



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

## **T E S I S**

**MEJORAMIENTO DE LA PLANIFICACIÓN OPERACIONAL MEDIANTE  
LA IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION EN EL  
PROYECTO AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL HOSPITAL DE  
MOQUEGUA NIVEL II-2 UBICADO EN EL DEPARTAMENTO DE  
MOQUEGUA**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER ADERLY CHRISTIAN TOLEDO SANTOS**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO CIVIL**

**ASESOR: ING. RICHARD LOUIS MARTINEZ CUELA**

**MOQUEGUA – PERÚ, 2017**

## CONTENIDO

<b>PORTADA</b>	<b>Pág.</b>
Página de jurados.....	i
Dedicatoria.....	ii
Contenido.....	iii
Índice de tablas.....	viii
Índice de figuras.....	xi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	xxi

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema.....	1
1.1.1. Antecedentes del problema.....	1
1.1.2. Problemática de la investigación.....	3
1.2. Definición del problema.....	5
1.3. Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1. Objetivo general.....	6
1.3.2. Objetivos específicos.....	6
1.4. Justificación.....	7
1.5. Alcances y limitaciones.....	8
1.6. Variables.....	9

1.6.1. Variable independiente.....	9
1.6.2. Variable dependiente.....	9
1.7. Hipótesis.....	10
1.7.1. Hipótesis general.....	10
1.7.2. Hipótesis específicas.....	10

## CAPÍTULO II

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Estado del arte de Lean.....	12
2.1.1. Productividad, variabilidad y constructabilidad en el sector construcción.....	16
2.2. Lean Production.....	33
2.2.1. Enfoque tradicional (modelo de conversión).....	35
2.2.2. Enfoque Lean.....	38
2.2.3. Nuevo modelo de conversión.....	42
2.2.4. El concepto MUDA.....	46
2.2.5. La construcción según el enfoque Lean.....	50
2.3. Lean Construction.....	52
2.3.1. Antecedentes históricos.....	52
2.3.2. Definición de Lean Construction.....	53
2.3.3. Conceptos de Lean Construction.....	57
2.3.4. ¿Es la construcción una industria diferente?.....	68
2.3.5. Implementar Lean Construction requiere romper paradigmas.....	69
2.3.6. Sistema de producción efectivo.....	73
2.4. Herramientas de Lean Construction.....	76

2.4.1. Informe semanal de producción – ISP.....	76
2.4.2. Curvas de productividad.....	78
2.4.3. Cartas balance.....	79
2.4.4. Last Planner System.....	81
2.4.5. La teoría de las restricciones.....	94
2.4.6. Porcentaje de plan completado - PPC.....	99
2.4.7. Causas de no cumplimiento - CNC.....	100

### CAPÍTULO III

#### IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION

3.1. Caso de estudio.....	103
3.1.1. Información general del proyecto.....	103
3.2. Descripción del proceso constructivo del proyecto.....	107
3.3. Metodología de implementación.....	111
3.3.1. Sectorización del proyecto.....	111
3.3.2. Reuniones de conocimiento del equipo de trabajo.....	122
3.3.3. Desarrollo de la carta balance.....	124
3.3.4. Desarrollo de la planificación intermedia.....	131
3.3.5. Desarrollo de la planificación semanal.....	136
3.3.6. Desarrollo de la planificación diaria y parte diario de producción.....	138
3.3.7. Desarrollo del informe semanal de producción.....	142
3.3.8. Indicadores a medir.....	152

### CAPÍTULO IV

#### MÉTODO

4.1. Tipo de investigación.....	153
4.2. Población y muestra.....	154
4.2.1. Población.....	154
4.2.2. Muestra.....	154
4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	154
4.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	156

## CAPÍTULO V

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

5.1. Porcentaje de plan completado.....	157
5.1.1. Porcentaje de plan completado – frente 1.....	158
5.1.2. Porcentaje de plan completado – frente 2.....	164
5.1.3. Porcentaje de plan completado – frente 3.....	170
5.1.4. Porcentaje de plan completado - general.....	178
5.2. Causas de no cumplimiento.....	183
5.2.1. Causas de no cumplimiento – frente 1.....	188
5.2.2. Causas de no cumplimiento – frente 2.....	192
5.2.3. Causas de no cumplimiento – frente 3.....	197
5.2.4. Causas de no cumplimiento - general.....	202
5.3. Carta balance.....	206
5.3.1. Vestidura de derrames.....	207
5.3.2. Tarrajeo frotachado en muros interiores.....	215
5.3.3. Relleno con material de préstamo.....	224
5.3.4. Concreto en muros de sostenimiento.....	232
5.4. Informe semanal de producción.....	241

5.5. Curva “S” de avance físico.....	257
5.6. Contrastación de hipótesis.....	259
5.6.1. Contrastación de hipótesis general.....	259
5.6.2. Contrastación de hipótesis específicas.....	260

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	264
6.2. Recomendaciones.....	266
BIBLIOGRAFÍA.....	268
APÉNDICES.....	271

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferencias en 1986 entre una planta de montaje de General Motors y una de Toyota.....	40
Tabla 2. Estimación de desperdicios en obra de edificación.....	56
Tabla 3. Beneficios de Lean Construction.....	71
Tabla 4. Desafíos y beneficios para la implementación de Lean Construction....	72
Tabla 5. Cuadro de áreas funcionales del proyecto.....	105
Tabla 6. Cuadro de áreas de sectorización del proyecto en función a áreas techadas.....	121
Tabla 7. Cuadro de áreas de techos livianos.....	122
Tabla 8. Cuadro de áreas de sectorización por frente de trabajo en función a áreas techadas.....	122
Tabla 9. Previsión del PPTO META para revoques y enlucidos.....	143
Tabla 10. Variación y CPI acumulados a la semana 11 de la partida de concreto.....	145
Tabla 11. Resumen de partidas por día laborado.....	146
Tabla 12. Variación y CPI a la semana 12 de la partida de concreto.....	147
Tabla 13. Variación y CPI acumulados a la semana 12 de la partida de concreto.....	148
Tabla 14. Cálculo de estimación al término de la partida de concreto.....	150
Tabla 15. Variación y CPI finales estimados con corte a la semana 12 de la partida de concreto.....	151
Tabla 16. PPC de la semana 05 – frente 1.....	158

