendimiento muy variado entre $4,41 \text{ hh/m}^3$ y $6,91 \text{ hh/m}^3$, según se puede observar en la tabla, se presenta una ganancia de 398,6 soles en mano de obra, ello se debe a que se superó el rendimiento presupuestal.

Podemos observar también en la Figura 64, que el rendimiento promedio está por debajo del presupuestado, lo cual concluye en ganancias en mano de obra. Se nota que el rendimiento real (diario) es muy discontinuo.

Colocación de acero en muros de cerramiento

En la Tabla 17 presentamos el circuito fiel de colocación de acero en muros de cerramiento, donde la cantidad de trabajadores varía entre dos a tres, el avance diario es muy discontinuo ya que varía entre 191,65 kg y 384,90 kg, teniendo así un rendimiento casi constante entre $0,07 \text{ hh/kg}$ y $0,09 \text{ hh/kg}$, según se puede observar en la tabla, se presenta una pérdida de 164,9 soles en mano de obra.

Podemos observar también en la Figura 65, que el rendimiento promedio está por encima del presupuestado, lo cual concluye en pérdidas de mano de obra relativamente bajas, Se nota que el rendimiento real (diario) es muy discontinuo.

El circuito fiel es una herramienta de indicadores de la producción diaria, que muestra un valor aproximado de pérdidas y ganancias en la realización de las actividades y además nos permite dimensionar la cuadrilla de trabajadores optima de tal manera que se reduzca estas pérdidas y se mejore el proceso.

Tabla 14. Circuito fiel – Encofrado de muros de cerramiento C1
Fuente: Elaboración propia

Descripción		Fecha	14-mar	15-mar	16-mar	18-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar	23-mar
		Día	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Número de trabajadores	und	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	5,00
Horas hombre	hh	76,5	76,5	76,5	76,5	76,5	76,5	76,5	76,5	76,5	45
Horas hombre acumuladas	hh	76,5	153,00	229,50	306,00	382,50	459,00	535,50	612,00	657,00	657,00
Avance diario	m2	74,26	74,93	74,87	74,87	73,95	77,71	68,52	72,36	35,65	
Metrado acumulado	m2	74,26	149,19	224,06	298,93	372,88	450,59	519,11	591,47	627,12	
Rendimiento diario	hh/m2	1,03	1,02	1,02	1,02	1,03	0,98	1,12	1,06	1,26	
Rendimiento acumulado	hh/m2	1,03	1,03	1,02	1,02	1,03	1,02	1,03	1,03	1,05	
Rendimiento presupuestado	hh/m2	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	
Ganancia/pérdida del día	hh	0,74	1,5	1,5	1,5	0,74	4,66	-5,48	-1,45	-7,84	
Ganancia/pérdida acumulado	hh	0,74	2,24	3,74	5,24	5,98	10,64	5,16	3,71	-4,13	
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,30	
Ahorro/pérdida del día	S/	11,3	23,0	23,0	23,0	11,3	71,3	-83,8	-22,2	-120,0	
Ahorro/pérdida acumulado	S/	11,3	34,3	57,2	80,2	91,5	162,8	78,9	56,8	-63,2	

Rendimiento presupuesto	1,04	HH/m2
Rendimiento meta	0,93	HH/m2
Productividad presupuesto	97,81	m2/jornada
Productividad meta	110,04	m2/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	12	hombres

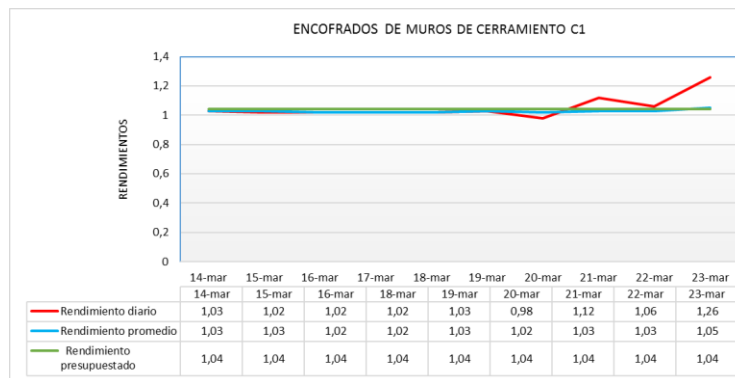



Figura 62. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – encofrado de muros de

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Circuito fiel – Encofrado de muros de cerramiento C2

Fuente: Elaboración propia

	FORMATO		Código: 005					
	CIRCUITO FIEL		Constructora: Casta inmobiliaria					
	OT.CF.004		Nivel: TERCER PISO					
Versión: 03		Elaborado por: Lizbeth C.						
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)								
CIRCUITO FIEL: ENCOFRADO DE MUROS DE CERRAMIENTO								
TERCER PISO-SUBCONTRATISTA 02								
Descripción	Fecha	15-mar	16-mar	18-mar	19-mar	20-mar	21-mar	22-mar
	Día	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Número de trabajadores	und	8	7	7	8	8	8	8
Horas diarias	h	8,50	5,00	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	68	35	59,5	68	68	68	68
Horas hombre acumuladas	hh	68	103,00	162,50	230,50	298,50	366,50	434,50
Avance diario	m2	74,78	27,93	55,86	52,1	77,31	56,29	69,86
Metrado acumulado	m2	74,78	102,71	158,57	210,67	287,98	344,27	414,13
Rendimiento diario	hh/m2	0,91	1,25	1,07	1,31	0,88	1,21	0,97
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,91	1	1,02	1,09	1,04	1,06	1,05
Rendimiento presupuestado	hh/m2	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
Ganancia/pérdida del día	hh	9,72	-5,87	-1,68	-14,07	12,37	-9,57	4,89
Ganancia/pérdida acumulado	hh	9,72	3,85	2,17	-11,9	0,47	-9,1	-4,21
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	148,7	-89,8	-25,7	-215,3	189,3	-146,4	74,8
Ahorro/pérdida acumulado	S/	148,7	58,9	33,2	-182,1	7,2	-139,2	-64,4

Rendimiento presupuesto	1,04	HH/m2
Rendimiento meta	0,93	HH/m2
Productividad presupuesto	97,81	m2/jornada
Productividad meta	110,04	m2/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	12	hombres

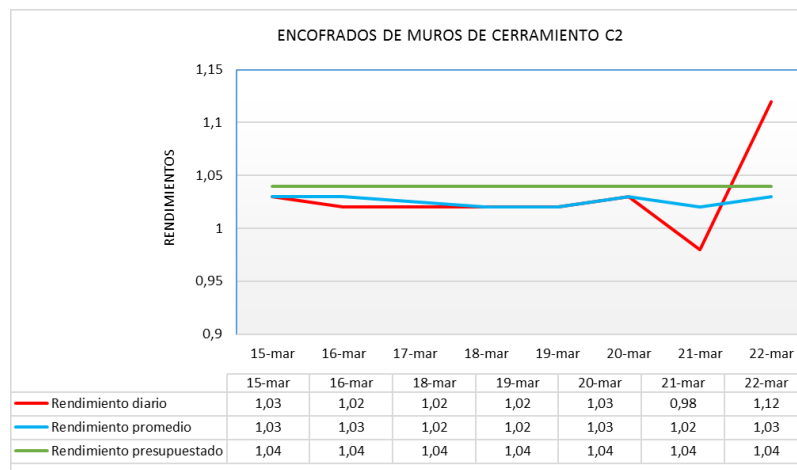


Figura 63. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – encofrado de muros de cerramiento C2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Circuito fiel – Colocación de concreto en muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

FORMATO		Código: 006					
CIRCUITO FIEL		Constructora: Casta inmobiliaria					
OT.CF.005		Nivel: TERCER PISO					
Versión: 03		Elaborado por: Lizbeth C.					
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)							
CIRCUITO FIEL: CONCRETO EN MUROS DE CERRAMIENTO							
PRIMER PISO							
Descripción	Fecha	18-feb	19-feb	21-feb	22-feb	23-feb	25-feb
	Día	D1	D2	D3	D4	D5	D6
Número de trabajadores	und	9	7	7	7	7	6
Horas diarias	h	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Horas hombre	hh	45	35	35	35	35	30
Horas hombre acumuladas	hh	45	80	115	150	185	215
Avance diario	m2	9,54	7,42	5,71	7,34	7,93	4,34
Metrado acumulado	m2	9,54	16,96	22,67	30,01	37,94	42,28
Rendimiento diario	hh/m2	4,72	4,72	6,13	4,77	4,41	6,91
Rendimiento acumulado	hh/m2	4,72	4,72	5,07	5	4,88	5,09
Rendimiento presupuestado	hh/m2	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71	5,71
Ganancia/pérdida del día	hh	9,44	7,35	-2,4	6,9	10,31	-5,21
Ganancia/pérdida acumulada	hh	9,44	16,79	14,39	21,29	31,6	26,39
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	16,3
Ahorro/pérdida del día	S/	144,4	112,5	-36,7	105,6	157,7	-84,9
Ahorro/pérdida acumulada	S/	144,4	256,9	220,2	325,7	483,5	398,6

Rendimiento presupuesto	5,71	HH/m3
Rendimiento meta	4,66	HH/m3
Productividad presupuesto	8,93	m3/jornada
Productividad meta	10,95	m3/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	6	hombres

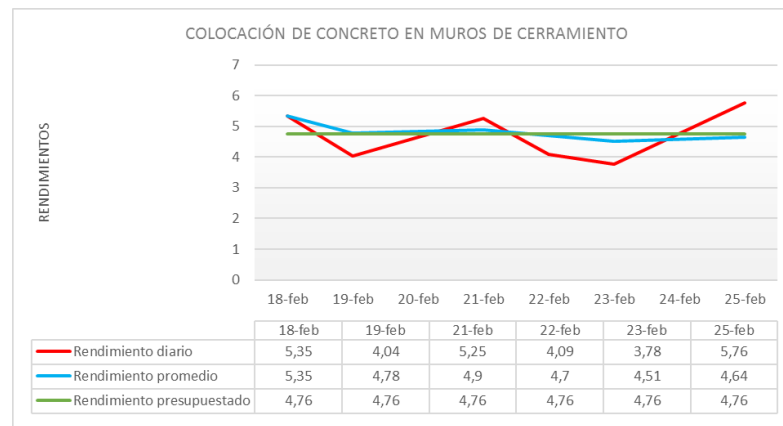



Figura 64. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – concreto

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Circuito fiel – Colocación de acero en muros de cerramiento
Fuente: Elaboración propia

		FORMATO					
		CIRCUITO FIEL					
		Código: 007					
		Constructora: Casta inmobiliaria					
		Nivel: TERCER PISO					
		Elaborado por: Lizbeth C.					
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)							
CIRCUITO FIEL: ACERO EN MUROS DE CERRAMIENTO							
TERCER PISO							
Descripción	Fecha Día	18-mar D1	19-mar D2	20-mar D3	21-mar D4	22-mar D5	23-mar D6
Número de trabajadores	und	2	2	2	3	3	3
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	17	17	17	25,5	25,5	25,5
Horas hombre acumuladas	hh	17	34,00	51,00	76,50	102,00	127,50
Avance diario	m2	334,61	191,65	192,65	374,73	384,26	384,90
Metrado acumulado	m2	334,61	526,26	718,91	1093,64	1477,90	1862,80
Rendimiento diario	hh/m2	0,05	0,09	0,09	0,07	0,07	0,07
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,07
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Ganancia/pérdida del día	hh	6,69	-3,83	-3,85	0	0	0
Ganancia/pérdida acumulado	hh	6,69	2,86	-0,99	-0,99	-0,99	-0,99
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	14,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	102,4	-54,8	-58,9	0,0	0,0	0,0
Ahorro/pérdida acumulado	S/	102,4	47,6	-11,3	-11,3	-11,3	-11,3

Rendimiento presupuesto	0,07	HH/kg
Rendimiento meta	0,07	HH/kg
Productividad presupuesto	466	kg/jornada
Productividad meta	466	kg/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	4	hombres

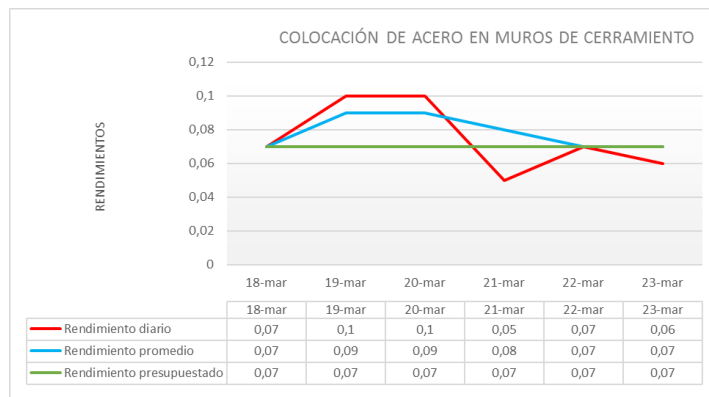


Figura 65. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – acero
Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se describirá los resultados obtenidos de la presente investigación, donde se propuso un sistema de gestión de la productividad “Sistema de Gestión BIM-LEAN, basada en los principios de Lean Construction. Este sistema plantea un plan de productividad, en cuatro fases de la gestión de la construcción (planificación, ejecución, control y retroalimentación), donde se tienen actividades, documentos de entrada documentos de salidas, basadas en las herramientas de las metodologías Lean Construction y BIM. Los documentos de salida del sistema implementado en el proyecto, en la etapa de construcción, son los documentos que reflejan los resultados de la ejecución del sistema propuesto en contraste con el sistema tradicional.

Los resultados se enfocarán en los siguientes puntos:

- Análisis de la productividad mediante la comparación del avance diario, con respecto a, lo programado (Look Ahead) y lo programado en el plan maestro (Gantt).
- Análisis de la productividad mediante la comparación del avance semanal respecto a lo programado en el plan maestro (Gantt).
- Análisis del porcentaje de asignaciones completadas.
- Análisis de las causas de incumplimiento.
- Análisis de transición del sistema tradicional al Sistema de Gestión BIM-LEAN, mediante la comparación de tiempos y costos.
- Comparación del Sistema de Gestión BIM-LEAN y sistema tradicional.

6.1. Análisis de la productividad mediante la comparación de la programación del plan vs Look Ahead vs avance real

Uno de los principios de Lean Construction es la reducción de la variabilidad. La variabilidad en obras de edificación es muy común, ya que se tiene muchas actividades en desarrollo al mismo tiempo, por lo tanto, genera mucha incertidumbre en el cliente y los agentes que intervienen en la construcción. Se tiene como herramienta el formato de seguimiento y control de los avances diarios, como se mencionó en párrafos anteriores, esta herramienta controla el avance diario en comparación lo programado en la semana (Look Ahead) y lo programado en el plan maestro (Gantt). Para su mayor referencia se presenta unos gráficos de comparación. Teniendo estos indicadores actualizados, cada semana se podrá reprogramar el Look Ahead y gestionar la productividad de manera más eficiente, además que estos documentos de salida nos fueron útil en las reuniones colaborativas y presentar gráficamente la situación de los avances semanales y tomar decisiones de mejora de la productividad.

En las Tablas 18 y 19 se muestra el avance semanal de la semana 01 y la semana 07 para verificar el comportamiento del avance de las actividades. En las figuras siguientes se muestra el gráfico de comparación de las programaciones y el avance real por cada actividad y los acumulados respectivos, a continuación, se realizará un análisis breve de las actividades de colocación de acero, encofrados y colocación de concreto.

- **Colocación de acero**

Semana 01: En la Figura 66 se muestra el gráfico de barras del avance real, la programación diaria de Look Ahead y la programación del plan maestro, se ve como estas varían de acuerdo a los elementos, según las barras se visualiza un día de retraso con respecto a lo programado en el Look Ahead. Según los datos acumulados se muestra el gráfico de líneas, en el cual podemos deducir que lo ejecutado durante la semana está por debajo de lo programado tanto en el Look Ahead y del plan, entonces el avance semanal es deficiente.

Semana 07: En la semana 07 las actividades de acero culminan. En la Figura 67 se muestran el gráfico de barras, podemos observar que existe un retraso de dos días con respecto a lo programado en el Look Ahead y un día con respecto al plan. El gráfico de líneas muestra un balance entre lo programado en el plan y lo real, debido a que se recuperó durante las semanas el metrado negativo. La razón por la que la programación Look Ahead se mantiene por encima es por las reprogramaciones.

- **Encofrado**

Semana 01: En la Figura 68, según las barras se visualiza tres días de retraso con respecto a lo programado en el Look Ahead, y además que no se trabajó el 29 de marzo. Según los datos acumulados se muestra el gráfico de líneas, en el cual podemos deducir que lo ejecutado durante la semana está por debajo de lo programado tanto en el Look Ahead y muy cercano del plan, incluso se ve que estas se intersectan al final de la semana, podemos deducir que se recuperó el avance con respecto al plan, mientras que el Look Ahead exige mayor avance.

Semana 07: En la semana 07 las actividades de encofrado aun no culminan. En la Figura 69 se muestran el gráfico de barras, podemos observar que existe un retraso de dos días con respecto a lo programado en el Look Ahead y un día con respecto al plan. El gráfico de líneas muestra un balance entre lo programado en el plan y lo real, debido a que se recuperó durante las semanas el metrado negativo. La razón por la que la programación Look Ahead se mantiene por encima es por las reprogramaciones.

- **Colocación de concreto**

Semana 01: En la Figura 70, según las barras se visualiza que no existe la programación del plan para concreto. Según los datos acumulados se muestra el gráfico de líneas, en el cual podemos ver que lo ejecutado durante la semana está

por debajo de lo programado tanto en el plan y muy cercano al programado en el Look Ahead, incluso se ve que estas se intersectan, podemos deducir que se está cumpliendo con lo programado en el Look Ahead, y que la programación del plan trae consigo un acumulado en su programación que no fue realizado y se debe recuperar en la siguiente semana.

Semana 07: En la semana 07 las actividades de colocación de concreto aun no culminan. En la Figura 71 se muestran el gráfico de barras, podemos observar que todavía no se realizó la actividad programada y se ha pasado para la siguiente semana.

Tabla 18. Seguimiento y control semanal – Semana 01
Fuente: Elaboración propia

Descripción		Und	Observac.	TOTAL SEM 0	Sem 1 - 11-febrero - 17-febrero						TOTAL SEM 1	Saldo	
					11-feb	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb	16-feb			17-feb
Acero		kg	L.H.	-	2 469	2 306	2 475	405	441	387	-	8 482	27 815
			Realizado	-	1 793	1 761	1 901	1 794	335	193	-	7 777	
			Plan	-	874	874	874	901	901	901	-	5 325	
		kg	Ac. L.H.	-	2 469	4 775	7 250	7 655	8 096	8 482	8 482	8 482	
			Ac. Real	-	1 793	3 554	5 455	7 250	7 584	7 777	7 777	7 777	
			Ac. Plan	10 668	11 542	12 415	13 289	14 190	15 092	15 993	15 993	15 993	
Trazado		ml	L.H.	-	30	30	30	58	-	-	-	150	968
			Realizado	-	23	23	23	23	58	-	-	150	
			Plan	-	-	-	-	78	78	78	-	234	
		ml	Ac. L.H.	-	30	61	91	150	150	150	150	150	
			Ac. Real	-	23	46	68	91	150	150	150	150	
			Ac. Plan	325	325	325	325	403	481	559	559	559	
Encofrado y desencofrado.		m2	L.H.	-	-	106	110	113	128	128	-	586	3 436,4
			Realizado	-	-	92	77	76	85	65	-	395	
			Plan	-	55	54	54	54	54	54	-	327	
		m2	Ac. L.H.	-	-	106	217	330	458	586	586	586	
			Ac. Real	-	-	92	169	245	330	395	395	395	
			Ac. Plan	1 371	1 426	1 480	1 535	1 589	1 644	1 698	1 698	1 698	
Colocación de concreto		m3	L.H.	-	-	-	13	10	14	6	-	43	322
			Realizado	-	-	-	9	8	9	11	-	37	
			Plan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		m3	Ac. L.H.	-	-	-	13	23	37	43	43	43	
			Ac. Real	-	-	-	9	16	26	37	37	37	
			Ac. Plan	91	91	91	91	91	91	91	91	91	
Entubado y salidas instalaciones eléctricas		pto	L.H.	-	-	-	-	32	32	32	-	96	782
			Realizado	-	-	-	-	-	45	53	-	98	
			Plan	-	-	-	-	-	-	36	-	36	
		pto	Ac. L.H.	-	-	-	-	32	64	96	96	96	
			Ac. Real	-	-	-	-	-	45	98	98	98	
			Ac. Plan	259	259	259	259	259	259	295	295	295	
Entubado y salidas instalaciones sanitarias		pto	L.H.	-	-	-	-	15	15	16	-	46	644
			Realizado	-	-	-	-	-	20	24	-	44	
			Plan	-	-	-	-	-	-	43	-	43	
		pto	Ac. L.H.	-	-	-	-	15	30	46	46	46	
			Ac. Real	-	-	-	-	-	20	44	44	44	
			Ac. Plan	126	126	126	126	126	126	169	169	169	
Instalación de dowells		m2	L.H.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	468
			Realizado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Plan	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		m2	Ac. L.H.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Ac. Real	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Ac. Plan	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