Tabla 17. PPC de la semana 16 – frente 1.....	158
Tabla 18. PPC de la semana 28 – frente 1.....	159
Tabla 19. Evolución del PPC – frente 1.....	160
Tabla 20. PPC de la semana 06 – frente 2.....	164
Tabla 21. PPC de la semana 16 – frente 2.....	164
Tabla 22. PPC de la semana 28 – frente 2.....	165
Tabla 23. Evolución del PPC – frente 2.....	166
Tabla 24. PPC de la semana 06 – frente 3.....	171
Tabla 25. PPC de la semana 16 – frente 3.....	171
Tabla 26. PPC de la semana 28 – frente 3.....	172
Tabla 27. Evolución del PPC – frente 3.....	173
Tabla 28. Cronograma de llegada a Lima de aisladores sísmicos.....	177
Tabla 29. Evolución del PPC – General.....	179
Tabla 30. Causas de No Cumplimiento acumulado – frente 1.....	190
Tabla 31. Causas de No Cumplimiento acumulado – frente 2.....	195
Tabla 32. Causas de No Cumplimiento acumulado – frente 3.....	200
Tabla 33. Causas de No Cumplimiento acumulado – General.....	203
Tabla 34. Presupuesto Meta, partidas de concreto armado.....	243
Tabla 35. Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado - I.....	245
Tabla 36. Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado - II.....	246
Tabla 37. Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado - III.....	248

Tabla 38. Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado - IV.....	250
Tabla 39. Informe Semanal de Producción – Semana 28, CPI partidas de concreto armado.....	251
Tabla 40. Informe Semanal de Producción – Acumulado a la semana 28, CPI partidas de concreto armado.....	253
Tabla 41. Informe Semanal de Producción – Estimado al término, CPI partidas de concreto armado.....	255

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Muestreo del trabajo en diferentes países de Sudamérica.....	23
Figura 2. Variabilidad en construcción.....	24
Figura 3. Modelo tradicional de producción en la Industria de la Construcción.....	35
Figura 4. Nuevo modelo de conversión.....	43
Figura 5. Comparación de los enfoques de diferentes filosofías de producción...44	
Figura 6. Círculo de la improductividad de una empresa.....	47
Figura 7. Enfoque tradicional vs enfoque Lean.....	51
Figura 8. Esquema del Lean Project Delivery System.....	60
Figura 9. Proceso de la definición del proyecto.....	63
Figura 10. Proceso tradicional del diseño.....	67
Figura 11. Proceso integrado del diseño.....	68
Figura 12. Modelo de flujo de procesos según la filosofía Lean Construction....73	
Figura 13. Modelo de flujo eficiente según la filosofía Lean Construction.....75	
Figura 14. Curva de productividad semana 05, partida encofrado de muros de sostenimiento.....	78
Figura 15. Carta balance de la partida Tarrajeo frotachado en muros interiores... 79	
Figura 16. Formulación de la asignación en el planeamiento LP.....	83
Figura 17. Estructura fundamental del Last Planner System.....	84
Figura 18. Proceso de Planificación Intermedia.....	89
Figura 19. Proceso de Planificación Semanal.....	92
Figura 20. Esquema del concepto de revisión.....	98

Figura 21. Proceso de obtención de PPC.....	100
Figura 22. Plano de ubicación del proyecto.....	104
Figura 23. Sub-sectores del proyecto.....	112
Figura 24. Ubicación del Auditorio, Casa materna y Capilla.....	113
Figura 25. Ubicación de UCI, cirugía de día y Hospitalizaciones.....	114
Figura 26. Ubicación de Consulta externa, servicios de apoyo y patio de espera.....	115
Figura 27. Ubicación de Emergencia general y Centro obstétrico.....	116
Figura 28. Ubicación de Farmacia y Cadena de frío.....	117
Figura 29. Ubicación de Nutrición y Dieta.....	118
Figura 30. Ubicación de Servicios (Cisternas, Gases medicinales, Talleres de mantenimiento, Residuos sólidos y Tanques).....	119
Figura 31. Sectorización de frentes de trabajo.....	120
Figura 32. Formato de Carta Balance, tabla de datos.....	129
Figura 33. Formato de Carta Balance, tabla de medición.....	129
Figura 34. Resultados de actividades por cada integrante de la cuadrilla.....	130
Figura 35. Resultados de actividades por cuadrilla.....	130
Figura 36. Formato LookAhead.....	133
Figura 37. Formato Análisis de Restricciones.....	134
Figura 38. Formato Programación Semanal.....	138
Figura 39. Formato Planificación Diaria.....	140
Figura 40. Formato Parte Diario de Producción.....	141
Figura 41. Evolución del PPC – frente 1.....	161
Figura 42. Evolución del PPC – frente 2.....	167

Figura 43. Evolución del PPC – frente 3.....	174
Figura 44. Evolución del PPC – general.....	180
Figura 45. CNC de la semana 05 – frente 1.....	188
Figura 46. CNC de la semana 16 – frente 1.....	189
Figura 47. CNC de la semana 28 – frente 1.....	189
Figura 48. Causas de No Cumplimiento acumulado – frente 1.....	191
Figura 49. CNC de la semana 06 – frente 2.....	193
Figura 50. CNC de la semana 16 – frente 2.....	193
Figura 51. CNC de la semana 28 – frente 2.....	194
Figura 52. Causas de No Cumplimiento acumulado – frente 2.....	196
Figura 53. CNC de la semana 05 – frente 3.....	198
Figura 54. CNC de la semana 16 – frente 3.....	198
Figura 55. CNC de la semana 28 – frente 3.....	199
Figura 56. Causas de No Cumplimiento acumulado – frente 3.....	201
Figura 57. Causas de No Cumplimiento acumulado – general.....	205
Figura 58. Resultado por cada trabajador de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.....	209
Figura 59. Resultado de cuadrilla de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.....	209
Figura 60. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.....	210
Figura 61. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.....	210

Figura 62. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida	
Vestidura de Derrames.....	212
Figura 63. Resultado de cuadrilla de la segunda muestra, partida Vestidura de	
Derrames.....	212
Figura 64. Tiempos contributorios de la segunda muestra, partida Vestidura de	
Derrames.....	213
Figura 65. Tiempos no contributorios de la segunda muestra, partida Vestidura de	
Derrames.....	213
Figura 66. Resultados por cada trabajador de la primera muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	217
Figura 67. Resultados de cuadrilla de la primera muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	217
Figura 68. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	218
Figura 69. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	218
Figura 70. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	220
Figura 71. Resultados de cuadrilla de la segunda muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	221
Figura 72. Tiempos contributorios de la segunda muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	221
Figura 73. Tiempos no contributorios de la segunda muestra, partida Tarrajeo	
frotachado en muros interiores.....	222

Figura 74. Resultados por cada trabajador de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	226
Figura 75. Resultados de cuadrilla de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	226
Figura 76. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	227
Figura 77. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	227
Figura 78. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	229
Figura 79. Resultados de cuadrilla de la segunda muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	230
Figura 80. Tiempos contributorios de la segunda muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	230
Figura 81. Tiempos no contributorios de la segunda muestra, partida Relleno con material de préstamo.....	231
Figura 82. Resultados por cada trabajador de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	234
Figura 83. Resultados de cuadrilla de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	235
Figura 84. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	235
Figura 85. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	236

Figura 86. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	238
Figura 87. Resultados de cuadrilla de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	238
Figura 88. Tiempos contributorios de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	239
Figura 89. Tiempos no contributorios de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento.....	239
Figura 90. Curva “S” de avance físico correspondiente al periodo de implementación.....	258

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca lograr una aproximación a los principios detrás de la filosofía Lean Construction, una visión alternativa de cómo gestionar los problemas que limiten la eficiencia en proyectos de construcción, enfocándose en la reducción y/o eliminación de cualquier tipo de pérdida que pudiera existir en el proyecto.

Se persigue entender los principios existentes detrás de la Filosofía Lean que surgió primero en la industria automotriz (Lean Manufacturing) y posteriormente fue adaptándose a otras industrias. La filosofía Lean nos brinda herramientas que aportan para una mayor integración entre todos involucrados que intervendrán a lo largo de todo el tiempo de ejecución del proyecto, desde la línea de mando hasta el personal obrero (sección operacional).

La filosofía Lean Construction busca crear buenos sistemas de producción que permitan optimizar, los flujos para mejorar los tiempos de entrega de los mismos. En este sentido, Lean Construction es una nueva forma de pensar que desafía a la actual guía de gestión de proyectos PMBOK (Project Management Body of Knowledge), de ahí, la filosofía Lean Construction no debe ser concebido como un modelo o sistema del cual solo se sigue un procedimiento, sino debe ser tomado como un pensamiento direccionado a la creación de herramientas que generen valor a los procesos, fases y etapas del proyecto.

Se presentarán los impactos alcanzados en el proceso de implementación de este sistema de gestión obtenidos en el proyecto Ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2.

**Palabras clave: Lean Construction; eficiencia; pérdida; optimizar; producción; herramientas.**

## **ABSTRACT**

This present research work seeks to achieve an approximation to the principles behind the philosophy of Lean Construction, an alternative vision of how to manage the problems that limit the efficiency in construction projects, focusing on the reduction and/or elimination of any kind of loss that could exist in the project.

It is intended to understand the existing principles behind the Lean philosophy which emerged first in the automotive industry (Lean Manufacturing) and was later adapted to other industries. The philosophy Lean gives us tools that provide for greater integration between all involved who intervene throughout all the time of execution of the project, from the line of control until the workers (operational section).

Lean Construction philosophy seeks to create good production systems that allow to optimize, workflows to improve delivery times. In this sense, Lean Construction is a new way of thinking that challenge the current guide PMBOK (Project Management Body of Knowledge) project management, hence the Lean Construction philosophy should not be conceived as a model or system from which it only follows a procedure, but should be taken as a thought directed to the creation of tools that generate value to the processes phases and stages of the project.

Will present the impacts achieved in the process of implementation of this management system obtained in the project expansion and improvement of hospital of Moquegua level II-2.

**Keywords: Lean Construction; efficiency; lost; optimize; production; tools.**

## INTRODUCCION

A la industria de construcción en el país, siempre se le ha asociado a un mal desempeño, a ser un sector poco productivo y de calidad dudosa, y a ello asociado los numerosos accidentes que se presentan, estos problemas que se confrontan en los diferentes proyectos tienen como base el sistema de planificación tradicional que se viene empleando, el cual no presenta las condiciones necesarias para combatir con la incertidumbre y variabilidad generadas por las mismas durante el proceso de construcción lo que se llega a traducir en pérdidas dentro de la organización.

Sin embargo, hoy en día la construcción en el Perú está pasando por un proceso de cambio; existen diversas instituciones, empresas y universidades que apuestan por mejorar los estándares que maneja la construcción peruana, esto es posible mediante la difusión de nuevos sistemas impulsados por instituciones de gran importancia dentro del rubro; una de ellas es el Lean Construction Institute mediante la implementación de la filosofía Lean Construction el cual busca enfocar de manera distinta la gestión de proyectos de construcción, teniendo como principal objetivo lograr la reducción y/o eliminación de toda clase de desperdicio (considerados como pérdidas), incrementar el valor hacia el cliente y disminuir la variabilidad dentro del proyecto.

Es así que mediante la filosofía Lean Construction se pretende implementar una metodología para gestionar los procesos de producción en el proyecto “Ampliación y mejoramiento del Hospital de Moquegua nivel II-2”.

Dentro del capítulo uno revisaremos el planteamiento de la investigación en mención, identificando la problemática existente, se definen los objetivos de la investigación, justificación, alcances y limitaciones, variables e hipótesis de la investigación, teniendo las condiciones necesarias para poder implementar y demostrar los impactos generados en la implementación de este sistema de gestión dentro del proyecto, el cual se verá dentro de la perspectiva del contratista; consorcio conformado por las empresas Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. e INCOT S.A.C.; lo cual implica un cruce de sistemas y metodologías utilizadas en la ejecución del proyecto.

En el capítulo dos se desarrolla el marco teórico, en el cual se ahondará a detalle los inicios de la filosofía Lean Construction hasta el estado actual en el que se encuentra en el Perú y el porqué de la necesidad inmediata del cambio de modelo productivo, las diferentes etapas de un proyecto Lean, los roles que juegan los responsables de producción del proyecto, las herramientas y los conceptos clave de este sistema para llevar a cabo con éxito su implementación.

En el tercer capítulo explicaremos la metodología empleada en la implementación de la filosofía Lean Construction dentro del proyecto “Ampliación y mejoramiento del hospital Moquegua, nivel II-2”, se presentará la información

general del proyecto y la descripción del mismo. Dentro de la metodología de implementación se explicarán los diferentes formatos a emplear y la correcta interpretación de los resultados, se detallan los indicadores a medir.

Dentro del cuarto capítulo revisaremos el tipo y diseño de la investigación, detallando la población y muestra a la que representan.

En el quinto capítulo se detallan los resultados obtenidos. Analizando a través de figuras y tablas todos los registros obtenidos durante el periodo de evaluación tanto de Informes Semanales de Producción, Porcentaje de Plan Completado, Causas de No Cumplimientos y Cartas Balance identificados en el proyecto. Obtenida la información se procede a realizar el análisis y redactar las conclusiones y recomendaciones de la investigación contrastando con la hipótesis planteada al inicio.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Descripción del problema**

##### **1.1.1. Antecedentes del problema**

Uno de los principales problemas en la mayoría de los proyectos de construcción es la dificultad para cumplir los plazos establecidos debido a varios factores influyentes como son una deficiente planificación, productividad por debajo de lo esperado debido a una mala selección de personal obrero, plan meta elaborado sin la intervención de especialistas. Los problemas se solucionan a medida que aparecen y como resultado de esto generan pérdidas económicas que afectan a los proyectos. Si bien es cierto que hay inconvenientes que aparecen de forma inesperada, muchas de los problemas para ejecutar normalmente una actividad son predecibles.