Tabla 19. Seguimiento y control semanal – Semana 07
Fuente: Elaboración propia

Descripción		Und	Observac.	TOTAL SEM 6	Sem 7 - 25-marzo - 31-marzo							TOTAL SEM 7	Saldo
					25-mar	26-mar	27-mar	28-mar	29-mar	30-mar	31-mar		
Acero	kg	L.H.	1 111	1 136	2 253	2 411	997	1 340	-	-	8 137	-	
		Realizado	738	814	1 392	1 424	997	933	1 340	1 236	8 137		
		Plan	4 368	-	751	751	751	751	751	-	3 756		
	kg	Ac. L.H.	36 125	37 261	39 514	41 925	42 921	44 262	44 262	44 262	44 262		
		Ac. Real	27 455	28 269	29 661	31 085	32 082	33 015	34 355	35 592	35 592		
		Ac. Plan	31 085	31 085	31 836	32 587	33 338	34 089	34 840	34 840	34 840		
Trazado	ml	L.H.	117	-	58	58	58	58	-	-	234	-	
		Realizado	112	42	45	50	43	-	54	-	234		
		Plan	-	58	58	58	58	-	-	-	234		
	ml	Ac. L.H.	884	884	942	1 001	1 059	1 118	1 118	1 118	1 118		
		Ac. Real	884	926	971	1 020	1 063	1 063	1 118	1 118	1 118		
		Ac. Plan	884	942	1 001	1 059	1 118	1 118	1 118	1 118	1 118		
Encofrado y desencofrado.	m2	L.H.	714	132	139	138	136	-	-	-	545	39,7	
		Realizado	714	36	85	88	100	-	106	90	506		
		Plan	163	54	54	54	54	54	54	-	327		
	m2	Ac. L.H.	3 884	4 016	4 155	4 293	4 429	4 429	4 429	4 429	4 429		
		Ac. Real	3 286	3 322	3 407	3 495	3 596	3 596	3 702	3 792	3 792		
		Ac. Plan	3 450	3 505	3 559	3 614	3 668	3 723	3 777	3 777	3 777		
Colocación de concreto	m3	L.H.	36	4	-	-	-	-	89	-	93	89	
		Realizado	38	4	-	-	-	-	-	-	4		
		Plan	9	-	-	-	-	-	-	-	-		
	m3	Ac. L.H.	294	298	298	298	298	298	387	387	387		
		Ac. Real	266	270	270	270	270	270	270	270	270		
		Ac. Plan	270	270	270	270	270	270	270	270	270		
Entubado y salidas instalaciones eléctricas	pto	L.H.	122	-	45	45	45	46	-	-	181	-	
		Realizado	122	-	-	36	40	-	55	51	182		
		Plan	-	-	-	36	36	36	36	-	144		
	pto	Ac. L.H.	688	688	733	778	823	869	869	869	869		
		Ac. Real	698	698	698	734	774	774	829	880	880		
		Ac. Plan	699	699	699	735	771	807	843	843	843		
Entubado y salidas instalaciones sanitarias	pto	L.H.	63	-	54	54	55	-	55	-	218	-	
		Realizado	63	-	-	46	50	50	35	37	218		
		Plan	-	-	-	44	44	44	43	-	175		
	pto	Ac. L.H.	472	472	526	580	635	635	690	690	690		
		Ac. Real	470	470	470	516	566	616	651	688	688		
		Ac. Plan	470	470	470	514	558	602	645	645	645		
Instalación de dowells	m2	L.H.	-	-	58	58	58	-	58	-	234	-	
		Realizado	-	-	26	49	41	47	41	31	234		
		Plan	-	-	-	47	47	47	47	-	187		
	m2	Ac. L.H.	234	234	292	351	409	409	468	468	468		
		Ac. Real	234	234	259	309	349	396	437	468	468		
		Ac. Plan	234	234	234	281	327	374	421	421	421		

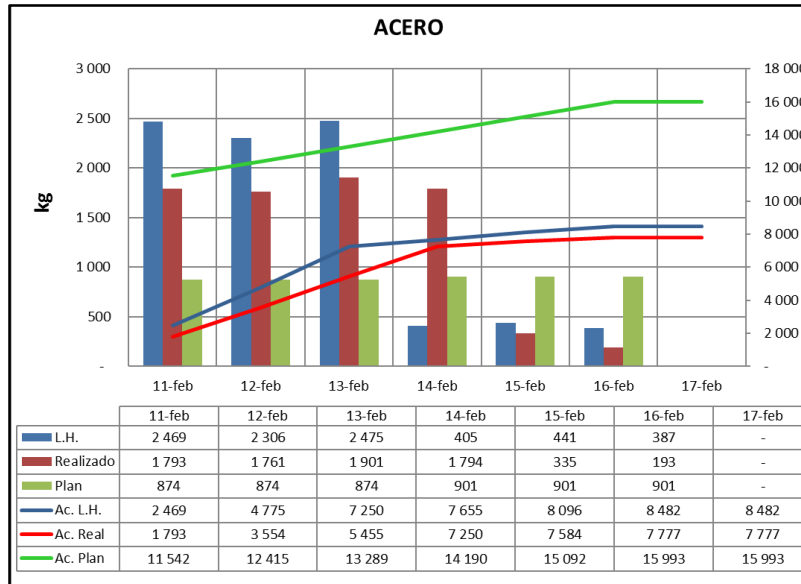


Figura 66. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Acero (Sem 01)
Fuente: Elaboración propia

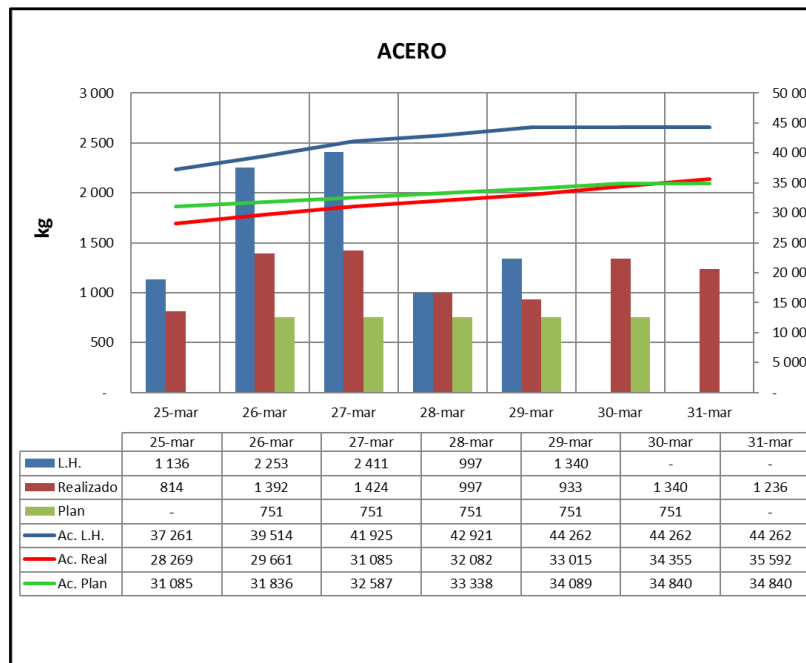


Figura 67. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Acero (Sem 07)
Fuente: Elaboración propia

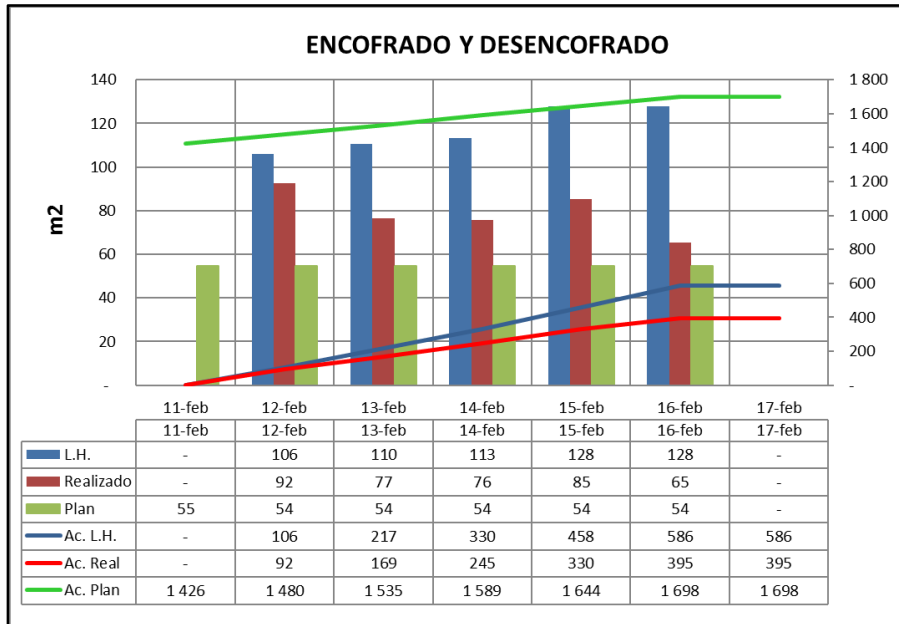


Figura 68. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Encofrado (Sem 01)
Fuente: Elaboración propia

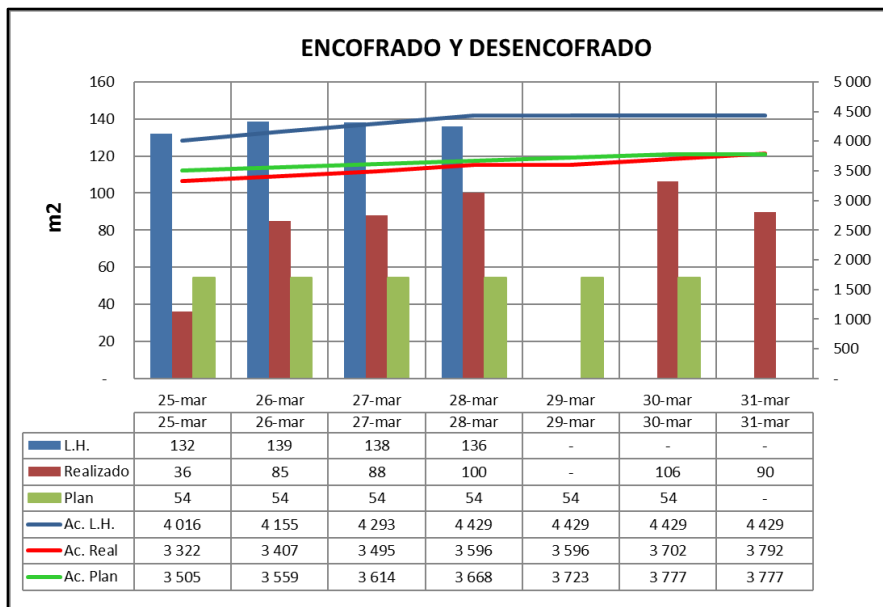


Figura 69. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Encofrado (Sem 07)
Fuente: Elaboración propia

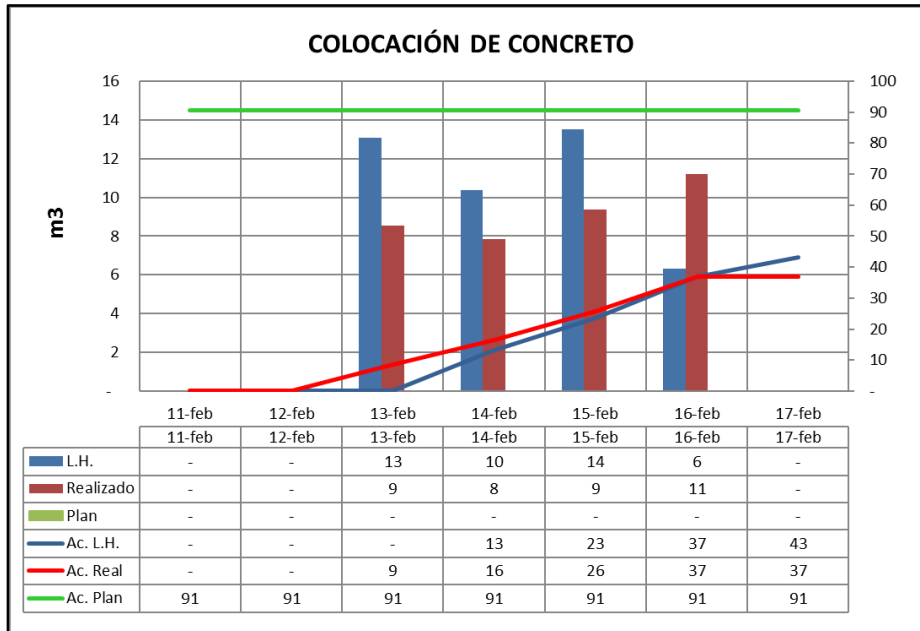


Figura 70. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Concreto (Sem 01)
Fuente: Elaboración propia

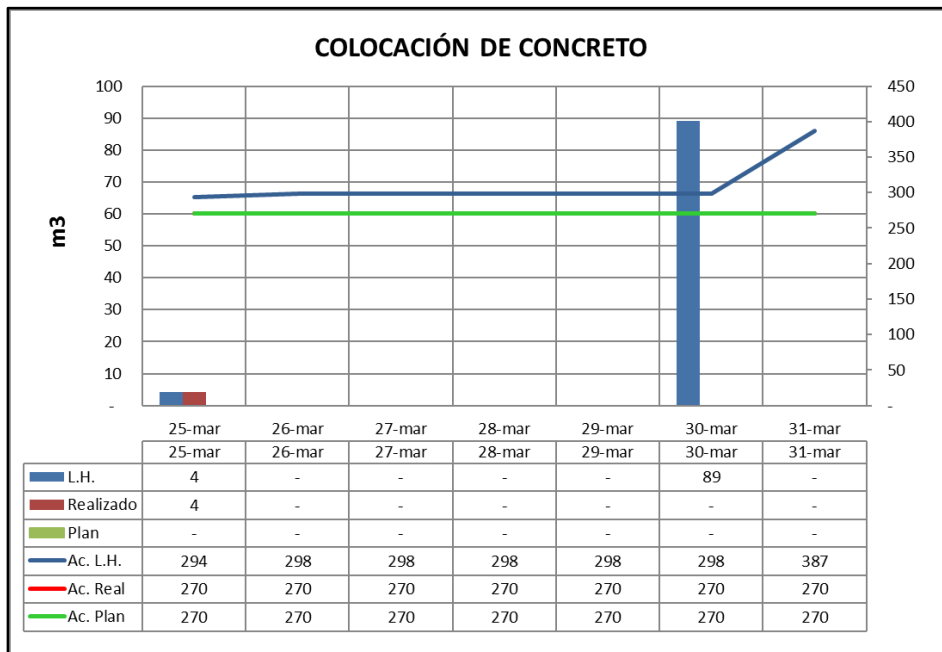


Figura 71. Rendimiento real vs promedio vs presupuesto – Concreto (Sem 07)
Fuente: Elaboración propia

6.2. Análisis de la productividad semanal mediante la comparación de la programación del plan vs avance real

El propósito fundamental de esta herramienta es la de controlar los avances semanales con respecto a lo programación contractual, ello indicará si existe retrasos y alertará los problemas sobre la producción de las actividades, entonces ahí corresponde al cuerpo técnico de la obra manejar de manera asertiva la gestión productividad y tomar decisiones para la mejora continua.

Un análisis global sobre los avances semanales es muy útil para la evaluación de la situación en general de la obra, a continuación, presentamos el resumen de los avances semanales en la Tabla 20, donde tenemos el avance acumulado de la semana y lo programado en el Gantt (plan maestro). También se presentan unas gráficas de barras (semanal) y líneas (acumulado) de los avances reales y la programación del plan maestro.

En las Figuras 72,73 y 74, se muestra los gráficos de comparación de la programación del plan y el avance real por cada actividad y los acumulados respectivos, a continuación, se realizará un análisis breve de las actividades de colocación de acero, encofrados y colocación de concreto, desde la semana 1 a la semana 8 que corresponden a la construcción del segundo y tercer nivel.

- **Colocación de acero:** En la Figura 72 se muestra la gráfica de programación semanal del plan vs avance semanal real. Según las barras se observa mayor avance de lo programado, y además que las actividades terminaron en la semana 07. Según la gráfica de líneas se observa el comportamiento de los avances acumulados y lo programado acumulado, la línea del plan presenta un inicio bastante elevado la cual presenta una elevación leve, en cambio los avances semanales son progresivos alcanzando así intersectar con lo planeado. Entonces se puede decir que se recuperó el tiempo que fue paralizada la obra.

- **Encofrado:** En la Figura 73 se observa que las barras tienen un comportamiento bastante variable. Según la gráfica de líneas se observa el comportamiento de los avances y lo programado, la línea del plan presenta un inicio bastante elevado, en cambio los avances semanales son progresivos alcanzando así intersectar con lo planeado.

- **Colocación de concreto:** En la Figura 74 se muestra la gráfica de programación semanal del plan vs avance semanal real. Según las barras se observa variabilidad en lo programado y lo avanzado, también se puede notar que existen semanas donde no se ha programado la actividad, Según la gráfica de líneas se observa el comportamiento de los avances y lo programado, las líneas del plan presentan un comportamiento similar en cambio los avances semanales son progresivos alcanzando así intersectar con lo planeado. Entonces se puede decir que se recuperó el tiempo que fue paralizada la obra.

Tabla 20. Seguimiento y control semanal – programación maestra vs real
Fuente: Elaboración propia

Descripción	Und	Observac.	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8
			11-feb	18-feb	25-feb	04-mar	11-mar	18-mar	25-mar	01-abr
			17-feb	24-feb	03-mar	10-mar	17-mar	24-mar	31-mar	07-abr
Acero	kg	Real	7 777	1 144	2 945	8 406	6 445	738	8 137	-
		Plan	5 325	4 219	4 833	1 671	-	4 368	3 756	751
		Ac. Real	7 777	8 921	11 865	20 272	26 716	27 455	35 592	35 592
		Ac. Plan	15 993	20 212	25 045	26 716	26 716	31 085	34 840	35 592
Trazado	ml	Real	150	175	-	234	184	141	234	-
		Plan	234	-	91	234	-	-	234	-
		Ac. Real	150	325	325	559	743	884	1 118	1 118
		Ac. Plan	559	559	650	884	884	884	1 118	1 118
Encofrado y desencofrado	m2	Real	395	707	520	294	656	714	506	40
		Plan	327	218	330	347	694	163	327	54
		Ac. Real	395	1 102	1 622	1 916	2 572	3 286	3 792	3 832
		Ac. Plan	1 698	1 916	2 246	2 593	3 287	3 450	3 777	3 832
Colocación de concreto	m3	Real	37	36	18	89	48	38	4	89
		Plan	-	89	37	-	45	9	-	89
		Ac. Real	37	73	91	180	228	266	270	359
		Ac. Plan	91	180	217	217	261	270	270	359
Entubado y salidas de instalaciones eléctricas	pto	Real	98	161	-	180	137	122	182	-
		Plan	36	145	-	259	-	-	144	37
		Ac. Real	98	259	259	439	576	698	880	880
		Ac. Plan	295	440	440	699	699	699	843	880
Entubado y salidas de instalaciones sanitarias	pto	Real	44	82	-	218	63	63	218	-
		Plan	43	175	-	126	-	-	175	43
		Ac. Real	44	126	126	344	407	470	688	688
		Ac. Plan	169	344	344	470	470	470	645	688
Instalaciones de dowells	ml	Real	-	-	-	234	-	-	234	-
		Plan	-	234	-	-	-	-	187	47
		Ac. Real	-	-	-	234	234	234	468	468
		Ac. Plan	-	234	234	234	234	234	421	468

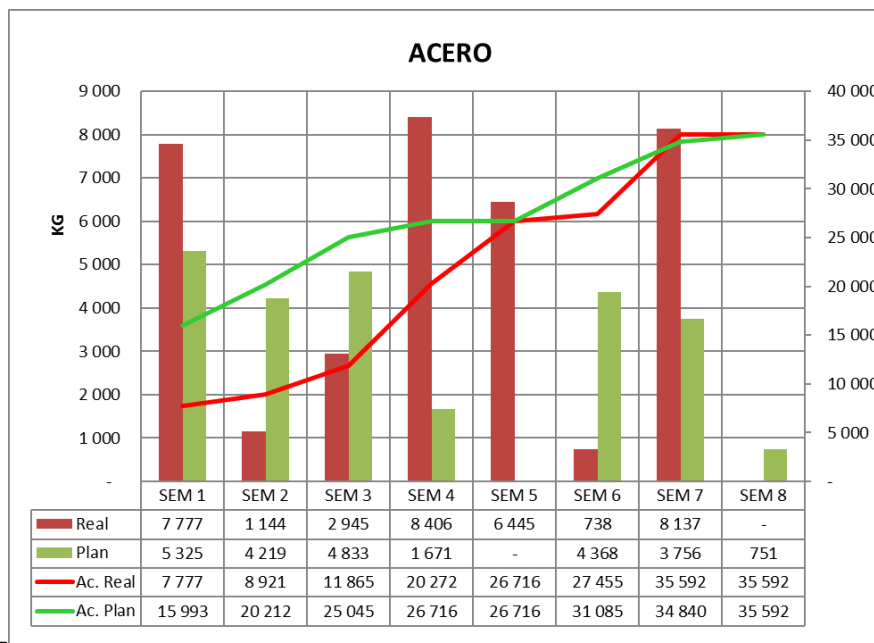


Figura 72. Programación general vs avance real de acero
Fuente: Elaboración propia