Nuestra industria de la construcción a menudo es retratada como una industria conservadora, resistente a los cambios y tardía en adoptar nuevos métodos

y avances tecnológicos. En realidad, este es un retrato generalmente que se ajusta bien a la realidad. Si a todo esto se le añade la baja especialización que poseen los trabajadores de construcción civil o especialistas en la rama de la construcción, se forma un problema aún más grande, ya que esto crea incertidumbre acerca de las condiciones laborales en las que se desempeñan los trabajadores. Como consecuencia, se genera un bajo rendimiento de las cuadrillas la cual se traduce a un incremento de plazos y de costos en el proyecto.

La planificación y ejecución de los proyectos de construcción en el Perú está en proceso de cambio. La implementación de la filosofía Lean Construction está siendo acompañada de un avance tecnológico, que no está al nivel del sector industrial pero que poco a poco se va haciendo más competitivo y productivo. Las diferentes organizaciones del país han buscado diversas maneras de aplicar estrategias industriales para la solución de dichos problemas: Administración estratégica, Medición de la eficiencia y productividad a través de herramientas matemáticas (indicadores de gestión), diagramas de procesos productivos generales, entre otras. Estas técnicas presentan propuestas interesantes en el campo gerencial y administrativo, pero la aplicabilidad en el campo real de la construcción no presenta gran trascendencia, ya que no nos permite llegar hasta las verdaderas causas que están generando los problemas constructivos.

Esa búsqueda permanente ha generado una nueva visión de la producción en construcción, diferente del enfoque tradicional basado en los modelos de

conversión. El nuevo modelo denominado *Lean Construction* (construcción sin pérdidas), propuesto por Lauri Koskela, analiza los principios y las aplicaciones del JIT (Justo a tiempo) y TQM (control total de la calidad) en la industria de la construcción, intentado identificar las bases que él define como “la nueva filosofía de producción”, conocida como *Lean Production* (Botero & Álvarez, 2005).

Mediante el enfoque *Lean Construction* se han desarrollado diversas herramientas tendientes a reducir las pérdidas a través del proceso productivo. Una de estas herramientas de planificación y control fue diseñada por Ballard y Howell. El sistema denominado el último planificador (*Last Planner System*) presenta cambios fundamentales en la manera como los proyectos son planificados y controlados. El método incluye la definición de unidades de producción y el control del flujo de actividades, mediante asignaciones de trabajo. Adicionalmente facilita la obtención del origen de los problemas y la toma oportuna de decisiones relacionada con los ajustes necesarios en las operaciones para tomar acciones a tiempo, lo cual incrementa la productividad (Botero & Álvarez, 2005).

### **1.1.2. Problemática de la investigación**

Proyecto en Estudio: Ampliación y Mejoramiento del Hospital Regional de Moquegua, Nivel II-2.

**a. Alcance del proyecto:**

- Modalidad : A suma alzada.
  
- Precio de Contrato : S/. 134'596,781.10
  
- Plazo : 883 días calendario
  
- Fecha de Inicio de trabajos : 31/12/2014
  
- Fecha de término de contrato : 31/05/2017

**b. Descripción del proyecto**

El Consorcio Hospitalario Moquegua conformado por las empresas Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. (ICCGSA) e INCOT S.A.C. Contratistas Generales (INCOT) desarrolla el presente Proyecto de construcción de Ampliación y mejoramiento del Hospital Regional de Moquegua Nivel II-2. El presente proyecto se encuentra siendo ejecutado en la ciudad de Moquegua, ubicada en el departamento de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, distrito de Moquegua, a una altitud de 1410 msnm. El proyecto comprende un área total de 39,822.22 m<sup>2</sup> de área construida.

## **1.2. Definición del problema**

### **1.2.1. Problema general**

Mediante lo expuesto se formula el siguiente problema de investigación:

¿Cómo afecta el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction en el proyecto Ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua Nivel II-2 ubicado en el departamento de Moquegua?

### **1.2.2. Problemas específicos**

PE1: ¿En qué medida resulta satisfactorio el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction?

PE2: ¿Cuáles son los resultados esperados en el proyecto ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2?

PE3: ¿En qué medida el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction incrementa los resultados obtenidos en el proyecto ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2?

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la relación de influencia entre el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction en el proyecto “Ampliación y Mejoramiento del Hospital de Moquegua nivel II-2”.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

OE1: Identificar en qué medida resulta satisfactorio el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction.

OE2: Identificar las características de gestión que presenta el proyecto Ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2.

OE3: Determinar en qué medida el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction afectan los resultados obtenidos en el proyecto ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2.

#### **1.4. Justificación**

Hoy en día los mayores problemas que se presentan en los proyectos de obras de edificación son la dificultad para poder cumplir con los plazos y los cronogramas de obra. La mayor causa de esta dificultad es el alto grado de variabilidad que presentan los proyectos (ya que cada proyecto presenta características y condiciones propias del mismo), principal fuente de pérdidas en cualquier proyecto debido a que implica la interrupción de los flujos de producción. Por esta razón surge la elaboración del presente trabajo de investigación, y así demostrar las mejoras y beneficios que se puede conseguir mediante la implementación de la filosofía Lean Construction.

Por otro lado esta investigación se fundamenta también en la necesidad de incrementar las bases teóricas que se tiene acerca de la filosofía Lean Construction, en nuestro país se está sintiendo el auge de este modelo de gestión de proyectos pero la mayoría de información está relacionada a proyectos de edificación repetitivos donde la variabilidad es más fácil de controlar –llámese proyectos de edificación repetitivos a la construcción de condominios familiares, edificios para oficinas, estaciones subterráneas las cuales presentan condiciones similares dentro de todo su proceso constructivo- y en la presente investigación se tiene como muestra un proyecto de edificación hospitalaria la cual presenta características particulares dependiendo del fin de uso de cada sector construido.

Este estudio sienta bases para estudios posteriores en los que el interés este centrado en identificar los beneficios que representaría implementar la filosofía Lean Construction. Investigaciones posteriores encontrarán una base para poder aplicar los conocimientos obtenidos tanto en proyectos del sector privado como en proyectos del sector público.

Asimismo, este proyecto de investigación permite determinar la dimensión de mejora que se obtiene al implementar la filosofía Lean Construction. En este sentido, esta investigación posibilita la información necesaria para poder identificar las causas se obtiene mejoras a las problemáticas identificadas.

### **1.5. Alcances y limitaciones**

En el presente trabajo de investigación se abarcará los lineamientos comprendidos por la Filosofía Lean Construction.

La investigación se lleva a cabo en la ejecución de la segunda fase del proyecto “Ampliación y Mejoramiento del Hospital de Moquegua, Nivel II-2” situado en el distrito de Moquegua, provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua, teniendo como tiempo de evaluación desde la semana 1 a la semana 28, de donde se presentarán los diferentes resultados obtenidos.

Los formatos empleados en la recolección de datos serán adaptados según la necesidad del proyecto, ya que la ejecución del mismo está a cargo de un consorcio conformado por dos empresas con distintos sistemas de gestión.

## **1.6. Variables**

### **1.6.1 Variable independiente**

Mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction.

#### **a. Definición operacional variable independiente**

Se define como planificación operacional a los procedimientos y procesos específicos que se necesitan en los niveles más bajos de una organización. Son los planes que especifican los detalles como deberán lograrse los objetivos generales. La planificación operacional tiende a abarcar periodos de tiempos cortos.

### **1.6.2 Variable dependiente**

Proyecto ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2.

### **a. Definición operacional variable dependiente**

Establecimiento de salud del segundo nivel de atención responsable de satisfacer las necesidades de salud de la población de su ámbito referencial, brindando atención integral ambulatoria y hospitalaria especializada, con énfasis en la recuperación y rehabilitación de problemas de salud.

## **1.7. Hipótesis**

### **1.7.1. Hipótesis general**

Existe una relación de influencia significativa entre el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction en el proyecto ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2.

### **1.7.2. Hipótesis específicas**

HE1: El mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía lean Construction resulta satisfactorio.

HE2: Las características de gestión del tipo de proyecto a ejecutarse es un factor interviniente en los resultados esperados.

HE3: El mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction y los resultados del proyecto ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2 están asociados significativamente.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Estado del arte de Lean**

Las empresas dentro de la industria de la construcción siempre han estado en competencia, las más débiles intentan asimilar las nuevas experiencias de las demás empresas líderes en el sector para así poder tener una base de mejoramiento y con esto lograr un aumento en el desempeño de las mismas.

La necesidad de lograr convertir la industria de la construcción en un sector más rentable logró despertar la curiosidad de diferentes investigadores y así evaluar el estado actual de los métodos constructivos empleados y analizar cómo se pueden mejorar.

Una de estas mejoras fue la filosofía Lean, la cual tuvo origen en el sector automotriz (Toyota). En 1910, Sakichi Toyoda comenzó a pensar en la forma de mejorar los procesos de producción de su empresa textil antecesora de la automotriz Toyota. Sakichi hizo dos grandes aportes a la filosofía *Lean* a través de su

experiencia como fundador de esta empresa textil, comenzó por el concepto “*Jidoka*” que parte de la base de problemas logísticos cuando se detiene una máquina de una planta productiva. “*Jidoka*” traduce textualmente “calidad incorporada” (*built-in-quality*) que fue la base para las grandes mejoras que tuvo el proceso de la empresa textil. Una de ellas fue la incorporación de máquinas completamente confiables con el fin de evitar que la producción se detuviera por la falla de alguno de sus componentes. Toyota también introdujo el concepto de los “*5-Why's*” que se traduce en 5 porqués, y quiere decir que para saber la causa real de cualquier problema es necesario preguntarse 5 veces por qué sucedió el problema. Así se podría llegar a la causa raíz de cualquier problema, dando como resultado una perspectiva más clara de las causas reales de los problemas y de esta forma tomar medidas al respecto. (Pellicer, 2012 citado en Botero, 2014).

Posteriormente Kiichiro Toyota, hijo de Sakichi y fundador de la empresa automotriz, logró conocer el sistema de producción en masa que Henry Ford había implementado en su fábrica estadounidense y encontró algunas deficiencias. Se dio cuenta que los trabajadores en cada tarea que realizaban añadían poco valor agregado a su producto final, que tenían grandes volúmenes de desperdicio e inventario y que la calidad del producto final no era buena, por eso logró llegar a los siguientes conceptos que aportarían un cuerpo fundamental a la filosofía *Lean*. El primero llamado “*Tack time*” que se traduce en la necesidad de producir según la demanda del mercado y evitar la acumulación de inventarios de materias primas y de productos terminados ahorrando en costos y tiempo. Y el segundo “*Just in time*” donde todas las piezas de la línea de montaje debían estar justo a tiempo en

su sitio de trabajo para su instalación en el producto final, generando menores espacios de trabajo e imitando el sistema de reemplazo de mercancía que se ve actualmente en los supermercados. (Pellicer, 2014 citado en Botero 2014).

Conjuntamente Taiichi Ohno, director de la producción de Toyota, y quien es considerado como el padre del sistema y filosofía *Lean*, también se dio cuenta de que la producción en masa de los competidores americanos en la industria automotriz daba como resultado grandes inventarios de materia prima, de producto terminado y la producción final salía con numerosos defectos. Entendió el mercado japonés del momento, donde la variedad de producto era lo que exigían los compradores y modificó la forma de producción de grandes a pequeños lotes. Taiichi Ohno fue quien inventó el concepto “*Kaizen*” o mejora continua que busca reducir costos en la producción y mano de obra mientras se aumenta la calidad del producto terminado. También se ideó las siete pérdidas que debían superarse con el fin de lograr este “*Kaizen*”. (Holweg, 2007 citado en Botero 2014).

Por último, fue Taiichi quien creó el concepto “*Kanban*” que se refiere a la forma de reposición de productos o materias en la línea productiva de la industria. (Pellicer, 2012 citado en Botero 2014).

Todos los conceptos que formaron la filosofía *Lean* nombrados anteriormente e ideados por los creadores de Toyota, se siguieron utilizando y perfeccionando con el tiempo. Años más tarde, en 1979, con un estudio llamado *International Motor Vehicle Program* (IMVP) que realizó la Massachusetts

Institute of Technology (MIT) sobre el futuro de la industria automovilística en el mundo, se publicó un libro llamado “*The Machine that Changed the World*” (La máquina que cambió al mundo). En este libro se condensó la filosofía Lean, sus conceptos, y se concluyó la gran superioridad de Toyota sobre las empresas americanas precisamente por el uso de estos principios. (Pellicer, 2012 citado en Botero 2014).

Desde la aparición del término *Lean*, los diferentes investigadores dedicados a áreas de la producción y de las diferentes industrias empezaron a aplicar esta filosofía en sus áreas correspondientes y los resultados no se hicieron esperar. En el caso del sector de la construcción, el resultado con mayor importancia e impacto obtenido fue la realizada por Lauri Koskela en su tesis de doctorado en 1992 llamada *Application of the New Production Philosophy to Construction*, donde analiza la manera de adaptar todos los conceptos Lean al sector construcción. Koskela halló las maneras de traer todos los conceptos desarrollados por los fundadores de la empresa Toyota y aplicarlos en este sector. De aquí es donde surgió una filosofía diferente al de los demás sectores y en la actualidad el trabajo realizado por Lauri Koskela es considerado como la biblia de la construcción *Lean* (Botero, 2014).