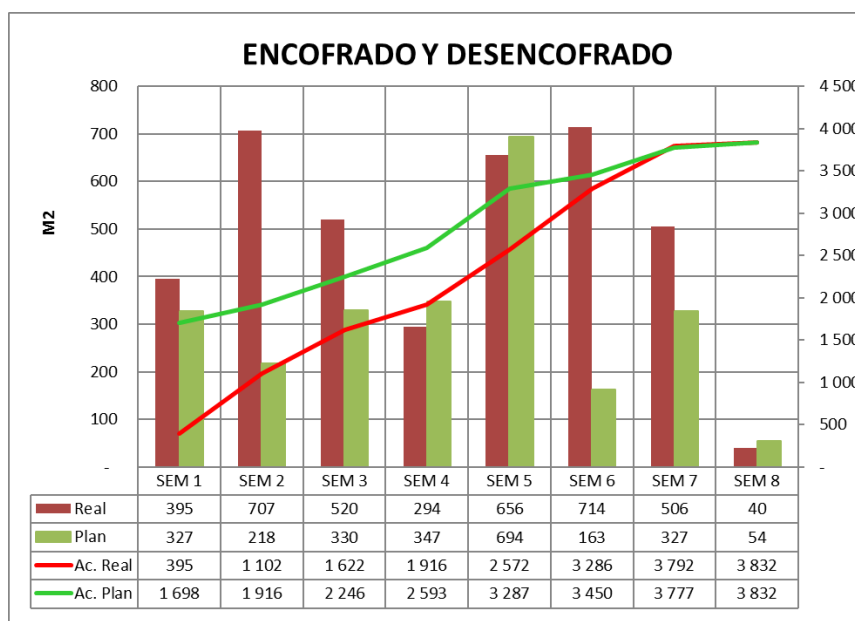


Figura 73. Programación general vs avance real de encofrados
Fuente: Elaboración propia

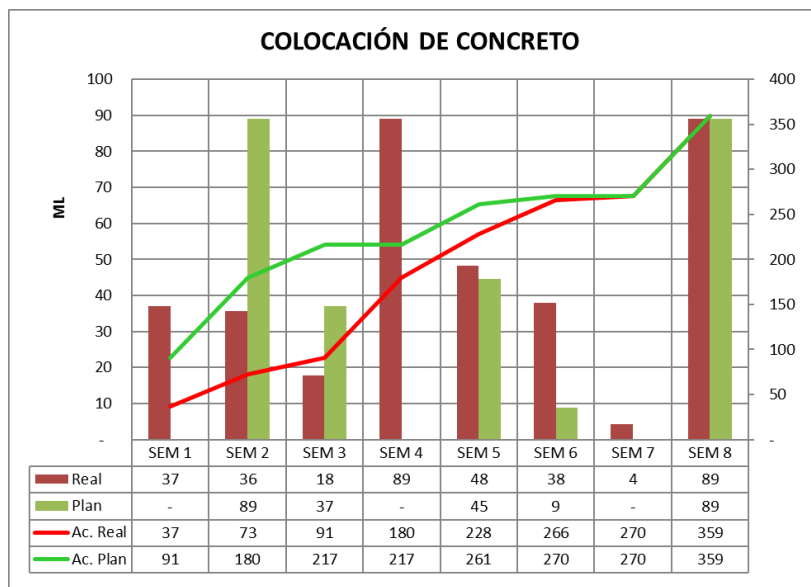


Figura 74. Programación general vs avance real de colocación de concreto
Fuente: Elaboración propia

6.3. Trazabilidad semanal del porcentaje de asignaciones completadas

Trazabilidad semanal del porcentaje de asignaciones completadas consiste en la evaluación porcentual de las actividades cumplidas durante la semana, mediante un gráfico, ver Tabla 21, donde se tiene el porcentaje de actividades completadas vs actividades completadas acumuladas y un factor indicativo que evalúa la eficiencia de la programación, cuyo valor es el 80%. Si el porcentaje de las actividades esta sobre el 80% indica un buen desempeño de cumplimiento, en caso contrario se ha de reevaluar las programaciones y encontrar la causa. Las causas de un mal desempeño de actividades completadas pueden ser por diferentes motivos, estas están definidas en las restricciones semanales que se realiza. Esta herramienta nos ha servido como elemento de gestión visual en las reuniones colaborativas.

En la Tabla 21 se muestra el porcentaje de asignaciones completadas, la línea roja viene hacer un valor porcentual de las actividades completada durante cada semana. La semana 01 se tiene un 40% de actividades completadas, siendo este valor

realmente bajo, por lo cual se evaluó las causas de incumplimiento, siendo estas; falta de material para las instalaciones sanitarias y eléctricas, falta de material para colocar acero en columnas y placas, retraso en las actividades de colocación de acero y encofrado. En la semana 02 se trató de mejorar, teniendo así un 67%. En la semana 03 se tuvo un 75%, donde se tuvo 4 actividades en la semana cumpliéndose 3. En la semana 04 se tuvo una disminución llegando así al 69%, debido a la finalización de la construcción del segundo piso se tiene retrasos en las actividades. En la semana 05 se tiene un aumento llegando así al 75%. En la semana 06 se incrementa la confiabilidad de la programación llegando así a un 86 %, superando el indicador de 80%, cabe recalcar que esta mejora se tuvo debido a que se trató de llegar a la meta diaria, trabajando los sábados en jornada completa y optimizando los procesos. En la semana 07 se logró obtener el 80%, por lo mismo que la semana 07 se trabajó el día sábado en jornada completa.

En análisis completo de la gráfica se tuvo una mejora en el cumplimiento de las metas a lo largo de la obra, como se puede observar la línea verde que vendría a ser la acumulativa, tiene una dirección progresiva, esto debido a que se trató de realizar más horas a la semana, se mejoró la comunicación entre los agentes de construcción, se realizó un control y seguimiento a las actividades, detectando las restricciones de obra y darles plazo a su solución inmediata, mejorando los procesos constructivos, adelantándonos a las actividades futuras y previniendo en los materiales y posibles restricciones de obra.

6.4. Causas de incumplimiento – restricciones de obra

Uno de los principios de Lean Construction es la reducción de la variabilidad, como es sabido la construcción es una de las industrias que presenta mayor variabilidad tanto en sus procesos y como en todo su conjunto. La metodología Last Planner System tiene una herramienta de control de restricciones, donde identificamos el

tipo de restricción, la actividad afectada, responsable del equipo de trabajo, descripción del problema y fundamentamos acciones correctivas.

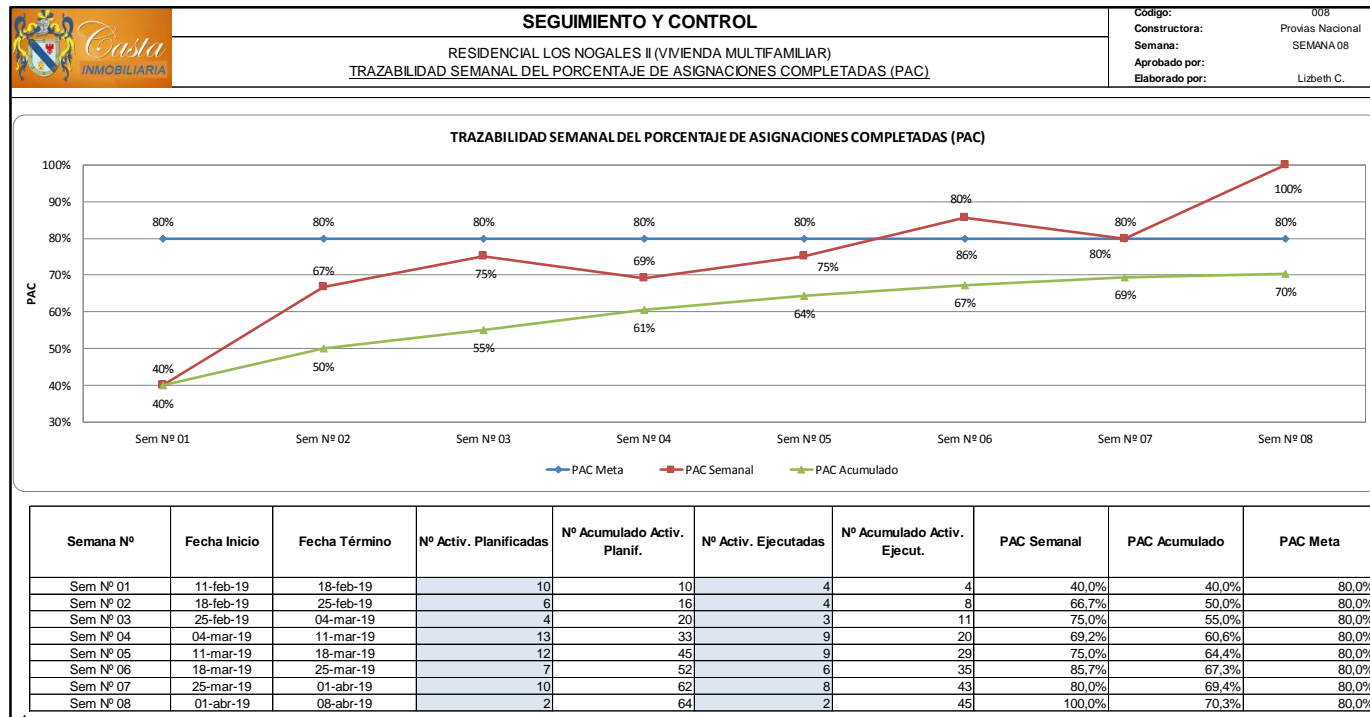
Identificar las restricciones nos permite controlarlo y ponerle fechas para solución, delegar dicha responsabilidad para que sean liberadas, por lo tanto, en un futuro evitar este tipo de problemas o saber cómo actuar frente a ellos, por lo cual estamos cumpliendo con la retroalimentación, mejora continua y con la aplicación de lecciones aprendidas, una de las bases de la filosofía Lean. Además, al liberar las actividades de las restricciones hacemos que el flujo del proceso no se detenga.

En el Cuadro 17, se muestra el formato de restricciones de obra, de la cual podemos deducir que según el tipo de restricción la de mayor incidencia es la de actividad (cuando la realización de una actividad es afectada por otra), y según los trabajos, la más afectada es la de encofrados, siendo esta la más crítica en la obra debido a su costo y al tiempo que lleva realizarlo, esta define el ritmo de trabajo de las otras actividades.

En el cuadro 18 se muestra un cuadro que resume las restricciones dadas semanalmente y área responsable de cada tipo de restricción. Tenemos en total 20 restricciones de 64 actividades programadas en total, de las cuales la de mayor incidencia es la semana 01, y según el área dada la de mayor concurrencia es el área de producción.

En la Figura 75, se muestra un diagrama de Pareto, donde podemos visualizar el área responsable de mayor incidencia de actividades no cumplidas es la de producción, debido a que se presentó baja productividad en la realización de algunas actividades como encofrado y acero.

Tabla 21. Porcentajes de asignaciones completadas – Semana 01-08
 Fuente: Elaboración propia



Cuadro 17. Restricciones de obra – Semana 01-08
Fuente: Elaboración propia

		FORMATO LAST PLANNER OT.LP.008 Versión: 01					Código: 008		Constructora: Casta inmobiliaria		Semana: 8		Aprobado por:		Elaborado por: Lizbeth C.																																					
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)																																																				
I T E M	TIPO	ACTIVIDAD DEL LOOKAHEAD	DESCRIPCIÓN	RESPONSABLE		ACCIONES CORRECTIVAS Y ACUERDOS	ESTADO	ID	PLAZO			SEMANA 01		SEMANA 02		SEMANA 03		SEMANA 04		SEMANA 05		SEMANA 06		SEMANA 07		SEMANA 08																										
				NOMBRE	ÁREA				# Repr	INICIO	FIN	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S
1.00 GERENCIA																																																				
1,10	Sub contrata	Todas las actividades	No se realizó el pago correspondiente de las valorizaciones a los subcontratistas.	Manuel Zuñiga	Gerente de Proyecto	Agilizar la documentación con el pago para el pago correspondiente.	Liberado	●	7	26-dic	11-feb																																									
1,20	Sub contrata	Acero en vigas y losas	Paralización de las actividades por falta de pagos a los trabajadores.	Manuel Zuñiga	Gerente de Proyecto	Agilizar el pago correspondiente. Se acuerdo realizar el pago el lunes 25 de marzo.	Liberado	●	1	23-mar	25-mar																																									
1,30	Sub contrata	Encofrado de vigas y losas	No se realizó el pago correspondiente de las valorizaciones a los subcontratistas.	Manuel Zuñiga	Gerente de Proyecto	Agilizar la documentación con el pago para el pago correspondiente.	Liberado	●	1	29-mar	01-abr																																									
2.00 ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO																																																				
2,10	Materiales	IEE y ISS (muros)	Falta de accesorios, tubos pvc, pegamento y otros.	Fredy Zuñiga	Administrador de Obra	Hacer el requerimiento con anticipación para saber la disponibilidad de los recursos. Se comprara con caja chica en una ferreteria local.	Liberado	●	1	14-feb	15-feb																																									
2,20	Materiales	Colocación de concreto en vigas y losas	Tardanza del mixer en obra, debido a una mala comunicación entre el administrador y la empresa concretera. No se confirmó la hora del vaciado.	Fredy Zuñiga	Administrador de Obra	el área de residencia llamó al gerente de la empresa concretera para confirmar el pedido y se llegó al acuerdo de enviar para las pm (hora de vaciado real pm)	Liberado	●	1	08-mar	08-mar																																									
3.00 RESIDENCIA																																																				
3,10	Actividad	Encofrado de vigas y losas	Retrabajos en muros, ya que no se dejó la abertura de las vigas.	Gilvert Acosta	Ingeniero residente	Se designó a un trabajador exclusivo para este trabajo para no atrasar las actividades de encofrado de vigas.	Liberado	●	2	04-mar	05-mar																																									
4.00 PRODUCCIÓN																																																				
4,10	Actividad	Trazado de placas y columnas	Debido al atraso de colocación de acero en placas los trabajos de trazado fueron desplazados en fechas.	Gilvert Acosta	Ingeniero residente	Resolver el retraso de los trabajos de colocación de acero en placas y columnas.	Liberado	●	1	15-feb	16-feb																																									
4,20	Actividad	Concreto en placas y columnas	Debido al atraso de encofrado de muros los trabajos de colocación de concreto se postergaron.	Gilvert Acosta	Ingeniero residente	Resolver el retraso de los trabajos de colocación de colocación de concreto en muros.	Liberado	●	1	16-feb	16-feb																																									
4,30	Mano de Obra	Encofrado de muros de cerramiento	Baja productividad.	Vicente Ticona	Subcontrata de encofrados 01	Se tomó como acuerdo trabajar el sábado de la semana siguiente la jornada completa.	Liberado	●	1	18-feb	23-feb																																									
4,40	Sub contrata	Colocación de acero en placas y columnas	Esta actividad fue reprogramada un día después debido a la reprogramación de la colocación de concreto en losas.	Gilvert Acosta	Ingeniero residente	Se tomó como acuerdo trabajar el sábado de la semana siguiente la jornada completa.	Liberado	●	1	08-mar	09-mar																																									
4,50	Sub contrata	Trazado, encofrado y colocación de concreto en placas y columnas.	Esta actividad fue reprogramada un día después debido a la reprogramación de la colocación de concreto en losas.	Gilvert Acosta	Ingeniero residente	Se tomó como acuerdo trabajar el sábado de la semana siguiente la jornada completa.	Liberado	●	1	09-mar	09-mar																																									
4,60	Actividad	Concreto en muros de cerramiento.	Falta de liberación elementos para su debida colocación de concreto.	Luis Lopez	Subcontrata de encofrados 02	Se tomó como acuerdo trabajar el sábado de la semana siguiente la jornada completa.	Liberado	●	1	16-mar	16-mar																																									
5.00 OFICINA TÉCNICA																																																				
5,00	Actividad	Encofrado de muros de cerramiento	Exigir mayor rendimiento meta en la programación.	Lizbeth Choquesa	Asistente de ingeniería	Se realizara una reprogramación con los recursos disponibles(mano de obra) y el rendimiento real.	Liberado	●	1	14-mar	16-mar																																									
6.00 SEGURIDAD EN OBRA																																																				
6,10	Actividad	Encofrado de viga y losa	Desorden en área de trabajo.	Carlos Alvarez	Ingeniero de seguridad en obra	Se acordó una hora de limpieza a la semana.	Liberado	●	1	27-feb	02-mar																																									
6,20	Actividad	Encofrado de muros de cerramiento	Suspensión de dos trabajadores, debido a tardanzas reiteradas.	Carlos Alvarez	Ingeniero de seguridad en obra	Se conversó con el ingeniero de seguridad, cambiar el castigo por otro, ya que al retirar trabajadores, se disminuye la productividad diaria.	Liberado	●	1	16-mar	16-mar																																									
7.00 SUBCONTRATISTAS																																																				
7,10	Materiales	Encofrado de muros de cerramiento	Falta de placas para encofrado.	Vicente Ticona	Subcontrata de encofrados 01	Se tomó como acuerdo trabajar el sábado de la semana siguiente la jornada completa.	Liberado	●	1	21-feb	23-feb																																									
7,20	Sub contrata	IEE (losa)	No se culminaron los trabajos en la fecha establecida debido a la falta de trabajadores en la cuadrilla.	Eduardo Ortiz	Subcontrata de IE	Se le otorgó como plazo culminar los trabajos para el 9 de marzo al medio día.	Liberado	●	1	04-mar	08-mar																																									
7,30	Sub contrata	ISS (losa)	No se culminaron los trabajos en la fecha establecida debido a la falta de trabajadores en la cuadrilla.	Andres Condori	Subcontrata de IS	Se le otorgó como plazo culminar los trabajos para el 9 de marzo al medio día.	Liberado	●	1	04-mar	09-mar																																									
7,40	Actividad	Encofrado de vigas y losas	No se culminaron los trabajos en la fecha establecida debido a la falta de trabajadores en la cuadrilla.	Luis Lopez	Subcontrata de encofrados 02	Se le otorgó como plazo culminar los trabajos para el 1 de abril al medio día.	Liberado	●	1	30-mar	01-abr																																									
8.00 ALMACÉN																																																				
8,10	Materiales	Colocación de acero en placas y columnas	Falta de barras de aceros de 3/4" de diametro	Jhosep Acosta	Almacenero	Se realizó el requerimiento, se estima la entrega del material en unos días. Se conversó con el encargado del almacén para que lleve un registro actualizado de los materiales.	Liberado	●	1	12-feb	13-feb																																									
8,20	Materiales	Colocación de concreto en muros de cerramiento.	Falta de agregados para la elaboracion concreto.	Jhosep Acosta	Almacenero	Se realizó el requerimiento, conversando de manera directa el residente con el proveedor.	Liberado	●	1	21-feb	22-feb																																									

Cuadro 18. Causas de no cumplimiento- responsables

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN \ SEMANAS	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8	TOTAL
Gerencia						1	1		2
Administración del proyecto	2								2
Residencia			1						1
Producción	2	1		3	3				9
Oficina Técnica									0
Seguridad en obra									0
Subcontratistas	1			1	1		1		4
Almacén	1	1							2
Supervisión									0
Total	6	2	1	4	4	1	2	0	

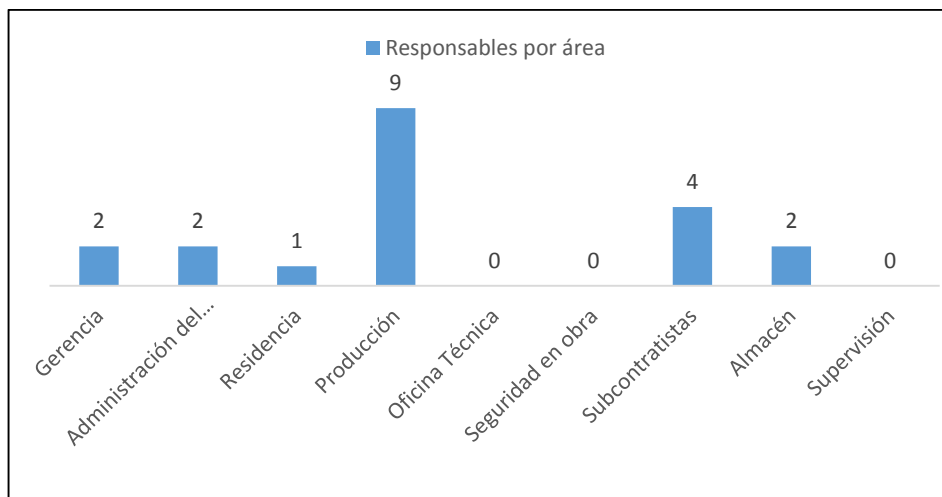


Figura 75. Gráfico de Pareto, incidencia de responsabilidad por área

Fuente: Elaboración propia

6.5. Análisis de transición del sistema tradicional al Sistema de Gestión BIM – LEAN

Para la implementación de nuevos sistemas en un ambiente de trabajo que está acostumbrado a lo tradicional, es un proceso perseverante que se debe de realizar, ya que la cultura de la productividad es totalmente diferente, no basta tener la aprobación de los altos directivos, se necesita vender la idea, explicar de una manera muy entendible utilizando elementos visuales, registro de datos, entre otros a todos los agentes que intervienen en la construcción, sobre todo a los últimos

planificadores, ya que ellos realizarán los trabajos, y necesitan entender la metodología, los objetivos, ellos deben estar involucrados en la realización de las programaciones, en el análisis de las restricciones, comprometidos y que participen en la liberación de las restricciones

En nuestro caso particular se tuvo una transición desde el primer piso al tercer piso. Se realizó un estudio del panorama general de la productividad en la construcción del primer piso, mediante herramientas y metodologías modernas y se generó una simulación de la situación real de la obra, con estos datos se procedió a implementar en el segundo nivel el Sistema de gestión BIM-LEAN, mediante un plan de productividad en las fases de programación, ejecución, control y retroalimentación.

Se realizó un estudio de los documentos de salida y en base a estos se realizó una retroalimentación en la aplicación del plan de productividad y mejorando los procesos. Para el tercer nivel se tomó de referencia la construcción del segundo nivel, mejorando el plan de productividad, mejorando la aplicación de las herramientas y metodologías usadas, mejorando tiempos, por ejemplo, en el tercer nivel se recortó los tiempos de programación, contratando a dos subcontratistas para la realización de encofrados, debido a que esta actividad presenta el cuello de botella en la obra, y siendo esta actividad quien define el avance de las otras, se convirtió esta debilidad como un actividad que impulsa el avance de las otras actividades. De esta manera se seguirá mejorando el sistema propuesto, tomando en cuenta las lecciones aprendidas.