## **2.1.1. Productividad, variabilidad y constructabilidad en el sector construcción**

### **2.1.1.1 Productividad**

Ghio (2001) define como productividad al cociente de dividir la producción entre los recursos empleados para lograr dicha producción.

Botero y Álvarez (2004) citan a Serpell (1999) quien sostiene que la productividad es la medición de la eficiencia de como administrados los recursos para poder completar una actividad en específico, dentro de un tiempo dado y con un estándar de calidad elevado.

Por lo tanto, podemos definir productividad como la relación entre la producción final y todos los recursos (materiales, equipo y personal) utilizados en la producción de algún bien o servicio. De un modo más general la productividad se refiere a la producción generada por cada trabajador en determinado tiempo, o cualquier otro tipo de indicador que relacione la producción en función al factor trabajo.

La situación de la industria de la construcción de los últimos años se está viendo afectado directamente por el generalizado sentir de frustración de la sociedad en respuesta al gran esfuerzo que demanda mantenerse y desarrollarse, donde el objetivo principal es competir en precios y calidad para poder mantenerse

dentro del mercado, induce a pensar con mayor intensidad en la productividad como un elemento generador de competitividad, ya que ésta surge como una condición sustancial para el desarrollo económico y progreso.

En la necesidad de buscar un incremento de productividad, las empresas del sector construcción se han visto obligados a mejorar y/o implementar los aspectos de calidad, procedimientos de trabajo, capacitaciones y las innovaciones que se vienen desarrollando con el único propósito de aumentar su nivel de participación dentro de la competencia que existe entre las empresas de esta industria.

Dentro de las herramientas que nos ayudan a medir la productividad de las diferentes unidades de producción existentes en el proyecto se tiene que definir los conceptos de rendimiento y velocidad, ya que es común escuchar a los responsables de producción (maestros, capataces, ingenieros) confundir estos conceptos.

Se define velocidad como la cantidad de producción que se genera en un determinado plazo, ejemplos:

- Una cuadrilla conformada por dos operarios albañiles y un peón pueden llegar levantar 12 m<sup>2</sup> de muro de soga todos los días, con lo cual tendrían una velocidad de 12 m<sup>2</sup>/día.

- Una cuadrilla conformada por dos operarios fierros y un peón pueden llegar a armar y colocar 600 kg de acero todos los días, con los cual tendrían una velocidad de 600 kg/día.

Por otro lado, se define rendimiento como la cantidad de recursos empleados para generar una unidad de producción, ejemplos:

- Una cuadrilla de encofradores de elementos verticales conformado por dos operarios carpinteros y un pleón utilizaron 144 horas hombre en una semana de trabajo llegando a encofrar un total de 216 m<sup>2</sup> de elementos verticales, con eso se tendría un rendimiento de 0.67 hh/m<sup>2</sup>.
- Una cuadrilla de acarreo de material procedente de excavaciones conformado por ocho peones utilizó 68 horas hombre en un día de trabajo llegando a acarrear 52 m<sup>3</sup> de material, con eso se tendría un rendimiento de 1.31 hh/m<sup>3</sup>.

La productividad se puede medir según cómo se distribuyen su tiempo los trabajadores, por el tipo de trabajo realizado pueden ser: Trabajo Productivo, Trabajo Contributorio y Trabajo No Contributorio.

- **Trabajo Productivo (TP).** Son todas las actividades que aportan de manera directa a la producción de una o más unidades de construcción, al tiempo empleado por el trabajador en la producción de alguna unidad de construcción. Dentro del proyecto podemos definir como ejemplos a las siguientes

actividades como TP: asentado de ladrillo, frotachado de contrapiso, acabado en piso semipulido, encofrado de verticales, encofrado de horizontales, aplicación de imprimante en muros interiores y exteriores, colocación de concreto en verticales, colocación de concreto en horizontales, solaqueo de muros y pedestales.

- **Trabajo Contributorio (TC).** Son todos los trabajos de apoyo, se le define como el trabajo que es necesario para realizar los trabajos productivos, pero que no aporta valor. Es considerado como una pérdida de segunda categoría y se la cual se debe minimizar al nivel máximo posible. Dentro del proyecto podemos definir como ejemplos a las siguientes actividades como TC: traslado de ladrillos, traslado de cemento, traslado de encofrados verticales, traslado de encofrados horizontales, traslado de baldes de imprimante, traslado de vibradoras de concreto, colocación de tablonés para accesos.
- **Trabajo No Contributorio (TNC).** Representa a cualquier tipo de actividad realizada por el trabajador y que no se encuentre en las anteriores categorías, por lo tanto, son consideradas como pérdidas, ya que son actividades que no son necesarias para la ejecución de la partida, tienen un costo y no agregan valor al producto final por lo que se busca eliminarlas para así mejorar los procesos productivos. Dentro del proyecto podemos definir como ejemplo a las siguientes actividades como TNC: ir a los SS.HH., colas en almacén, traslados exagerados de materiales hacia puntos de ejecución, limpieza generada por desperdicio de concreto, tiempos de espera de mixers de concreto, trabajos

rehechos, descansos prolongados, tiempos de espera por observaciones, tiempos de espera por liberaciones protocolares, traslados de encofrados.

Los análisis de productividad no solo nos proporcionan las características particulares del tiempo perdido, sino que además nos dice en qué se está perdiendo el tiempo para así poder hacer una evaluación y posteriormente tomar las medidas correctivas que se puedan aplicar.

En la investigación de Ghio (2001) "*Productividad en Obras de Construcción*", demostró que los tiempos productivos promedio en obras de construcción de la ciudad de Lima era de un 28 % del tiempo total, el tiempo de trabajos contributorios promedio era de 36 %, mientras que el tiempo de trabajos no contributorios promedio era de 36 % (ver *Figura 1*). También determinó que los índices de productividad no dependen ni del tipo de proyecto (magnitud, costo, supervisión) ni del tipo de empresa (gestión de la producción, tipo de organización, tecnología aplicada, sistemas de seguridad, control administrativo), sino directamente dependen del tipo de administración y gestión que se hace en la obra (como se hace y quien hace la planificación, como se actualizan los cronogramas, como se transmite la información al personal, como se distribuyen los recursos), concluyó que las empresas que ejercen un mayor y mejor nivel de planificación obtienen mayores niveles de productividad.

Para mejorar la productividad dentro de un proyecto se tiene que tener en consideración muchos puntos que pueden facilitar llegar a los objetivos planteados, como son:

- Asesoramiento práctico al personal directamente relacionado con las unidades de producción, ayudar en el “cómo hacer” en lugar de tratar de imponer el “usted debe hacer”.
- Desarrollar e implementar soluciones orientadas a la mejora continua de las condiciones de trabajo, calidad y productividad.
- Identificar y dar soluciones de bajo costo.
- Plantear metas fijas y realizar un seguimiento continuo al cumplimiento del mismo.
- Aplicar la constructabilidad por parte de los responsables para poder concebir mejoras a las situaciones presentadas en el proyecto.
- Usar como técnica el aprendizaje a través de la práctica.
- Promover la participación de los trabajadores.
- Equilibrar las cuadrillas de trabajo.

- Mejorar las condiciones y el medio ambiente de trabajo.

La aplicación de estas recomendaciones nos dará como resultados:

- Mayor competitividad de la empresa en el sector.
- Mayor grado de satisfacción del cliente.
- Permanencia en el mercado a mediano y largo plazo.
- Disminución y cumplimiento de los plazos de entrega tanto internos como externos.
- Disminución de costos de producción.
- Disminución de rotación de cuadrillas.
- Mejora continua del personal obrero y de un ambiente que fomente la innovación y creatividad, así como las relaciones laborales entre ellos mismos.

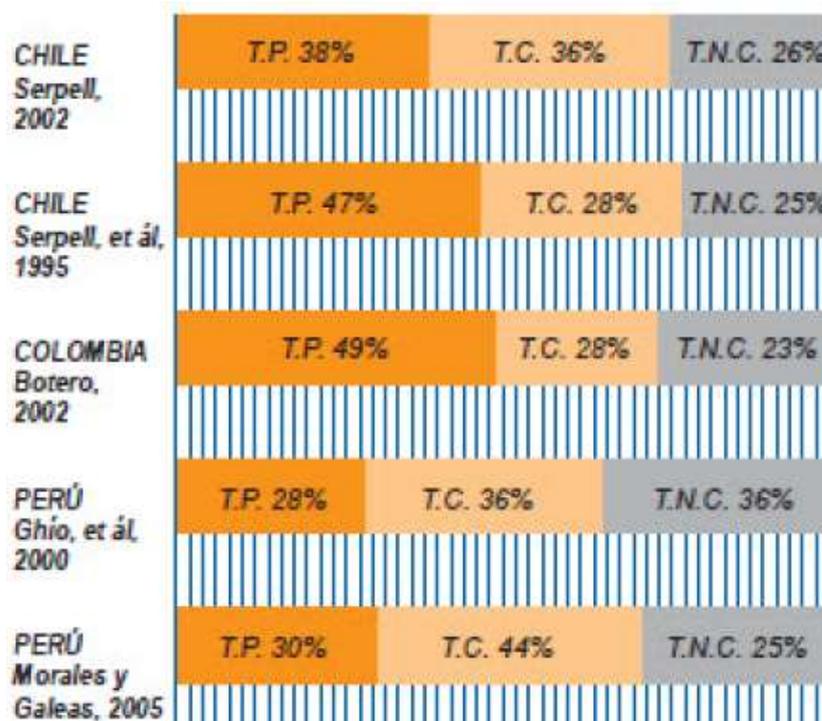


Figura 1. Muestreo del Trabajo en diferentes países de Sudamérica

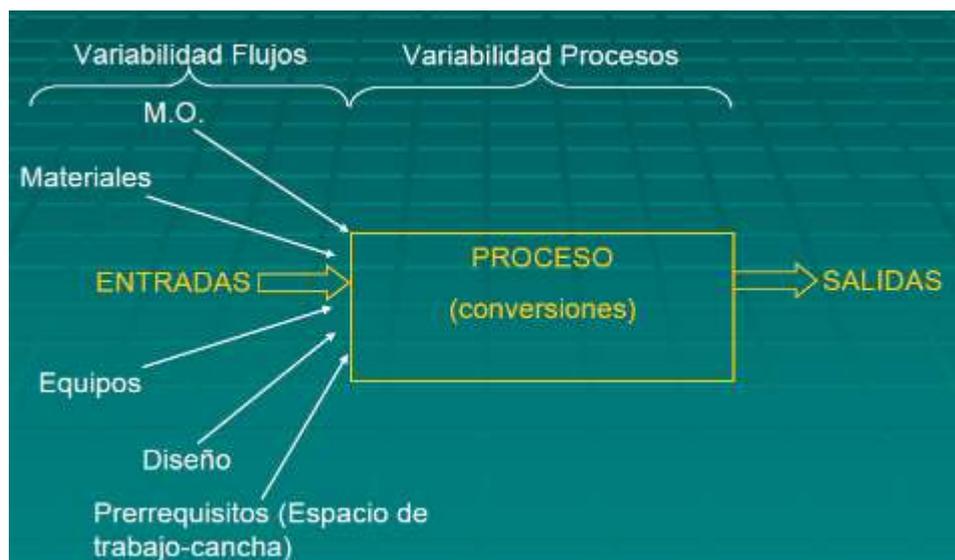
Fuente: Lean Construction en el Perú, 2011

### 2.1.1.2 Variabilidad

Alarcón & González (2003) citan a Baccarini (1996) quien define como complejidad a muchos elementos distintos interrelacionados y se operacionaliza en términos de diferenciación e independencia. La complejidad de un proyecto produce dos formas de incertidumbre: (1) estructural (número de elementos e interdependencia de elementos) y (2) en metas y métodos (Williams, 1999). La complejidad e incertidumbre en un proyecto de construcción generan cierto grado de variabilidad dentro de los flujos de producción.

Alarcón y González (2003) definen como variabilidad a la calidad de no-uniformidad de una clase de entidades. La desviación estándar y la varianza son medidas de variabilidad que se presentan en cualquier tipo de muestra, flujo o proceso. Se pueden diferenciar dos tipos de variabilidad dentro del flujo de producción: variabilidad de causa común, la cual afecta directamente al proceso (logística, ingeniería) y la variabilidad de causa especial la cual se presenta de forma imprevista (compatibilización de planos en campo, liberaciones en campo).

Koskela (1999) diferencia dos tipos de variabilidad –ver *Figura 2*- en los flujos de producción: (i) variabilidad en los tiempos de producción (procesos): es el tiempo requerido para poder procesar una tarea en una estación de trabajo (tiempo de procesamiento en la misma actividad). Y (ii) variabilidad en el flujo: es el tiempo empleado en la llegada de trabajos de una estación a estación (cambio de actividades).