En el cuadro 19 se tiene un análisis de tiempo, desde el primer piso al tercer piso y además compara las programaciones del plan maestro y Look Ahead. La duración de la programación del plan maestro es igual para todos, siendo esta de 33 días. Según la programación intermedia Lookahead se tienen 21 y 17 días respectivamente para el segundo y tercer piso, se trató de reducir los días, según la experiencia del primer piso, donde la ejecución real fue de 28 días, se analizó la

situación, e incrementado el número de trabajadores se podría realizar en 21 días. Pero la ejecución real fue de 23 días. Para el tercer piso se tomó de referencia el segundo piso donde, con respecto a esta duración y poniendo dos frentes de trabajo con diferentes subcontratistas de encofrados se realizaría en 17 días, según lo ejecutado duro 20 días. De esta manera se cumple con uno de los principios de la filosofía Lean, reducción tiempo del ciclo.

Cuadro 19. Análisis de tiempos: Plan maestro vs Lookahead vs Real
Fuente: Elaboración propia

Análisis de tiempos: Plan maestro vs Look Ahead vs Real									
Pisos	Plan maestro		Días hábiles	Programación inicial Look Ahead		Días hábiles	Ejecución real		Días hábiles
	Inicio	Fin		Inicio	Fin		Inicio	Fin	
1er piso	08-dic-18	15-ene-19	33	Sistema tradicional		33	23-nov-18	26-dic-18	28
2do piso	16-ene-19	22-feb-19	33	11-feb-19	06-mar-19	21	11-feb-19	08-mar-19	23
3er piso	23-feb-19	02-abr-19	33	09-mar-19	28-mar-19	17	09-mar-19	01-abr-19	20

En el cuadro 20 se muestra el análisis de pérdida/ahorro de la mano de obra del primer, segundo y tercer piso. Estos datos son producto de los circuitos fiel, la cual define estos valores con los rendimientos presupuestado y real. Como podemos observar tenemos pérdidas en las tres actividades, teniéndose así en total 1 616,90 soles. En el segundo piso estos valores se reducen teniéndose así una pérdida total de 293,10 soles y en el tercer piso se obtuvo un ahorro de 173,60 soles. Por lo cual aseveramos que hubo mayor productividad con la aplicación del sistema propuesto. cabe recalcar que la obra tuvo una paralización de más de un mes, por lo tanto, se trató de recuperar este tiempo. Según este análisis de pérdida/ahorro se tiene como pérdida total de 1 736,30 soles, está pérdida puede ser recuperado en los próximos pisos mejorando aun la gestión de la productividad y retroalimentando el sistema de gestión BIM-LEAN. Cabe recalcar que estos datos son referenciales y aproximados, que sirve como alerta para un análisis real de los costos (gestión de costos), ya que se requiere un seguimiento y control mas minucioso.

Cuadro 20. Análisis de costos de mano de obra sistema tradicional vs Sistema de Gestión BIM-LEAN

Fuente: Elaboración propia

AHORROS VS PÉRDIDAS				
Sistemas	Tradicional	Sistema de Gestión BIM-LEAN		Total
Pisos	primer piso	Segundo piso	Tercer piso	
Actividad	Pérdidas/ahorro	Pérdidas/ahorro	Pérdidas/ahorro	Pérdidas/ahorro
Columnas y placas	-277,34	-127,11	-88,32	-492,77
Acero	0,00	0,00	2,28	2,28
Encofrado y desencofrado	-81,06	11,05	-11,80	-81,81
Concreto	-196,28	-138,16	-78,80	-413,24
Muros de cerramiento	-827,40	-294,36	1,80	-1 119,96
Acero	-239,70	-80,78	-82,20	-402,68
Encofrado y desencofrado	-228,70	-99,14	7,90	-319,94
Concreto	-359,00	-114,44	76,10	-397,34
Elementos horizontales: Losa maciza y vigas	-512,10	128,38	260,12	-123,60
Acero en vigas	-176,96	32,20	73,64	-71,12
Encofrado de viga y losa	-198,50	-115,78	-1,12	-315,40
Acero en losa (malla)	-136,64	211,96	187,60	262,92
Pérdidas/ahorro por piso	-1 616,84	-293,09	173,60	-1 736,33

6.6. Sistema tradicional vs Sistema de Gestión BIM-LEAN

A continuación, presentamos el Cuadro 21 donde presentamos la comparación del sistema tradicional y el propuesto en el presente trabajo de investigación.

Cuadro 21. Sistema tradicional vs Sistema de gestión BIM-LEAN

Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN	SISTEMA TRADICIONAL	SISTEMA DE GESTIÓN BIM-LEAN
Productividad	Baja.	Media/alta.
Organización	Jerárquica e inestable.	Funcional.
Control	Incumplimiento de programas y presupuestos, deficiencias en el control de calidad.	Programación actualizada y confiable, control de calidad por supervisión interna.
Mano de obra	Personal que realiza diferentes actividades.	Especialistas en una actividad determinada.
Tecnología	Aplicación de tecnologías informáticas: CAD, Excel, MS Project, S10.	Aplicación de tecnologías informáticas, realidad virtual, gestión de la construcción,

		inclusión de nuevas filosofías de productividad y automatización.
Calidad de administración	Decisiones basadas en el contexto, juicios personales y experiencias.	En base a registro de datos, planificación previa, colaborativa.
Calidad de producto final	Deficiente a razonable en general.	Se realiza una supervisión interna para la liberación de actividades. De buena a excelente.
Planeamiento	Planificación muy detallada a largo plazo. La planificación se basa en la experiencia del administrador.	Existe niveles de programación, maestra (Gantt), intermedia (Look Ahead), semanal (Plan semanal). Se tiene un equipo de planificación.
Procesos	Lineal	Flujo de procesos (tren e actividades y sectorización).
Reuniones colaborativas	Reuniones al inicio de obra y final de obra.	Reuniones mensuales, semanales y diarios.
Plazos	Existe poca posibilidad para cumplir con los plazos.	Cumplimiento o menores plazos de ejecución.
Adquisición de recursos	Los requerimientos de materiales se realizan a poco tiempo de realizar la actividad.	El requerimiento de material se realiza con anticipación, ya que se tiene una programación mensual y semanal.
Manejo de información	Dos dimensiones, analógicas.	Información digital, virtuales (BIM), formatos Excel.
Gestión de obra	No existe una gestión adecuada y el control de obra es deficiente, no existe un seguimiento de la productividad.	Mejora la gestión y el control del proyecto de construcción.
Comunicación	El traspaso de información se realiza en forma verbal.	Se realiza reuniones, se comparte formatos, se realiza informes semanales y mensuales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se presentó el Sistema de Gestión BIM-LEAN, aplicado en el Proyecto Residencial Los Nogales II en la ciudad de Tacna. Este sistema moderno se basa en los principios de Lean Construction, utiliza la metodología BIM y herramientas del Lean Construction para la gestión de la productividad.
- La filosofía Lean Construction se basa en reducir desperdicios y generar valor al producto final, como herramienta principal de programación y control de la productividad cuenta con el Sistema Last Planner, el cual consiste en niveles de programación; la programación maestra (global de todo el proyecto), la programación intermedia (Look Ahead) y la programación semanal (Plan semanal) y para el control de los avances se complementa con las restricciones de obra, avance semanal, PAC (porcentaje de asignaciones completadas) y trazabilidad de PAC, existen otras herramientas Lean como; tren de actividades, sectorización (herramientas necesarias para la programación Last Planner) y circuito fiel, para dimensionar las cuadrillas y determinar pérdidas o ahorros en mano de obra. La metodología BIM, se basa en un modelo tridimensional paramétrico, como tal contiene información necesaria para la gestión de la productividad y además funciona como herramienta de gestión visual.
- El Sistema de gestión BIM-LEAN, consiste en la sinergia de la filosofía LEAN y herramientas con la metodología BIM, desarrollándose así un sistema dinámico, visual y beneficioso para la gestión de la productividad. LEAN como filosofía proporciona principios los cuales fueron base para el sistema propuesto, Lean propone herramientas (SLP) de mayor control sobre las programaciones, avances y restricciones. Mientras que BIM propone el uso de un modelo

paramétrico, dinámico capaz de almacenar información para la gestión de la productividad y además de ser muy útil como herramienta visual para reuniones colaborativas. El Sistema de Gestión BIM, desarrolla un plan de productividad en cuatro fases de la construcción; planificación, ejecución, control y retroalimentación, este plan de productividad presenta una serie de actividades para gestionar la productividad mediante documentos de entrada y obtener documentos de salida.

- La aplicación del Sistema de Gestión BIM-LEAN en el proyecto Residencial Los Nogales II, evidenció dos aspectos de mejora en cuanto a la productividad. Se mejoró los tiempos de ejecución, siendo los días de ejecución 33 días según el plan maestro y se logró disminuir a 23 y 20 días, para el segundo y tercer piso respectivamente, cabe recalcar que se tuvo una paralización de más de un mes al culminar la construcción del primer piso, por lo cual se trató de recuperar ese tiempo. En cuanto a la eficiencia del uso de recursos, se tenía una pérdida de 1 616,90 soles en mano de obra en la construcción del primer piso, en la construcción del segundo y tercer piso se tuvo una pérdida de 119,50 soles, por lo tanto, se disminuyó esta cifra. Según la trazabilidad del porcentaje de asignaciones completadas (PAC) se tuvo una mejora en el cumplimiento de las actividades completadas, desde el inicio de la implementación del sistema, semana 01 que se tuvo un 40% y en la semana 07 se tuvo un 80%, de un 100% en promedio de las siete semanas se tuvo un 69% de las actividades esperadas. En las gráficas de control y seguimiento de los avances semanales de la programación del plan maestro versus el avance real, se observa la intersección. Por lo que concluimos una mejora continua de la productividad.
- El Sistema de gestión BIM-LEAN, no busca sustituir el sistema tradicional, busca enriquecer agregando estabilidad al sistema en su conjunto. El Sistema de gestión BIM-LEAN, aporta agilidad en la solución de imprevistos, anticipando

eventos que puedan darse. El compromiso de la gente con el proyecto aumenta cada semana y al ver los resultados aumenta la motivación y la productividad, los tiempos de ejecución disminuyen, y por ende se genera mayor rentabilidad y calidad en el proyecto.

Recomendaciones

- Para la liberación de las actividades y considerarlas como avances en la productividad, se necesita que se realicen supervisiones internas de calidad en cada especialidad, porque en caso no cumplieren con la calidad esperada, se tendría que realizar retrabajos, considerado como desperdicios, el cual afecta la rentabilidad, causa retrasos y que el flujo de los procesos pare.
- La metodología BIM, es una herramienta versátil y dinámica, en la aplicación de la presente Tesis no se pudo aprovechar sus beneficios en su totalidad, por lo que se recomienda darle mayor uso en cuanto a la pre- construcción que nos permitirá detectar incompatibilidades, interferencias de tal manera, realizar una simulación del proceso constructivo.
- La gestión de la comunicación para este sistema es primordial, por lo cual este aspecto debe ser mejorado
- La implementación de nuevos sistemas significa un cambio en la cultura de la empresa, es un proceso que requiere paciencia y perseverancia, ya que se trata directamente con personas. Se recomienda aprovechar en las reuniones semanales, como una charla de 5 minutos y dar a conocer conceptos, explicación de las metodologías, en mejor de los casos tomar acuerdo con los directivos de la empresa y tomar un día específico para realizar una capacitación con talleres dinámicos.

- La industria de la construcción en la actualidad está dando pasos agigantados en el uso de herramientas digitales, en la implementación de sistemas modernos de gestión, los clientes cada vez más son exigentes en el tiempo y calidad de los productos. Muchas empresas ya han adoptado estas innovaciones, por lo que se recomienda a las empresas locales medianas y pequeñas adquirir estos cambios, para ser considerados en el mercado actual y futura de la construcción. Los profesionales de la construcción también deben considerar adquirir el conocimiento de estos sistemas modernos, ya que las empresas están solicitando y en un futuro su demanda será más grande debido a la implementación de estas metodologías en la norma peruana, el conocimiento en la actualidad es globalizada por lo que encontrar información en la red es sencilla.
- El sistema de gestión BIM-LEAN se enfoca en el planeamiento y la productividad, El sistema está en proceso de mejoramiento, para estudios posteriores se sugiere aprovechar las herramientas desarrolladas, ya que estos tienen mayores usos y además de complementar con otras metodologías como el VDC (diseño y construcción virtual), herramientas como el Dynamo (programaciones), Naviswork (simulación) entre otros. también está abierta a integrar con otros aspectos como la gestión de costos, calidad y seguridad.
- El sistema de gestión de la productividad propuesto se limita en obras de mayor inversión (más de 1 millón de soles, según el proyecto de estudio), ya que el gasto asumido para su implementación es de menor incidencia, en comparación a proyectos pequeños y de menor inversión, donde su incidencia sería notable.
- En obras ejecutadas por administración directa su implementación no es recomendable, ya que no se cuenta con una logística asegurada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

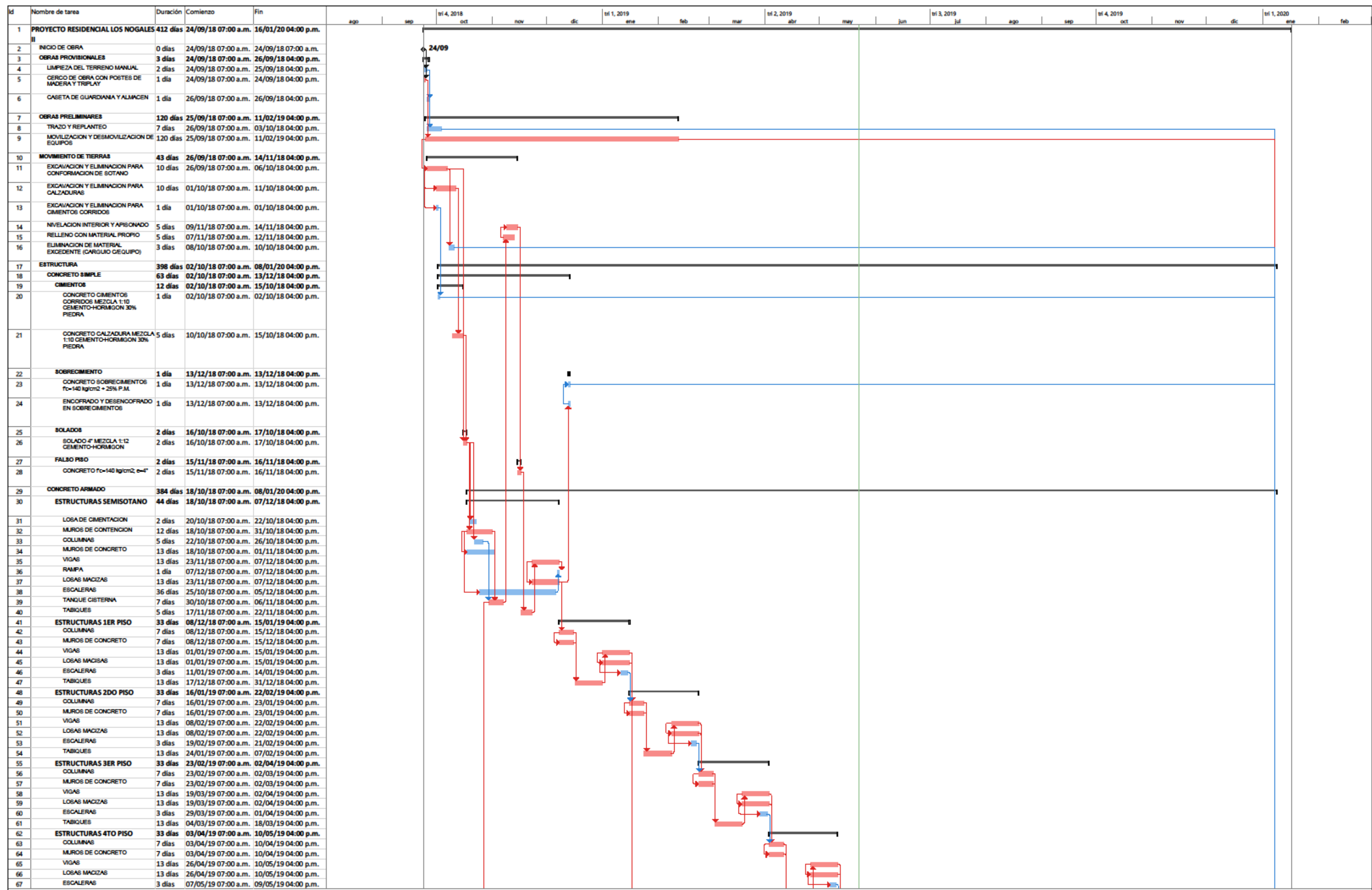
- Alarcón, L, Martínez, Luis. (1988). *“Herramientas para identificar y reducir pérdidas en proyectos de construcción”*. Revista de Ingeniería de Construcción. Santiago.
- [Alarcón, L, Martínez, Luis. (1988). *“Programas de mejoramiento de la productividad para obras de construcción”*. Revista de Ingeniería de Construcción, N°5. Santiago.
- Brioso, X. (2015). *“El análisis de la construcción sin pérdidas (Lean Construction) y su relación con el Project & Construction Management: Propuesta de regulación en España y su inclusión en La Ley de la Ordenación de la Edificación”* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid- Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Madrid.
- Buleje, K. (2012). *“Productividad en la construcción de un condominio aplicando conceptos de la filosofía lean construcción”* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Castillo, J. (2015). *“Planificación 4D en la obra de edificación Villa Municipal”* (Tesis de pregrado). Universidad Privada Antenor Orrego. Piura.
- Coloma, E. (2008). *“Introducción a la tecnología BIM”*. Primera edición. Catalunya. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona.
- Diaz, D. (2007). *“Aplicación del Sistema de Planificación Last Planner a la construcción de un edificio habitacional de mediana altura”*. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile. Santiago de Chile.

- Eyzaguirre, R. (2015). “*Potenciando la capacidad de análisis y Comunicación de los proyectos de construcción, Mediante herramientas virtuales BIM 4D durante la etapa de planificación*” (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- Ibarra, L. (2011). “*Lean Construction*” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México. México
- Koskela, L. (2000). “*An exploration towards a production theory and its application to construction*” (Tesis doctoral). Tesis doctoral. Technical Research Centre of Finland, Espoo.
- Mojica, A. Valencia, D (2012). “*Implementación de las metodologías BIM como herramienta para la planificación y control del proceso constructivo de una edificación en Bogotá*” (Tesis de pregrado) Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá.
- Mora, J. (2012). “*Medición y análisis de productividad de tres actividades en la construcción de un centro de distribución de 54000m2.*” (Proyecto de graduación). Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción. Costa Rica.
- Quispe, H. Morán, L(2014). “*Estudio de la productividad en la partida de estructuras 1°-3° piso, de la construcción del edificio multifamiliar residencial Heredia en la Ciudad de Trujillo*” (Tesis de pregrado) Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo.
- Paxi, A. (2015). “*Propuesta metodológica para la mejora de la planificación, programación y control de obras de construcción aplicando la interacción de las herramientas de Lean Construction y Building Information Modeling (BIM)*” (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna.

- Pons, J. (2014). "*Introducción a Lean Construction*". Primera edición. Fundación Laboral de la Construcción. España.
- Ohno, T. (1988). "*Toyota production system*". Japón.
- Rodríguez, I. (2009). "*Introducción a Lean Construction*". XVII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Instituto de la Construcción y Gerencia. Lima.
- Serpell, A. (1986). "*Alternativas para mejorar la productividad en el sector construcción*". Revista de Ingeniería de Construcción, N°1. Santiago.
- Serpell, A. Verbal, R (1990). "*Análisis de operaciones mediante cartas balance*". Revista de Ingeniería de Construcción, N°9. Santiago.

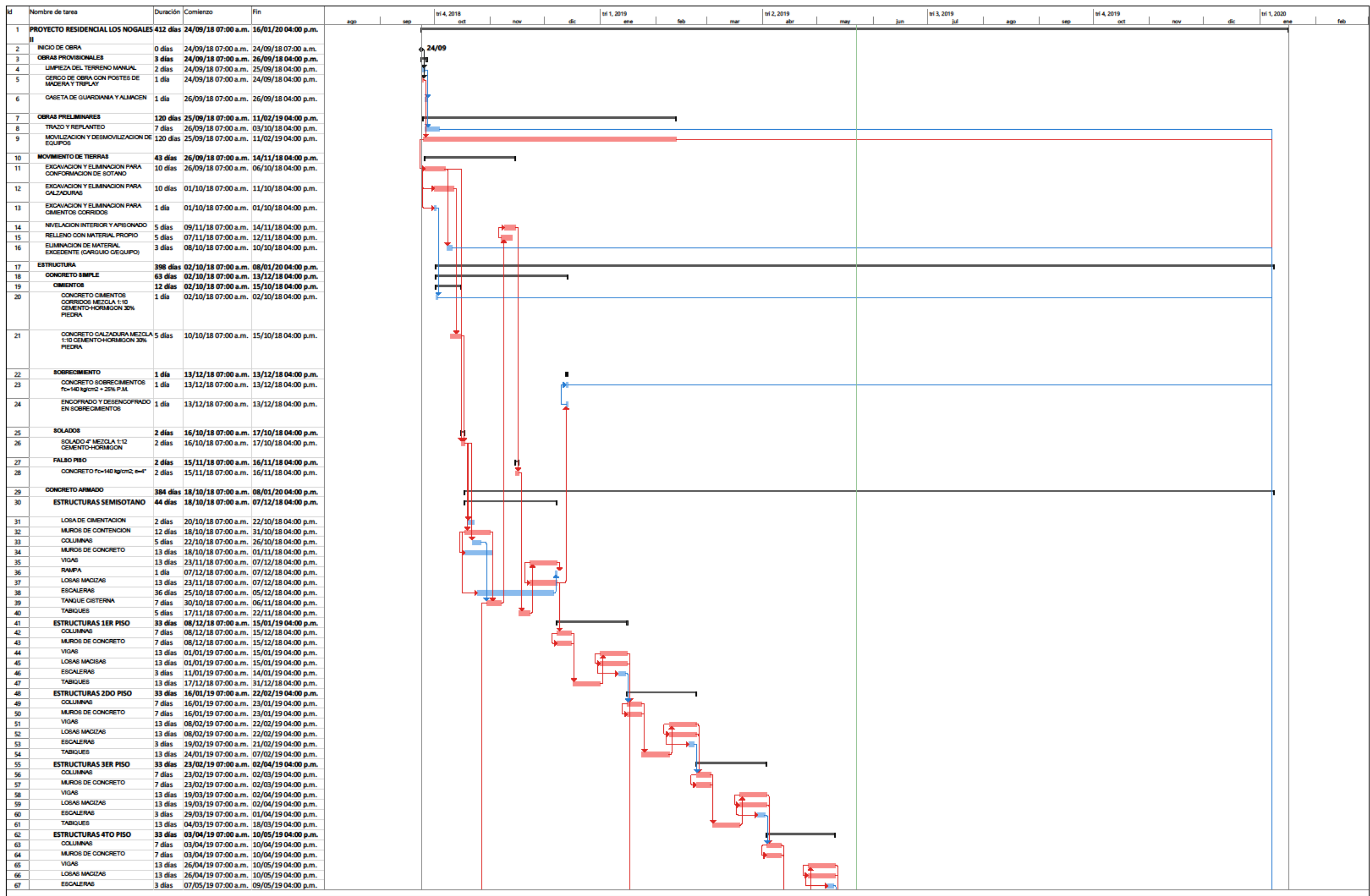
ANEXOS

ANEXO 01 – CRONOGRAMA DE OBRA



Proyecto: PROGRAMACION M
 Fecha: 23/05/19 11:27 p.m.


Tarea	Resumen	Hito Inactivo	solo duración	solo el comienzo	Hito externo	División crítica
División	Resumen del proyecto	Resumen Inactivo	Informe de resumen manual	solo fin	Fecha límite	Progreso
Hito	Tarea Inactiva	Tarea manual	Resumen manual	Tareas externas	Tareas críticas	Progreso manual



Proyecto: PROGRAMACION M
 Fecha: 23/05/19 11:25 p.m.

Tarea	Resumen	Hito Inactivo	solo duración	solo el comienzo	Hito externo	División crítica
División	Resumen del proyecto	Resumen Inactivo	Informe de resumen manual	solo fin	Fecha límite	Progreso
Hito	Tarea Inactiva	Tarea manual	Resumen manual	Tareas externas	Tareas críticas	Progreso manual

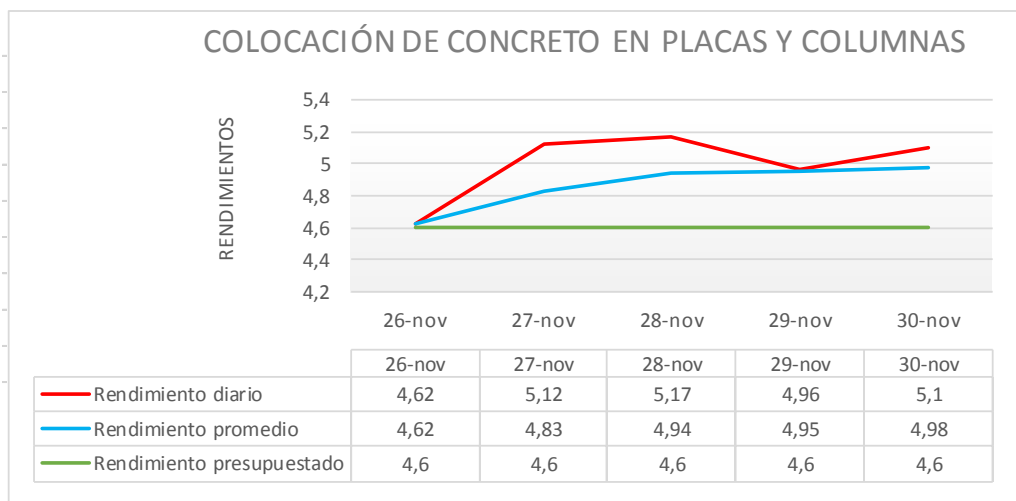
ANEXO 02 – CIRCUITO FIEL – 1ER PISO


	FORMATO	Código: 002
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.002	Nivel: PRIMER PISO
	Versión: 01	Elaborado por: Lizbeth C.
RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: CONCRETO EN PLACAS Y COLUMNAS
PRIMER PISO

Descripción	Fecha	28-nov	29-nov	30-nov	01-dic	03-dic
	Día	D1	D2	D3	D4	D5
Número de trabajadores	und	5	4	5	5	5
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,00	5,00	8,50
Horas hombre	hh	42,5	34	40	25	42,5
Horas hombre acumuladas	hh	42,5	76,50	116,50	141,50	184,00
Avance diario	m2	9,19	6,64	7,74	5,04	8,33
Metrado acumulado	m2	9,19	15,83	23,57	28,61	36,94
Rendimiento diario	hh/m2	4,62	5,12	5,17	4,96	5,1
Rendimiento acumulado	hh/m2	4,62	4,83	4,94	4,95	4,98
Rendimiento presupuestado	hh/m2	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Ganancia/pérdida del día	hh	-0,18	-3,45	-4,41	-1,81	-4,17
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-0,18	-3,63	-8,04	-9,85	-14,02
Costo hh promedio	soles/hh	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Ahorro/pérdida del día	S/	-2,52	-48,3	-61,74	-25,34	-58,38
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-2,52	-50,82	-112,56	-137,9	-196,28

Rendimiento presupuesto	4,6	HH/m3
Rendimiento meta	4,6	HH/m3
Productividad presupuesto	9,24	m3/jornada
Productividad meta	9,24	m3/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres

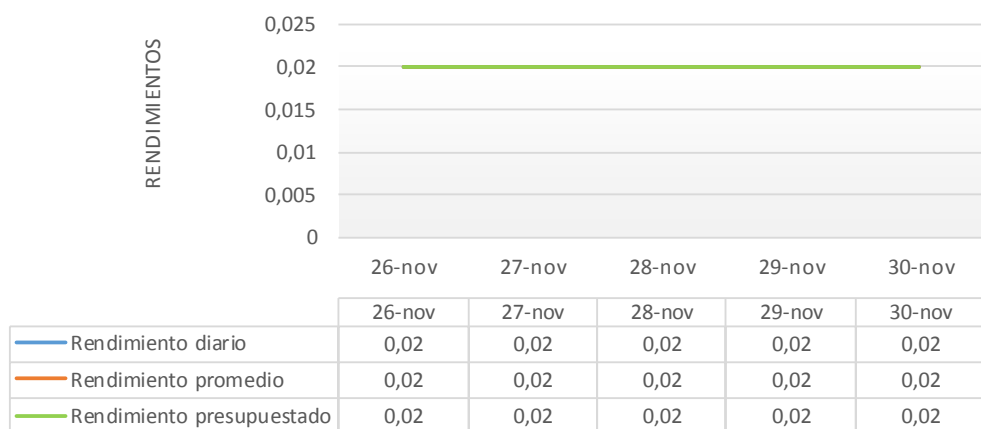



	FORMATO	Código: 003
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.003	Nivel: PRIMER PISO
	Versión: 01	Elaborado por: Lizbeth C.
RESUMEN DE OBRAS: VIVIENDA MULTIFAMILIAR LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: ACERO EN PLACAS Y COLUMNAS						
PRIMER PISO						
Descripción	Fecha	23-nov	24-nov	26-nov	27-nov	28-nov
	Día	D1	D2	D3	D4	D5
Número de trabajadores	und	4	4	4	4	4
Horas diarias	h	8,50	5,00	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	34	20	34	34	34
Horas hombre acumuladas	hh	34	54,00	88,00	122,00	156,00
Avance diario	m2	1521,62	815,92	1673,75	1657,92	1580,33
Metrado acumulado	m2	1521,62	2337,54	3995,46	5669,21	7249,54
Rendimiento diario	hh/m2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Ganancia/pérdida del día	hh	0	0	0	0	0
Ganancia/pérdida acumulado	hh	0	0	0	0	0
Costo hh promedio	soles/hh	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8
Ahorro/pérdida del día	S/	0	0	0	0	0
Ahorro/pérdida acumulado	S/	0	0	0	0	0

Rendimiento presupuesto	0,02	HH/kg
Rendimiento meta	0,02	HH/kg
Productividad presupuesto	2416,51	kg/jornada
Productividad meta	1812,39	kg/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres

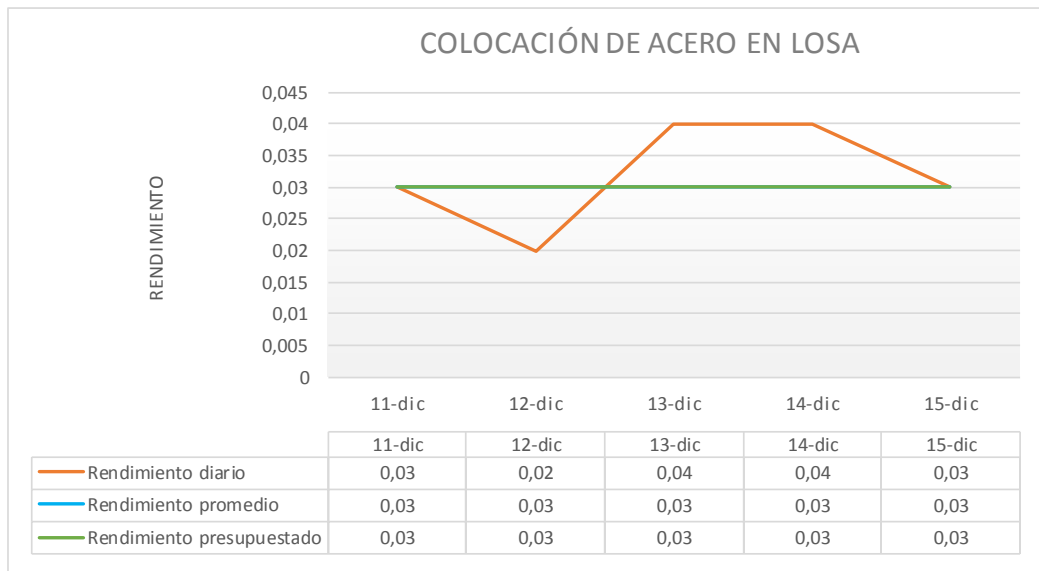
COLOCACIÓN DE ACERO EN PLACAS Y COLUMNAS



	FORMATO	Código: 009
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.009	Nivel: PRIMER PISO
Versión: 01	Elaborado por: Lizbeth C.	
SIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: ACERO EN LOSA MACIZA						
PRIMER PISO						
Descripción	Fecha Día	17-dic D1	18-dic D2	20-dic D3	21-dic D4	22-dic D5
Número de trabajadores	und	4	4	4	4	3
Horas diarias	h	8,50	5,00	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	34	20	34	34	25,5
Horas hombre acumuladas	hh	34	54,00	88,00	122,00	147,50
Avance diario	m2	1061,57	868,64	939,32	905,84	731,26
Metrado acumulado	m2	1061,57	1930,21	2836,05	3775,37	4506,63
Rendimiento diario	hh/m2	0,03	0,02	0,04	0,04	0,03
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Ganancia/pérdida del día	hh	0	8,69	-9,06	-9,39	0
Ganancia/pérdida acumulado	hh	0	8,69	-0,37	-9,76	-9,76
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	0	121,66	-126,84	-131,46	0
Ahorro/pérdida acumulado	S/	0	121,66	-5,18	-136,64	-136,64

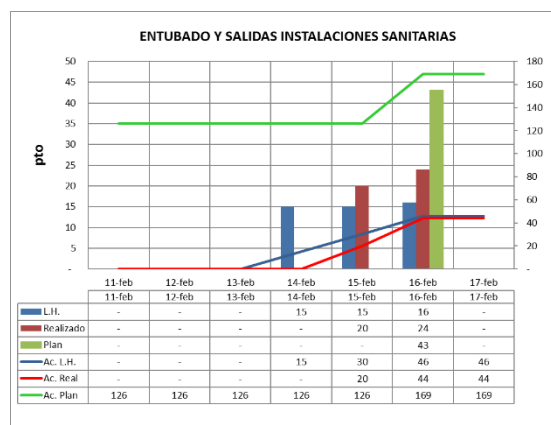
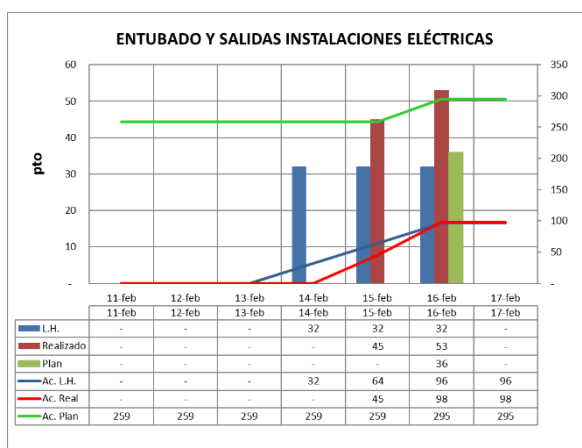
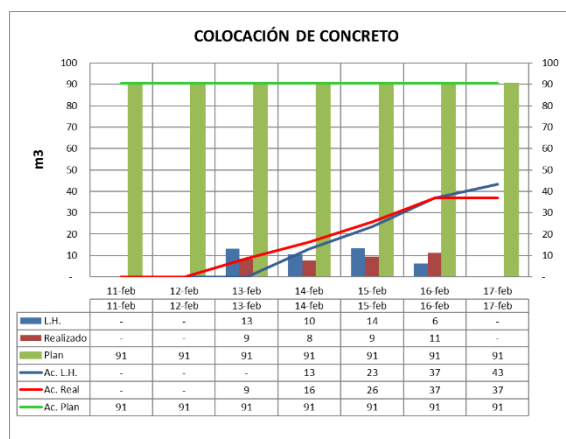
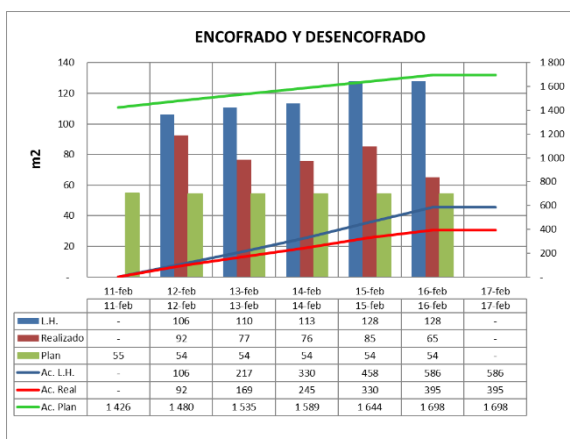
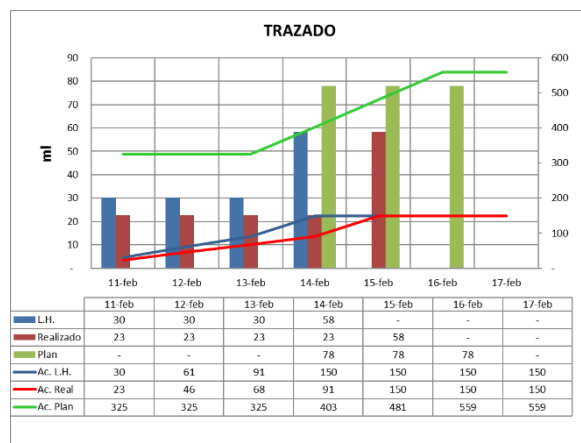
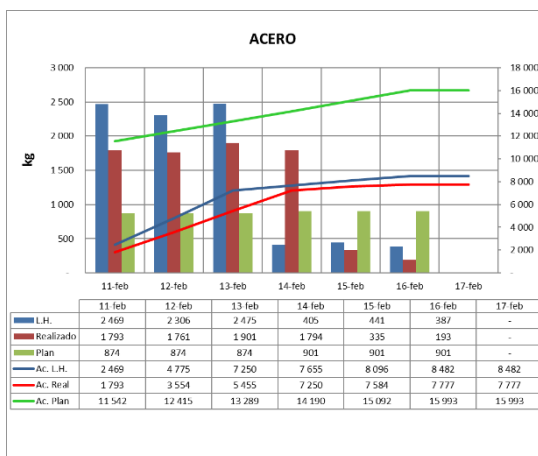
Rendimiento presupuesto	0,03	HH/kg
Rendimiento meta	0,02	HH/kg
Productividad presupuesto	751,11	kg/jornada
Productividad meta	1126,65	kg/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	3	hombres



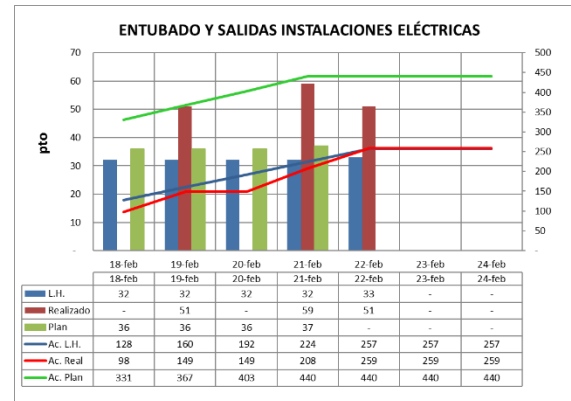
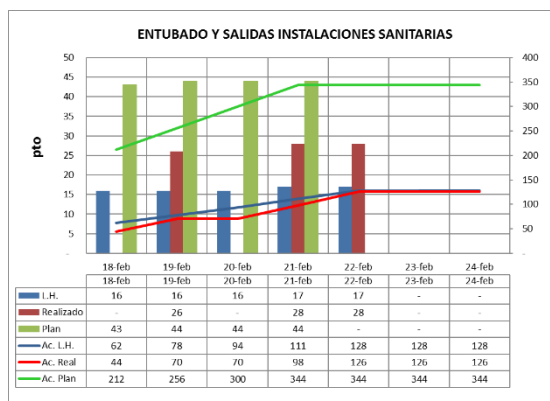
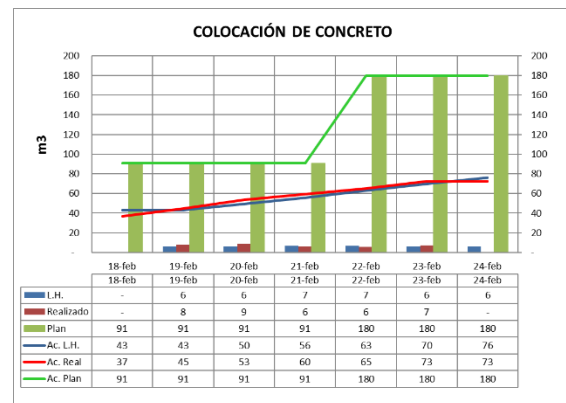
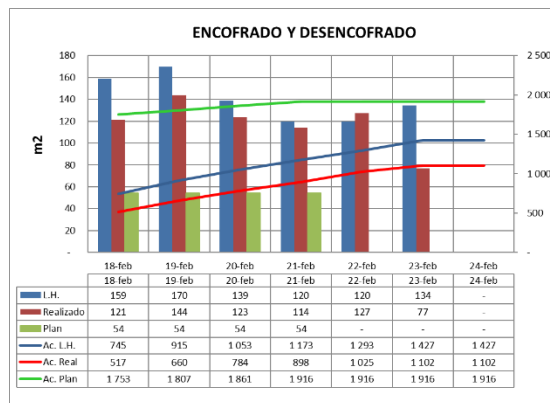
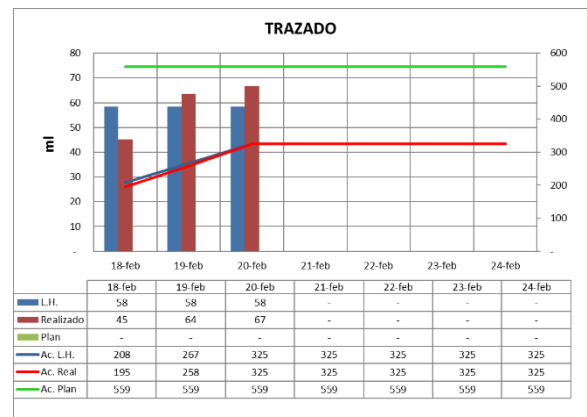
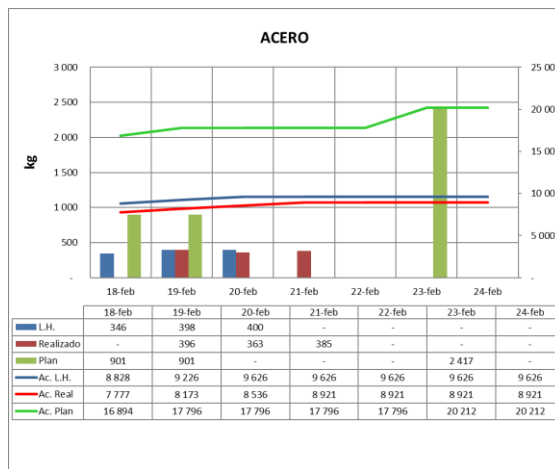
ANEXO 03 – LOOK AHEAD Y PLAN SEMANAL

**ANEXO 04 – GRÁFICAS DE PROGRAMACIÓN GANTT VS
AVANCE REAL VS LOOK AHEAD**

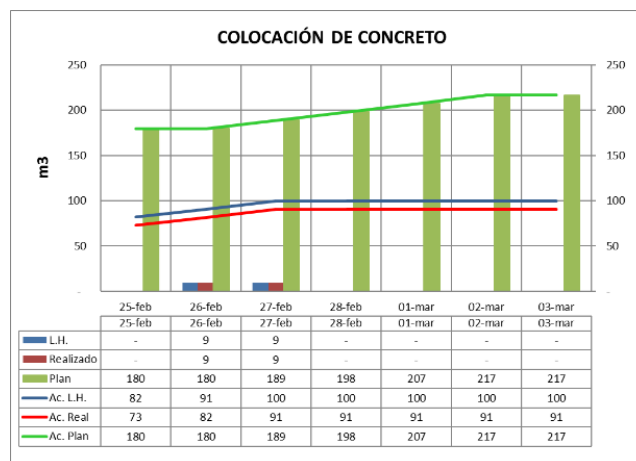
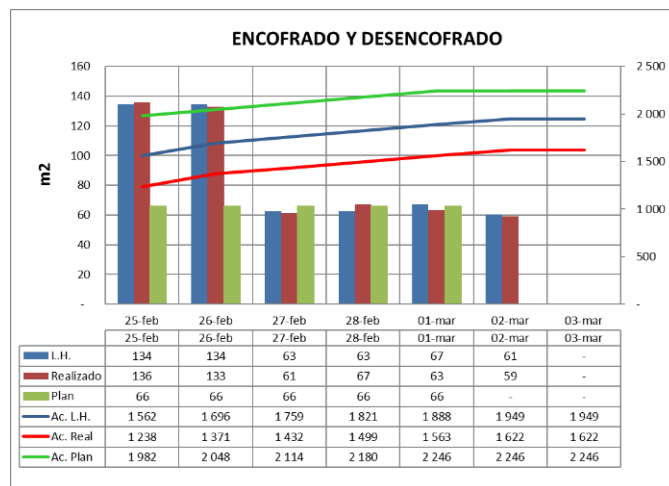
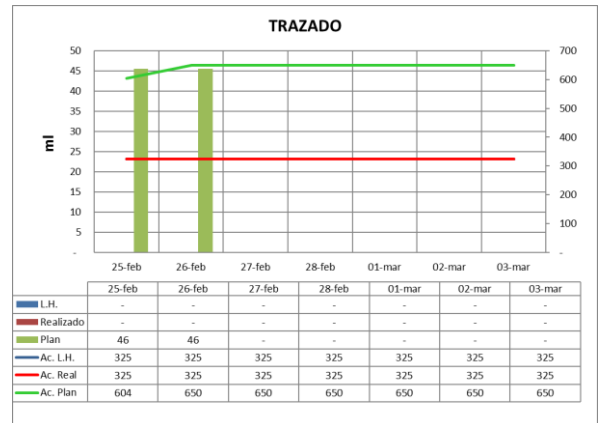
SEMANA 01



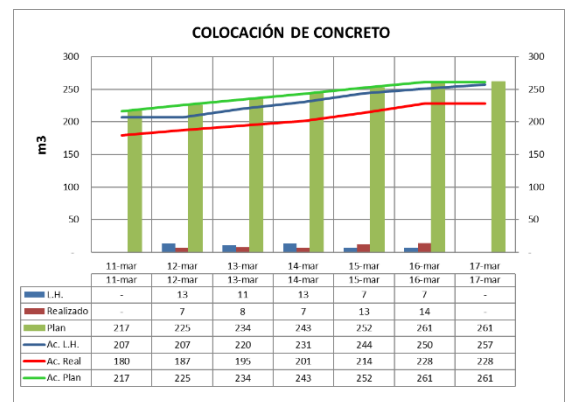
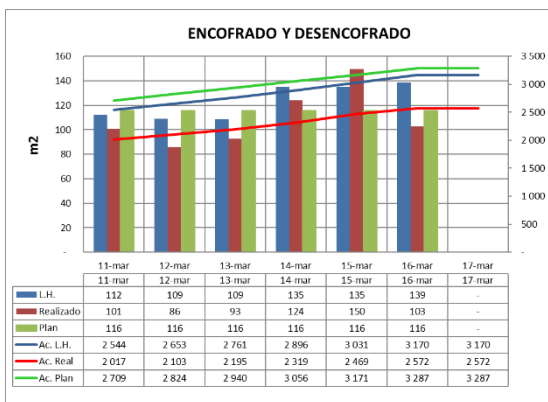
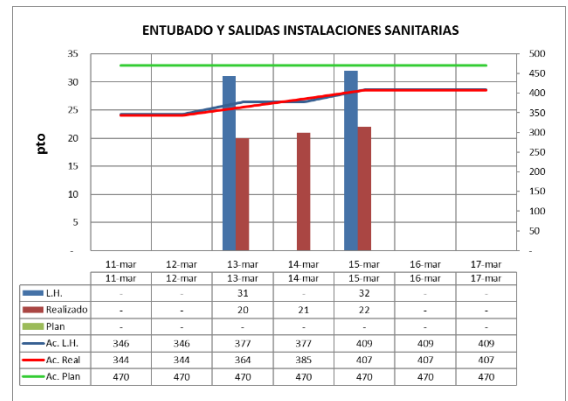
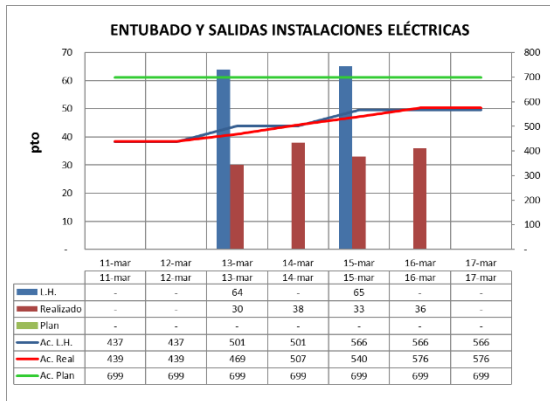
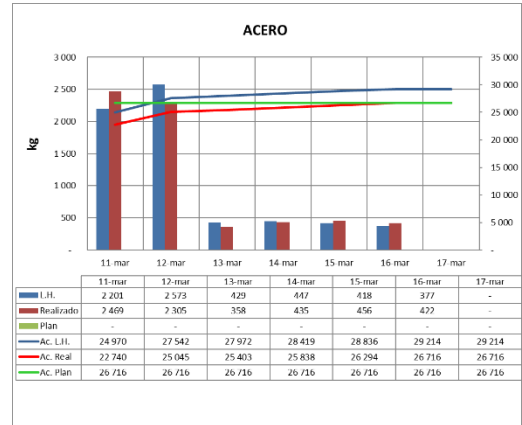
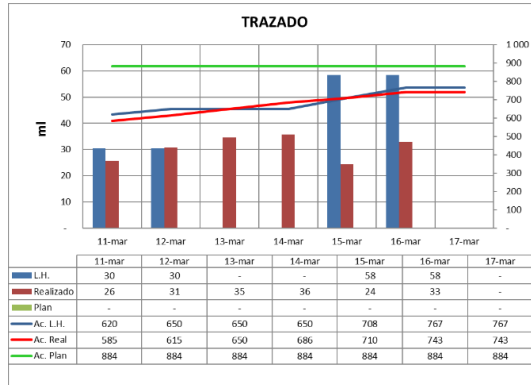
SEMANA 02



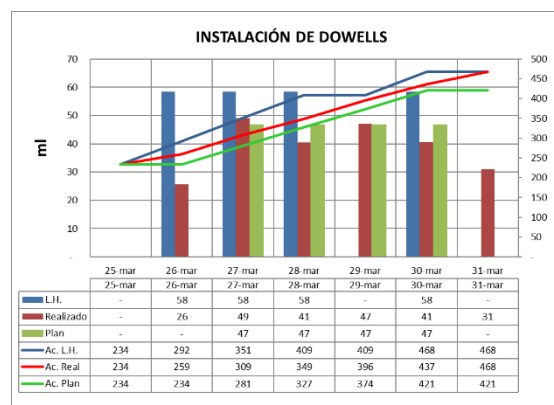
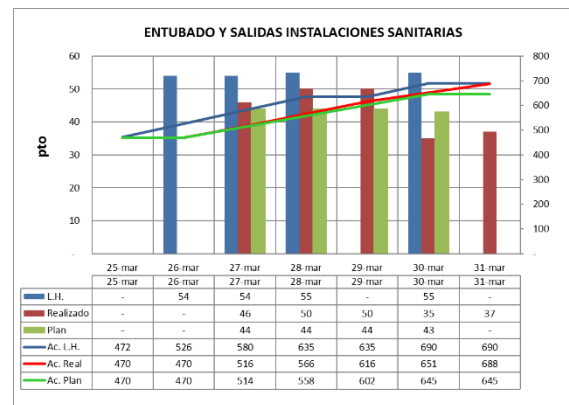
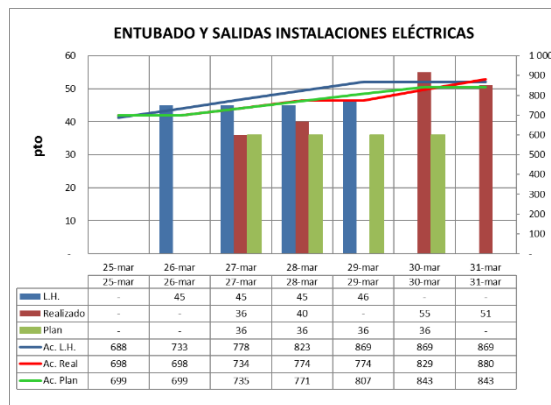
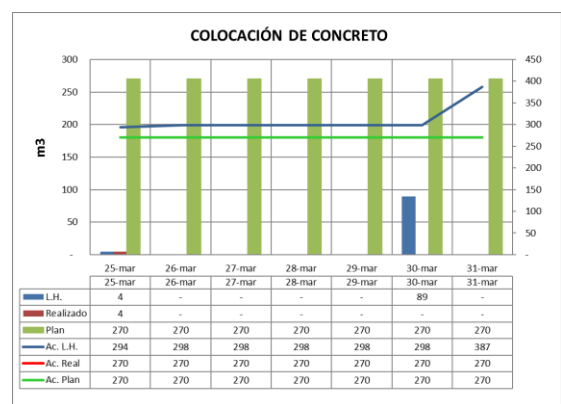
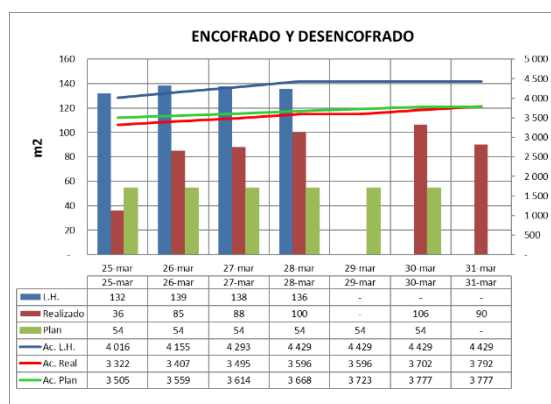
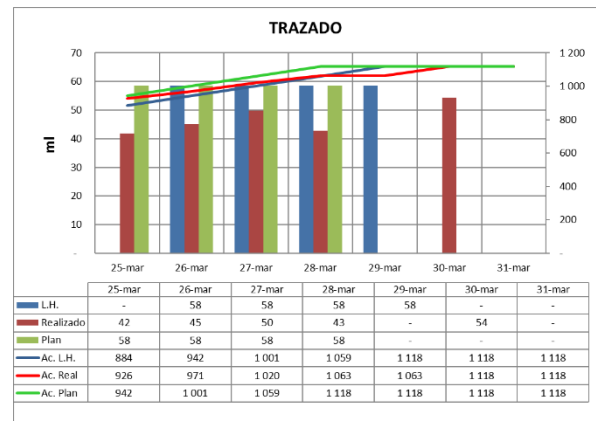
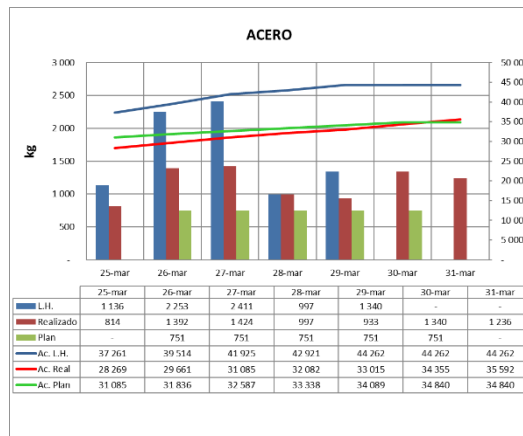
SEMANA 03



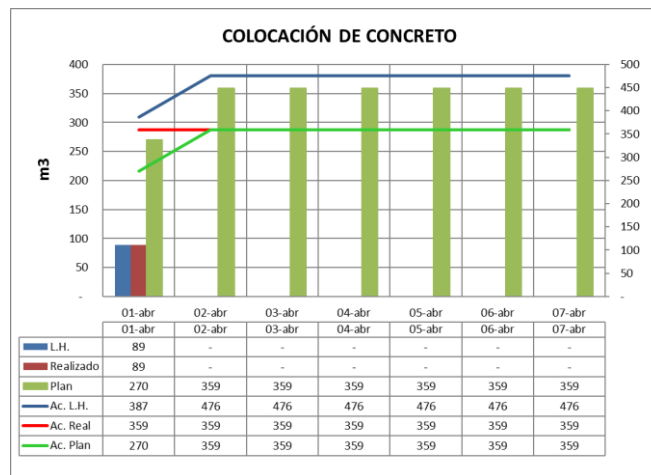
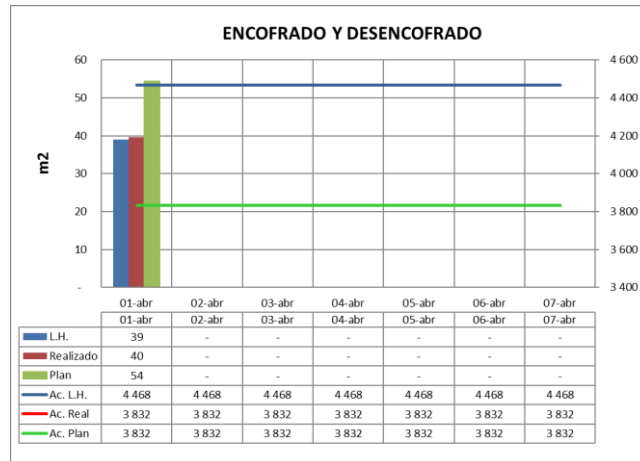
SEMANA 05



SEMANA 07



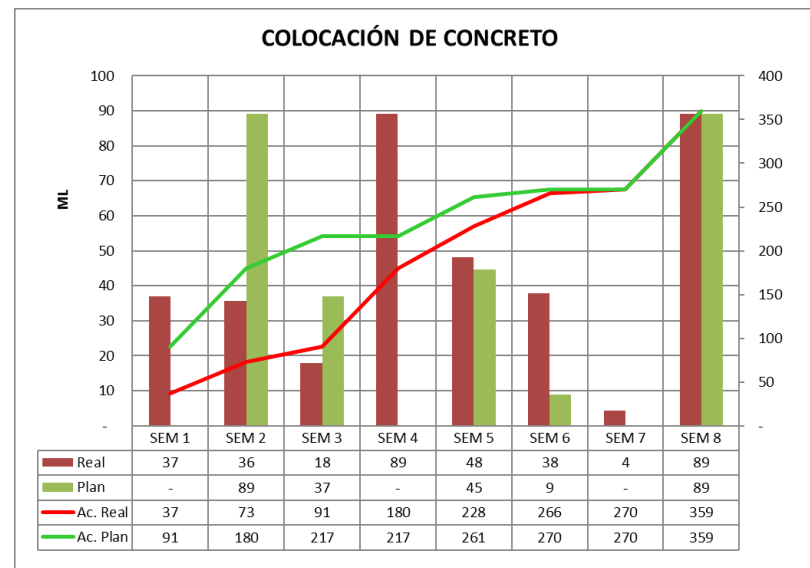
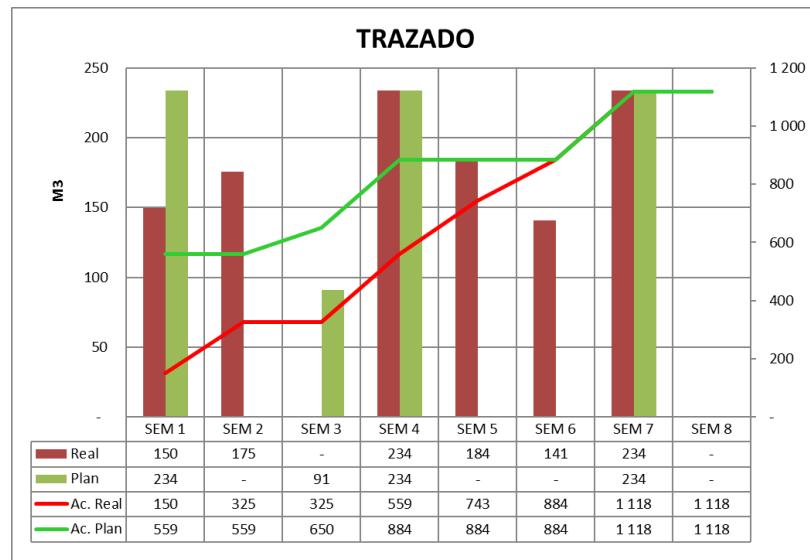
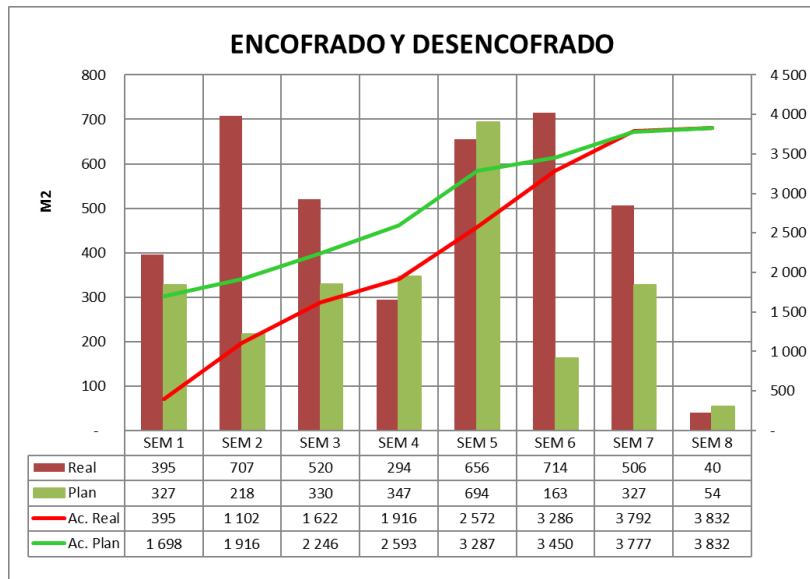
SEMANA 08

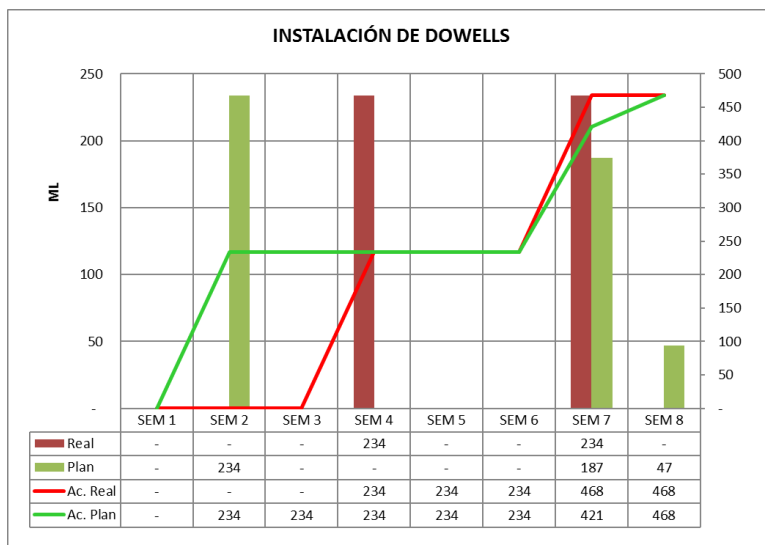
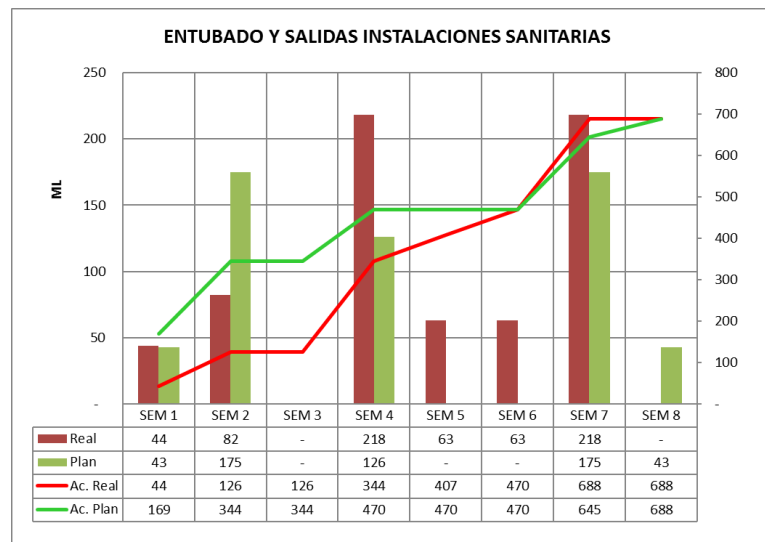
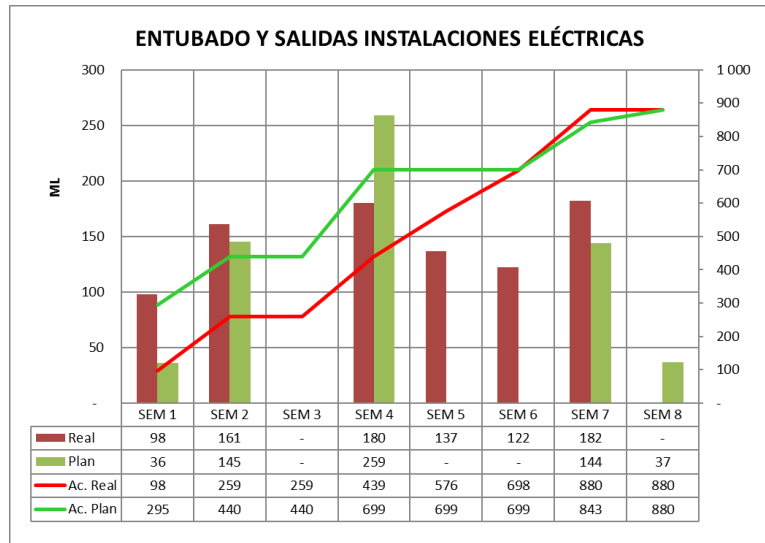


**ANEXO 05– GRÁFICAS DE PROGRAMACIÓN GANTT VS
AVANCE REAL**

Descripción	Und	Observac.	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4	SEM 5	SEM 6	SEM 7	SEM 8
			11-feb	18-feb	25-feb	04-mar	11-mar	18-mar	25-mar	01-abr
			17-feb	24-feb	03-mar	10-mar	17-mar	24-mar	31-mar	07-abr
Acero	kg	Real	7 777	1 144	2 945	8 406	6 445	738	8 137	-
		Plan	5 325	4 219	4 833	1 671	-	4 368	3 756	751
		Ac. Real	7 777	8 921	11 865	20 272	26 716	27 455	35 592	35 592
		Ac. Plan	15 993	20 212	25 045	26 716	26 716	31 085	34 840	35 592
Trazado	ml	Real	150	175	-	234	184	141	234	-
		Plan	234	-	91	234	-	-	234	-
		Ac. Real	150	325	325	559	743	884	1 118	1 118
		Ac. Plan	559	559	650	884	884	884	1 118	1 118
Encofrado y desencofrado	m2	Real	395	707	520	294	656	714	506	40
		Plan	327	218	330	347	694	163	327	54
		Ac. Real	395	1 102	1 622	1 916	2 572	3 286	3 792	3 832
		Ac. Plan	1 698	1 916	2 246	2 593	3 287	3 450	3 777	3 832
Colocación de concreto	m3	Real	37	36	18	89	48	38	4	89
		Plan	-	89	37	-	45	9	-	89
		Ac. Real	37	73	91	180	228	266	270	359
		Ac. Plan	91	180	217	217	261	270	270	359
Entubado y salidas de instalaciones eléctricas	pto	Real	98	161	-	180	137	122	182	-
		Plan	36	145	-	259	-	-	144	37
		Ac. Real	98	259	259	439	576	698	880	880
		Ac. Plan	295	440	440	699	699	699	843	880
Entubado y salidas de instalaciones sanitarias	pto	Real	44	82	-	218	63	63	218	-
		Plan	43	175	-	126	-	-	175	43
		Ac. Real	44	126	126	344	407	470	688	688
		Ac. Plan	169	344	344	470	470	470	645	688
Instalaciones de dowells	ml	Real	-	-	-	234	-	-	234	-
		Plan	-	234	-	-	-	-	187	47
		Ac. Real	-	-	-	234	234	234	468	468
		Ac. Plan	-	234	234	234	234	234	421	468








ANEXO 06 – CIRCUITO FIEL DE 2DO Y 3ER PISO

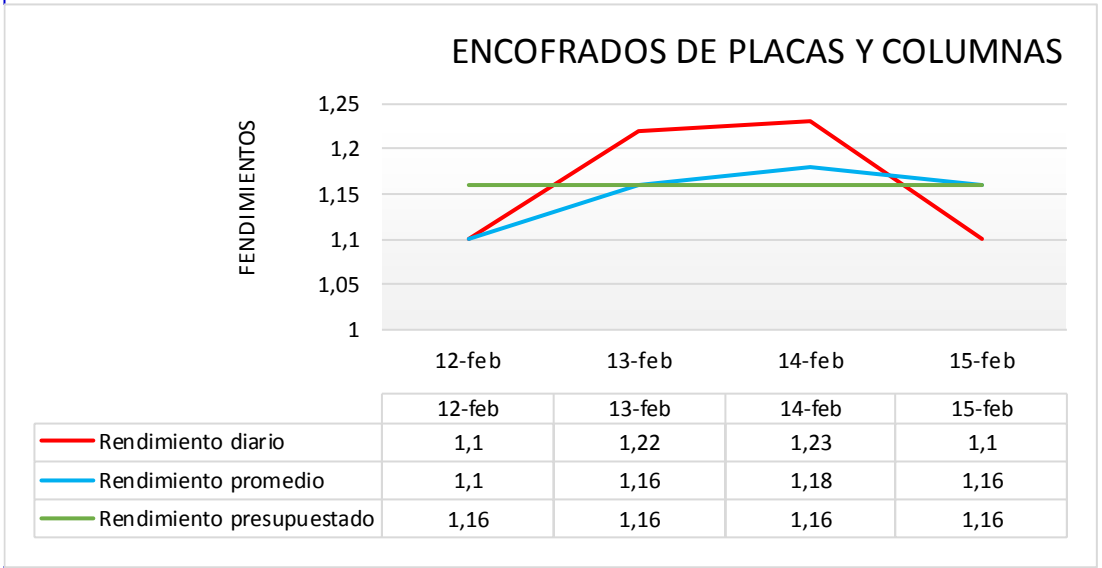
CIRCUITO FIEL – 2DO PISO


	FORMATO	Código: 001
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.001	Nivel: SEGUNDO PISO
	Versión: 01	Elaborado por: Lizbeth C.
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: ENCOFRADO DE PLACAS Y COLUMNAS
SEGUNDO PISO

Descripción	Fecha	12-feb	13-feb	14-feb	15-feb
	Día	D1	D2	D3	D4
Número de trabajadores	und	12	11	11	11
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	102	93,5	93,5	93,5
Horas hombre acumuladas	hh	102	195,50	289,00	382,50
Avance diario	m2	92,4	76,59	75,78	85,18
Metrado acumulado	m2	92,4	168,99	244,77	329,95
Rendimiento diario	hh/m2	1,1	1,22	1,23	1,1
Rendimiento acumulado	hh/m2	1,1	1,16	1,18	1,16
Rendimiento presupuestado	hh/m2	1,16	1,16	1,16	1,16
Ganancia/pérdida del día	hh	5,54	-4,6	-5,3	5,11
Ganancia/pérdida acumulado	hh	5,54	0,94	-4,36	0,75
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	84,8	-70,4	-81,1	78,2
Ahorro/pérdida acumulado	S/	84,8	14,4	-66,7	11,5

Rendimiento presupuesto	1,16	HH/m2
Rendimiento meta	0,93	HH/m2
Productividad presupuesto	65,99	m2/jornada
Productividad meta	82,49	m2/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	9	hombres

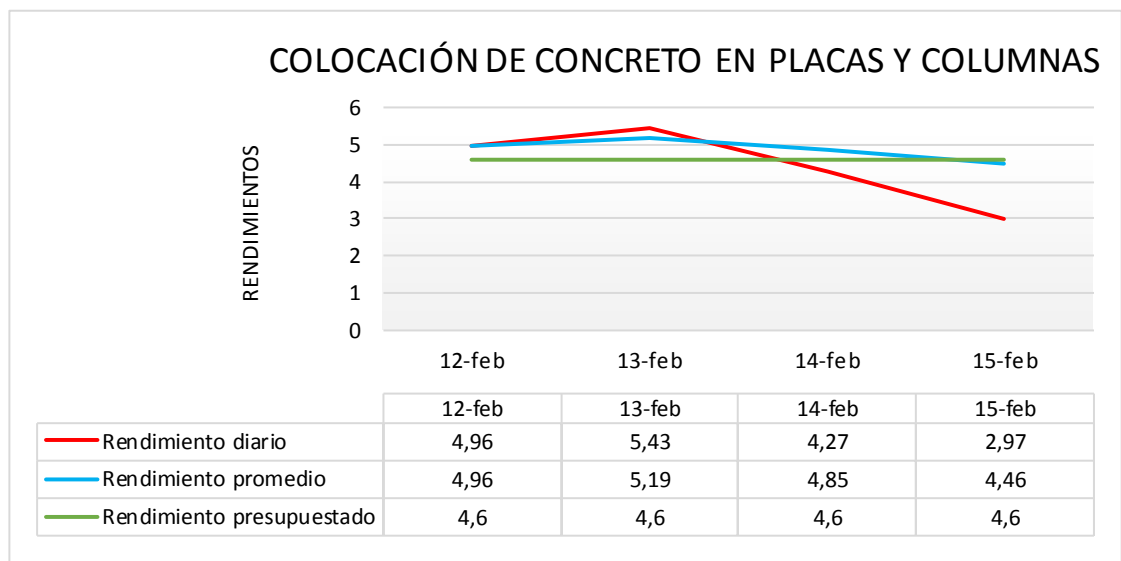



	FORMATO	Código:	002
	CIRCUITO FIEL	Constructora:	Casta inmobiliaria
	OT.CF.002	Nivel	SEGUNDO PISO
Versión: 01	Elaborado por:		Lizbeth C.
RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)			

CIRCUITO FIEL: CONCRETO EN PLACAS Y COLUMNAS
SEGUNDO PISO

Descripción	Fecha	13-feb	14-feb	15-feb	16-feb	18-feb
	Día	D1	D2	D3	D4	D5
Número de trabajadores	und	5	5	5	4	4
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,00	5,00	8,50
Horas hombre	hh	42,5	42,5	40	20	34
Horas hombre acumuladas	hh	42,5	85,00	125,00	145,00	179,00
Avance diario	m2	8,56	7,83	9,36	6,74	4,45
Metrado acumulado	m2	8,56	16,39	25,75	32,49	36,94
Rendimiento diario	hh/m2	4,96	5,43	4,27	2,97	7,64
Rendimiento acumulado	hh/m2	4,96	5,19	4,85	4,46	4,85
Rendimiento presupuestado	hh/m2	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Ganancia/pérdida del día	hh	-3,08	-6,5	3,09	10,99	-13,53
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-3,08	-9,58	-6,49	4,5	-9,03
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	-47,124	-99,45	47,277	168,147	-207,009
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-47,124	-146,574	-99,297	68,85	-138,159

Rendimiento presupuesto	4,6	HH/m3
Rendimiento meta	4,6	HH/m3
Productividad presupuesto	9,24	m3/jornada
Productividad meta	9,24	m3/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres



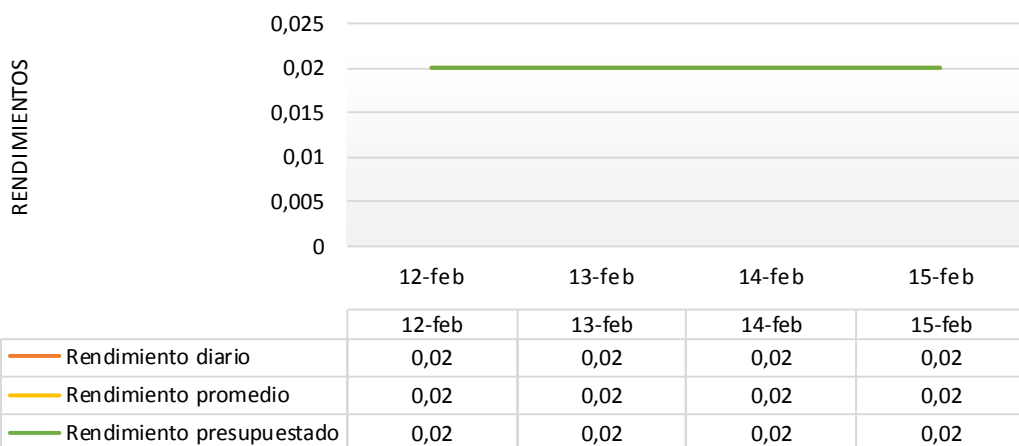
	FORMATO	Código: 003
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.003	Nivel: SEGUNDO PISO
	Versión: 01	Elaborado por: Lizbeth C.
AL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		


CIRCUITO FIEL: ACERO EN PLACAS Y COLUMNAS
SEGUNDO PISO

Descripción	Fecha	11-feb	12-feb	13-feb	14-feb
	Día	D1	D2	D3	D4
Número de trabajadores	und	4	5	4	4
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	9,50
Horas hombre	hh	34	42,5	34	38
Horas hombre acumuladas	hh	34	76,50	110,50	148,50
Avance diario	m2	1793,28	1760,82	1901,22	1794,22
Metrado acumulado	m2	1793,28	3554,10	5455,32	7249,54
Rendimiento diario	hh/m2	0,02	0,02	0,02	0,02
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,02	0,02	0,02	0,02
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,02	0,02	0,02	0,02
Ganancia/pérdida del día	hh	0	0	0	0
Ganancia/pérdida acumulado	hh	0	0	0	0
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	0	0	0	0
Ahorro/pérdida acumulado	S/	0	0	0	0

Rendimiento presupuesto	0,02	HH/kg
Rendimiento meta	0,02	HH/kg
Productividad presupuesto	2416,51	kg/jornada
Productividad meta	1812,39	kg/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres

COLOCACIÓN DE ACERO EN PLACAS Y COLUMNAS



	FORMATO	Código: 006
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.006	Nivel: SEGUNDO PISO
	Versión: 01	Elaborado por: Lizbeth C.

PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)

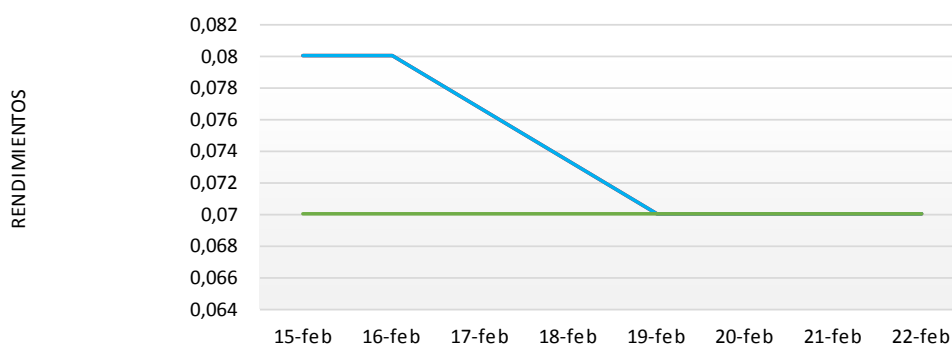
CIRCUITO FIEL: ACERO EN MUROS DE CERRAMIENTO

SEGUNDO PISO


Descripción	Fecha	15-feb	16-feb	19-feb	21-feb	22-feb
	Día	D1	D2	D4	D5	D6
Número de trabajadores	und	3	3	3	3	3
Horas diarias	h	8,50	5,00	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	25,5	15	25,5	25,5	25,5
Horas hombre acumuladas	hh	25,5	40,50	66,00	91,50	117,00
Avance diario	m2	334,61	192,65	374,73	384,26	384,90
Metrado acumulado	m2	334,61	527,26	901,99	1286,25	1671,15
Rendimiento diario	hh/m2	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
Ganancia/pérdida del día	hh	-3,35	-1,93	0	0	0
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-3,35	-5,28	-5,28	-5,28	-5,28
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	-51,255	-29,529	0	0	0
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-51,255	-80,784	-80,784	-80,784	-80,784

Rendimiento presupuesto	0,07	HH/kg
Rendimiento meta	0,07	HH/kg
Productividad presupuesto	466	kg/jornada
Productividad meta	466	kg/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	4	hombres

COLOCACIÓN DE CONCRETO EN MUROS DE CERRAMIENTO



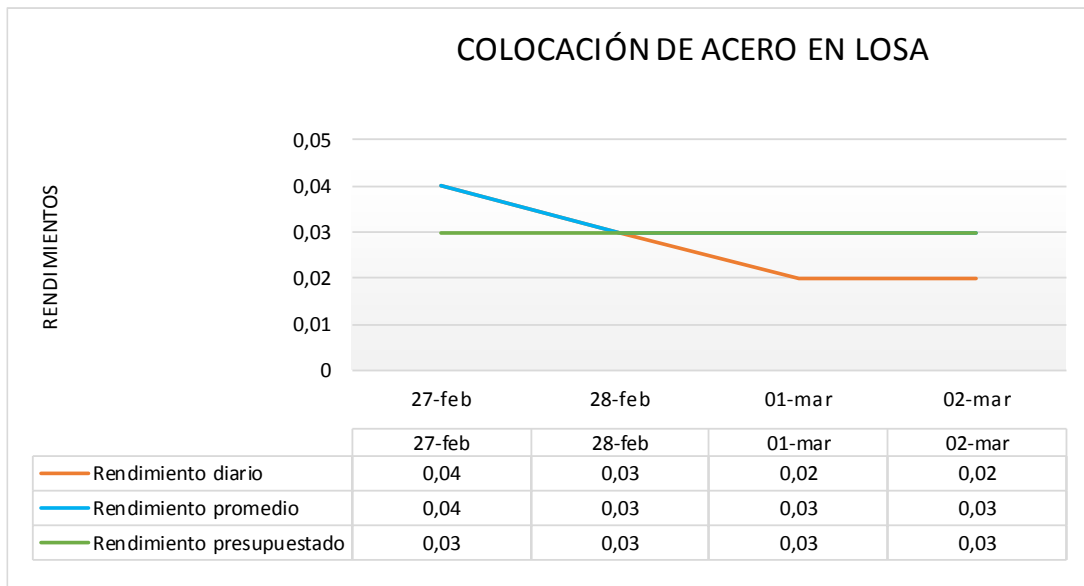
	15-feb	16-feb	19-feb	21-feb	22-feb
Rendimiento diario	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
Rendimiento promedio	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07
Rendimiento presupuestado	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07

	FORMATO	Código: 009
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.009	Nivel: SEGUNDO PISO
	Versión: 01	Elaborado por: Lizbeth C.
DENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: ACERO EN LOSA MACIZA
SEGUNDO PISO

Descripción	Fecha	17-dic	18-dic	20-dic	22-dic
	Día	D1	D2	D3	D5
Número de trabajadores	und	5	5	6	6
Horas diarias	h	8,50	5,00	5,00	5,00
Horas hombre	hh	42,5	25	30	30
Horas hombre acumuladas	hh	42,5	67,50	97,50	127,50
Avance diario	m2	1061,57	868,64	1236,2	1340,22
Metrado acumulado	m2	1061,57	1930,21	3166,41	4506,63
Rendimiento diario	hh/m2	0,04	0,03	0,02	0,02
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,04	0,03	0,03	0,03
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,03	0,03	0,03	0,03
Ganancia/pérdida del día	hh	-10,62	0	12,36	13,4
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-10,62	-10,62	1,74	15,14
Costo hh promedio	soles/hh	15,8	15,8	16,8	17,8
Ahorro/pérdida del día	S/	-148,68	0	173,04	187,6
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-148,68	-148,68	24,36	211,96

Rendimiento presupuesto	0,03	HH/kg
Rendimiento meta	0,02	HH/kg
Productividad presupuesto	751,11	kg/jornada
Productividad meta	1126,65	kg/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	3	hombres



CIRCUITO FIEL – 3ER PISO



FORMATO
CIRCUITO FIEL
OT.CF.001
Versión: 03

001
 Casta inmobiliaria
 TERCER PISO
 Lizbeth C.

PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)

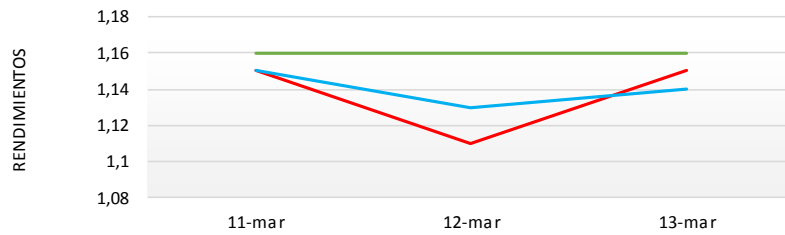
CIRCUITO FIEL: ENCOFRADO DE PLACAS Y COLUMNAS

TERCER PISO

Descripción	Fecha Día	C1			C2			
		11-mar D1	12-mar D2	13-mar D3	11-mar D1	12-mar D2	13-mar D3	14-mar D4
Número de trabajadores	und	6,00	5,00	6,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Horas diarias	h	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5
Horas hombre	hh	51,00	42,50	51,00	59,50	59,50	59,50	59,50
Horas hombre acumuladas	hh	51,00	93,50	144,50	59,5	119,00	178,50	238,00
Avance diario	m2	44,44	38,16	44,44	56,36	47,96	48,27	49,43
Metrado acumulado	m2	44,44	82,60	127,04	56,36	104,32	152,59	202,02
Rendimiento diario	hh/m2	1,15	1,11	1,15	1,06	1,24	1,23	1,2
Rendimiento acumulado	hh/m2	1,15	1,13	1,14	1,06	1,14	1,17	1,18
Rendimiento presupuestado	hh/m2	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16
Ganancia/pérdida del día	hh	0,44	1,91	0,44	5,64	-3,84	-3,38	-1,98
Ganancia/pérdida acumulado	hh	0,44	2,35	2,79	5,64	1,8	-1,58	-3,56
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	6,7	29,2	6,7	86,3	-58,8	-51,7	-30,3
Ahorro/pérdida acumulado	S/	6,7	36,0	42,7	86,3	27,5	-24,2	-54,5

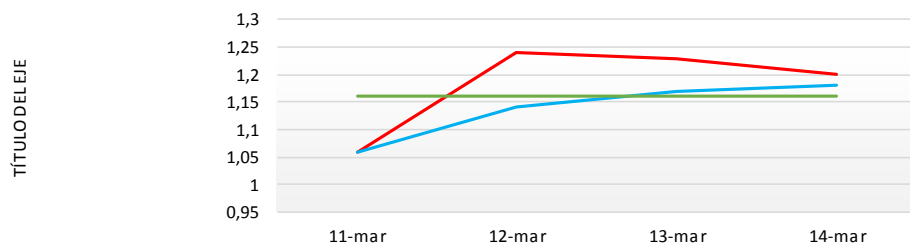
Rendimiento presupuesto	1,16	HH/m2
Rendimiento meta	0,93	HH/m2
Productividad presupuesto	65,99	m2/jornada
Productividad meta	82,49	m2/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	9	hombres

ENCOFRADOS DE PLACAS Y COLUMNAS C1




	11-mar	12-mar	13-mar
Rendimiento diario	1,15	1,11	1,15
Rendimiento promedio	1,15	1,13	1,14
Rendimiento presupuestado	1,16	1,16	1,16

ENCOFRADOS DE PLACAS Y COLUMNAS C2



	11-mar	12-mar	13-mar	14-mar
Rendimiento diario	1,06	1,24	1,23	1,2
Rendimiento promedio	1,06	1,14	1,17	1,18
Rendimiento presupuestado	1,16	1,16	1,16	1,16

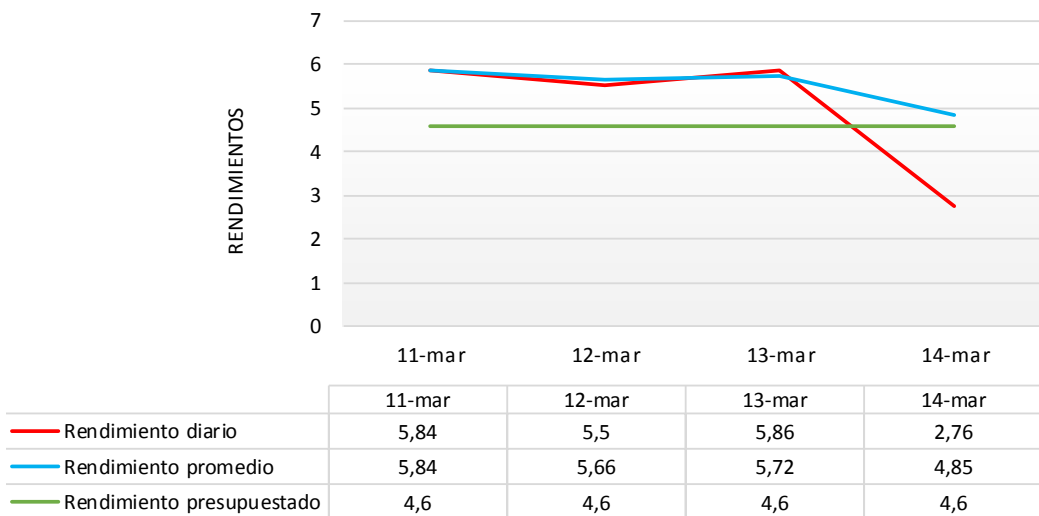
	FORMATO		Código: 002
	CIRCUITO FIEL		Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.002		Nivel: TERCER PISO
Versión: 03		Elaborado por: Lizbeth C.	
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)			


CIRCUITO FIEL: CONCRETO EN PLACAS Y COLUMNAS
TERCER PISO

Descripción	Fecha Día	11-mar	12-mar	13-mar	14-mar	15-mar
		D1	D2	D3	D4	D5
Número de trabajadores	und	5	5	5	5	5
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,00	5,00	5,00
Horas hombre	hh	42,5	42,5	40	25	25
Horas hombre acumuladas	hh	42,5	85,00	125,00	150,00	175,00
Avance diario	m2	7,28	7,73	6,83	9,06	6,04
Metrado acumulado	m2	7,28	15,01	21,84	30,90	36,94
Rendimiento diario	hh/m2	5,84	5,5	5,86	2,76	4,14
Rendimiento acumulado	hh/m2	5,84	5,66	5,72	4,85	4,74
Rendimiento presupuestado	hh/m2	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Ganancia/pérdida del día	hh	-9,03	-6,96	-8,61	16,67	2,78
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-9,03	-15,99	-24,6	-7,93	-5,15
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3
Ahoro/pérdida del día	S/	-138,159	-106,488	-131,733	255,051	42,534
Ahoro/pérdida acumulado	S/	-138,159	-244,647	-376,38	-121,329	-78,795

Rendimiento presupuesto	4,6	HH/m3
Rendimiento meta	4,6	HH/m3
Productividad presupuesto	9,24	m3/jornada
Productividad meta	9,24	m3/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres

COLOCACIÓN DE ACERO EN COLUMNAS Y PLACAS



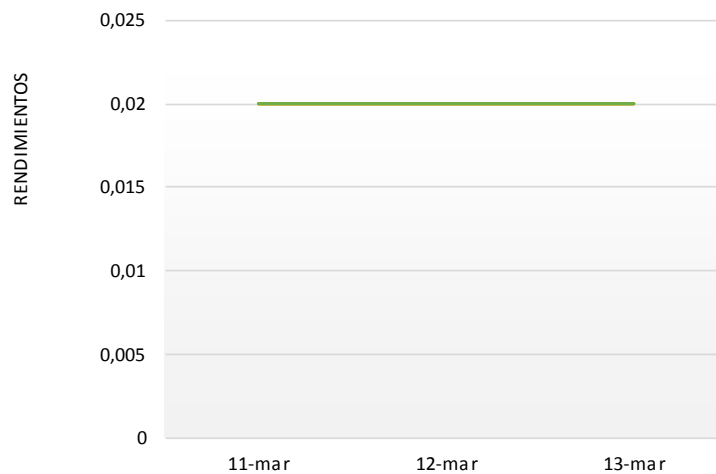
	FORMATO	Código: 003
	CIRCUITO FIEL	Constructora: Casta inmobiliaria
	OT.CF.003	Nivel: TERCER PISO
	Versión: 03	Elaborado por: Lizbeth C.
PROYECTO: RESIDENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: ACERO EN PLACAS Y COLUMNAS
TERCER PISO


Descripción	Fecha	09-mar	10-mar	11-mar
	Día	D1	D2	D4
Número de trabajadores	und	5	5	4
Horas diarias	h	8,50	8,50	9,50
Horas hombre	hh	42,5	42,5	38
Horas hombre acumuladas	hh	42,5	85,00	123,00
Avance diario	m2	2475,72	2468,74	2305,08
Metrado acumulado	m2	2475,72	4944,46	7249,54
Rendimiento diario	hh/m2	0,02	0,02	0,02
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,02	0,02	0,02
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,02	0,02	0,02
Ganancia/pérdida del día	hh	0	0	0
Ganancia/pérdida acumulado	hh	0	0	0
Costo hh promedio	soles/hh	15,3	15,3	15,3
Ahorro/pérdida del día	S/	0	0	0
Ahorro/pérdida acumulado	S/	0	0	0

Rendimiento presupuesto	0,02	HH/kg
Rendimiento meta	0,02	HH/kg
Productividad presupuesto	2416,51	kg/jornada
Productividad meta	1812,39	kg/jornada
Costo HH promedio	15,3	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres

COLOCACIÓN DE ACERO EN COLUMNAS Y PLACAS



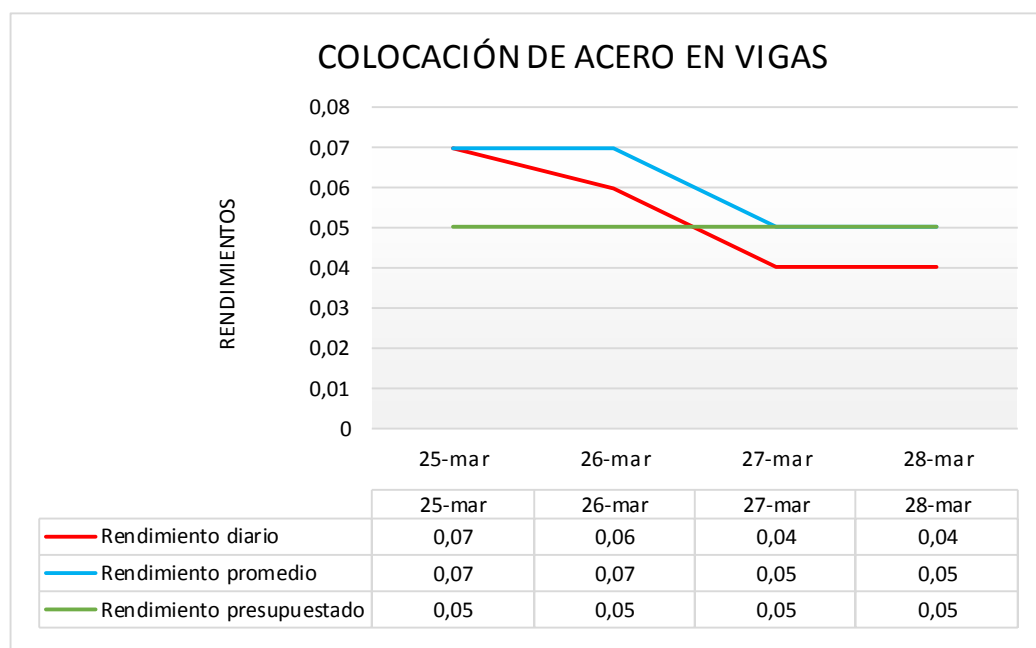
	11-mar	12-mar	13-mar
Rendimiento diario	0,02	0,02	0,02
Rendimiento promedio	0,02	0,02	0,02
Rendimiento presupuestado	0,02	0,02	0,02


	FORMATO	Código: 009
	CIRCUITO FIEL	Constructo Casta inmobiliaria
	OT.CF.008	Nivel PRIMER PISO
	Versión: 01	Elaborado p Lizbeth C.
CIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: ACERO EN VIGAS
TERCER PISO

Descripción	Fecha	22-mar	25-mar	26-mar	27-mar
	Día	D1	D2	D4	D6
Número de trabajadores	und	6	6	6	6
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	51	51	51	51
Horas hombre acumuladas	hh	51	102,00	153,00	204,00
Avance diario	m2	738,11	814,12	1392,39	1423,84
Metrado acumulado	m2	738,11	1552,23	2944,62	4368,46
Rendimiento diario	hh/m2	0,07	0,06	0,04	0,04
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,07	0,07	0,05	0,05
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,05	0,05	0,05	0,05
Ganancia/pérdida del día	hh	-14,76	-8,14	13,92	14,24
Ganancia/pérdida acumulado	hh	-14,76	-8,14	13,92	14,24
Costo hh promedio	soles/hh	15,8	16,8	17,8	18,8
Ahorro/pérdida del día	S/	-206,64	-113,96	194,88	199,36
Ahorro/pérdida acumulado	S/	-206,64	-320,6	-125,72	73,64

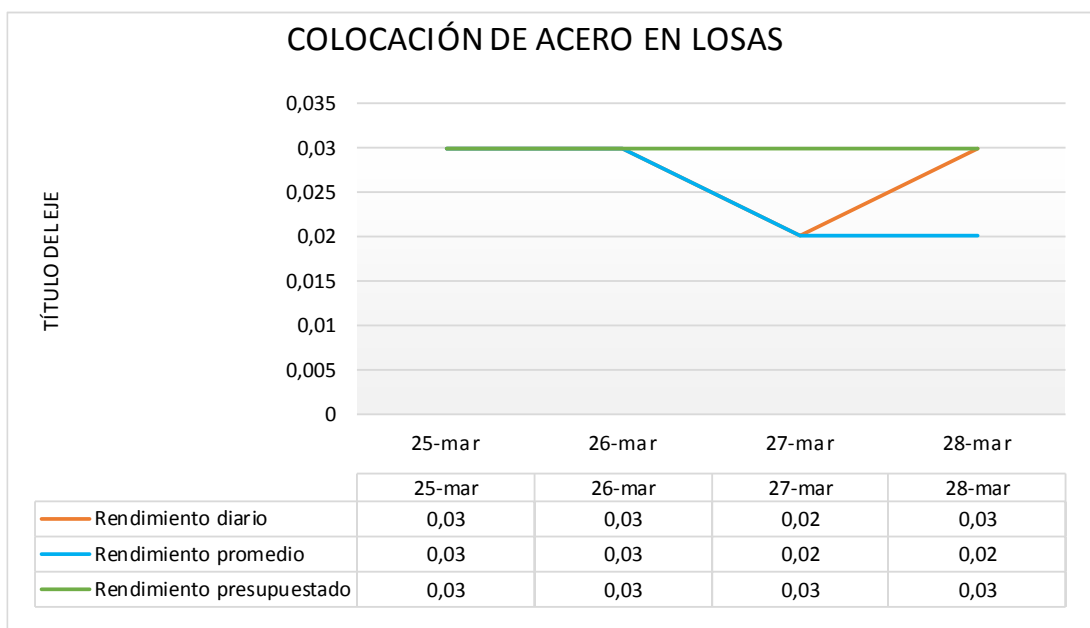
Rendimiento presupuesto	0,05	HH/kg
Rendimiento meta	0,04	HH/kg
Productividad presupuesto	873,69	kg/jornada
Productividad meta	1092,12	kkg/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	5	hombres



	FORMATO	Código: 010
	CIRCUITO FIEL	Constructor Casta inmobiliaria
	OT.CF.009	Nivel PRIMER PISO
	Versión: 01	Elaborado por Lizbeth C.
ENCIAL LOS NOGALES II (VIVIENDA MULTIFAMILIAR)		

CIRCUITO FIEL: ACERO EN LOSA MACIZA					
TERCER PISO					
Descripción	Fecha	28-mar	29-mar	30-mar	31-mar
	Día	D1	D2	D3	D5
Número de trabajadores	und	3	3	3	4
Horas diarias	h	8,50	8,50	8,50	8,50
Horas hombre	hh	25,5	25,5	25,5	34
Horas hombre acumuladas	hh	25,5	51,00	76,50	110,50
Avance diario	m2	996,83	933,38	1340,22	1236,2
Metrado acumulado	m2	996,83	1930,21	3270,43	4506,63
Rendimiento diario	hh/m2	0,03	0,03	0,02	0,03
Rendimiento acumulado	hh/m2	0,03	0,03	0,02	0,02
Rendimiento presupuestado	hh/m2	0,03	0,03	0,03	0,03
Ganancia/pérdida del día	hh	0	0	13,4	0
Ganancia/pérdida acumulado	hh	0	0	13,4	13,4
Costo hh promedio	soles/hh	15,8	15,8	16,8	17,8
Ahorro/pérdida del día	S/	0	0	187,6	0
Ahorro/pérdida acumulado	S/	0	0	187,6	187,6

Rendimiento presupuesto	0,03	HH/kg
Rendimiento meta	0,02	HH/kg
Productividad presupuesto	751,11	kg/jornada
Productividad meta	1126,65	kg/jornada
Costo HH promedio	15,73	Soles/HH
Jornada diaria	8,5	horas
Número de personas	3	hombres



ANEXO 07– PANEL DE FOTOS



Fotografía 01. Colocación de acero en columnas



Fotografía 02. Encofrado de placas



Fotografía 03. Colocación de concreto en columnas



Fotografía 04. Trazado de muros de cerramiento



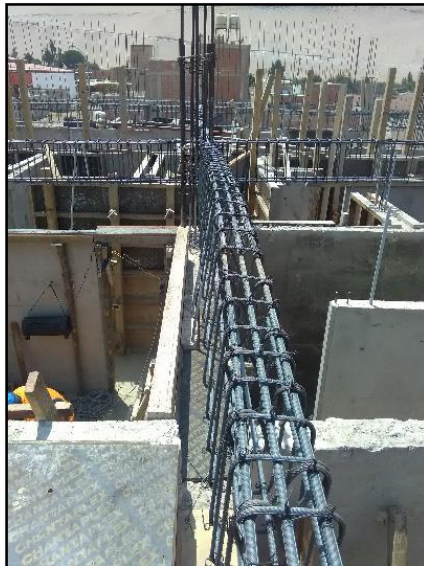
Fotografía 05. Colocación de acero en muros de cerramiento



Fotografía 06. Instalaciones eléctricas en muros de cerramiento (salida y entubado)



Fotografía 07. Encofrado de muros de cerramiento



Fotografía 08. Colocación de acero en vigas



Fotografía 09. Encofrado en vigas



Fotografía 10. Colocación de acero en losa maciza



Fotografía 11. Instalaciones eléctricas en losa maciza (salida y entubado)



Fotografía 12. Colocación de acero en losa maciza



Fotografía 13. Preparación de concreto



**Fotografía 14. Retrabajos en
muros (pase de
vigas)**



Fotografía 15. Techo de losa maciza lista para vaciado de concreto

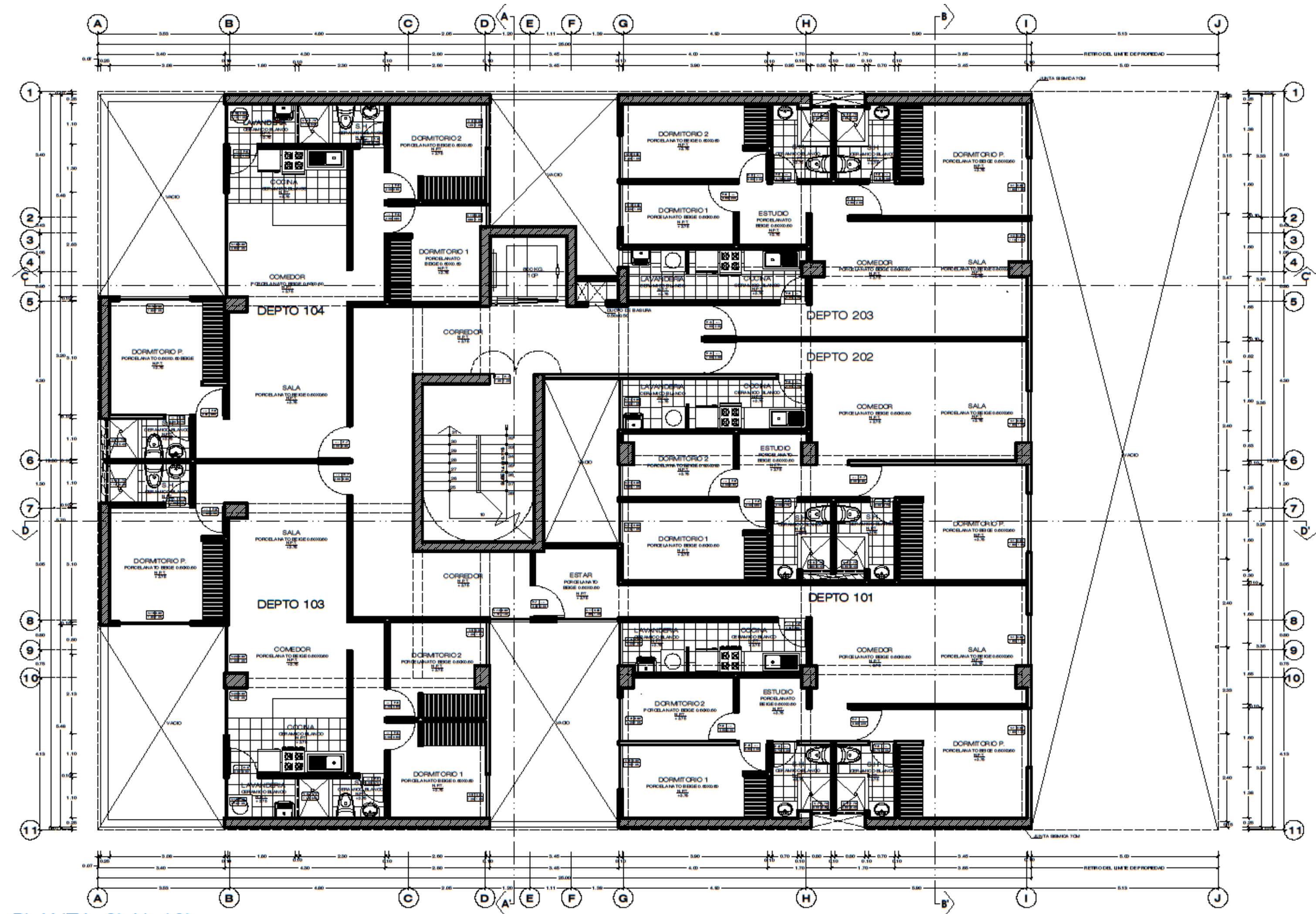


Fotografía 16. Transporte de concreto a pisos superiores



Fotografía 17. Edificación en construcción

ANEXO 08 – PLANOS DE OBRA



PLANTA 2° AL 10°
ESCALA: 1/75

LUIS ANTONIO MONTENEGRO VARGAS
CAP. 9763
JOSE ANTONIO TARA PERA
CAP. 16351

PROYECTO
PLANTA BPCAL 2 AL 10 PISO

1795
SEPTIEMBRE 2017
AR|03