*Figura 2.* Variabilidad en construcción

Fuente: Koskela, 1999

La variabilidad puede afectar a las todas las fases (flujos o procesos) de producción (cualquier actividad) y esto puede reflejarse en una baja productividad general del proyecto. Cuando la variabilidad se incrementa, se traduce en índices más bajos y pérdidas de capacidad de producción generándose así pérdidas por sobrecostos de producción. La teoría de colas reconoce que el incremento de la variabilidad en un sistema incrementa los tiempos de espera. Fundamentalmente la variabilidad en los proyectos de construcción se traduce en mayores plazos y sobrecostos de ejecución (Alarcón y González, 2003).

Alarcón & González (2003) citan a Thomas et al (2002) quien define a la variabilidad como un factor que puede inducir condiciones inesperadas, haciendo los objetivos del proyecto inestables y volviendo más complejos los medios para lograrlo. La variabilidad no agrega valor al proyecto (pérdida).

- **Causas de la Variabilidad.** Al realizar la planificación tanto de costos como de tiempo de ejecución para un proyecto de construcción, se está definiendo las expectativas que se quiere alcanzar en la ejecución del mismo, definiendo en esta etapa todos los recursos y costos que involucran cumplir con los objetivos trazados.

Si durante la ejecución del proyecto, las actividades planificadas no presentasen inconvenientes tanto en costos como en tiempo y resultaran según lo previsto, entonces podría decirse que el proyecto cumple con bastante precisión todo lo previsto durante la etapa de planificación. Lamentablemente

esto no sucede así, debido a que un proyecto representa un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único (PMBOK versión 5), cada proyecto presenta características diferentes tanto en diseño, métodos de ejecución, mano de obra, proveedores terceros, limitaciones de espacio, limitaciones de tiempo, limitaciones de costos (alcance del proyecto), consultas al cliente, por eso resulta muy difícil (mas no imposible) controlarlas a todas a la vez. A esto podemos añadirle los diversos factores que no fueron tomados en cuenta durante la etapa inicial de planificación (creación del plan master), eventos aleatorios (clima, aspecto social, ubicación geográfica) y las deficiencias de métodos de control de producción.

Las causas más comunes que generan variabilidad en un proyecto son:

- Cambios de ingeniería durante la ejecución del proyecto (Ejecución *Fast Tracking* o Ejecución Rápida).
- Cambios del cliente durante la ejecución del proyecto.
- Disponibilidad y nivel de capacitación de mano de obra.
- Tipos de productos en el proyecto, algunos por su complejidad de adquisición generan retrasos en los tiempos previstos.

- Falla en la logística del proyecto, llegada tardía de materiales.
- Trabajos defectuosos. Bajo control de calidad en la ejecución de las actividades.

Otra causa que se suma para generar mayor incertidumbre y por lo tanto mayor variabilidad a la ejecución de los proyectos es la conceptualización anticuada que se tiene de ella, no solo en el ámbito nacional sino a nivel globalizado en los entornos, en los cuales no se ha iniciado aún el proceso de mejora continua que conlleve a mejores y más eficientes métodos de producción y control. Desde concepciones románticas, pero poco útiles en un mundo globalizado y productivo como el de hoy, que ven como un “arte” a la tradicional y predominante concepción de transformación, estas han probado ser insuficientes para llevar un control efectivo y una planificación adecuada (Mondragón, 2003).

La variabilidad surge entonces en medio de un marco conceptual poco adecuada e incompleta, debido a la carencia de métodos de control de producción adecuados y a la falta de competitividad en la gestión de la productividad en el ámbito profesional actual.

- **Efectos de la Variabilidad.** Los efectos ocasionados por la variabilidad durante la etapa de ejecución se traducen finalmente en mayores plazos (mayor

costo indirecto) y mayores costos unitarios de producción (mayor costo directo).

Para un grado cualquiera de variabilidad se tiene que escoger entre una o todas las siguientes alternativas como penalidad (Koskela, 1992):

- Mayores inventarios y holguras de tiempo. Se tiene más inventarios para incrementar la probabilidad de que todos los materiales y partes necesarias estén disponibles para las cuadrillas de trabajo cuando éstas las necesiten. Esto conlleva a mayores costos de producción y mayores costos financieros. Igualmente se tiende a dar mayores holguras de tiempo a las actividades constructivas como protección.
- Tener una capacidad holgada de recursos. Lo que significa tener recursos extra de mano de obra y/o equipos para enfrentar las emergencias que se presenten y acelerar el avance cuando no se está cumpliendo con lo programado.
- Aceptar avance perdido. Vivir con el hecho de tener un avance menor al esperado o programado a pesar de tener los recursos y la capacidad para hacerlo. Esto se debe al desorden causado por la poca confiabilidad de las programaciones y la consecuente variabilidad en el cumplimiento de las operaciones.

El disponer de mayores inventarios de materiales y mayores holguras de tiempo en las actividades constructivas –lo que se conoce como *buffer* de flujos o colchón de seguridad del flujo de materiales y del flujo de trabajo- es rutinario en el ejercicio de la profesión, aún sin considerar si es que son necesarios o no (Ballard y Howell, 1998).

Tener grandes inventarios de materiales conlleva a transportes excesivos, riesgo de pérdidas por robo, averías, deterioro por clima (lluvias, heladas, tormentas, etc.), errores de manipulación, etc., quita espacio de trabajo y aumenta los costos financieros. Por otro lado, las holguras de tiempo determinan la duración del proyecto, a mayor duración del proyecto tendremos mayores costos fijos, costos financieros y costos de oportunidad (Koskela, 1992).

Contar con cierta holgura de capacidad de recursos con el fin de dar mayor confiabilidad a las programaciones, no es usualmente una estrategia de predilección de la gerencia. Se tiene la creencia que cuanto más ocupadas estén las personas trabajando se está utilizando mejor los recursos. Debido a esto los recursos de mano de obra están siempre en el límite de su capacidad. Esto se refleja en excesivos tiempos de espera debido al incumplimiento de trabajos prerrequisito. Las cuadrillas que se encuentran al tope de su capacidad de avance que incumplen con sus tareas asignadas dejan sin posibilidad a los equipos de trabajo que les siguen en la secuencia

constructiva. Esto es bastante común en las obras de construcción (Flores, Salizar y Torres, 2000).

En el entorno del sector construcción, la mayoría de proyectos pasa a aceptar un avance perdido como parte del mismo, lo que se termina reflejando en una baja productividad. Todo esto sería diferente si se contara con una planificación anticipada de recursos (*LookAhead Planning*) y un análisis de restricciones (*Constraints Analysis*) previo al día de ejecución del trabajo asignado o programado, con esto se podría alcanzar niveles de productividad mayor los cuales se reflejarán en un avance sostenido y una mayor confiabilidad de las programaciones del proyecto.

- **Tipos de Variabilidad.** Según las características que se presenten, podemos diferenciar dos tipos de variabilidad: controlable y aleatoria.
  - **Variación controlable.** Sucede como una consecuencia directa de nuestras decisiones. Por ejemplo, si decidimos que las unidades de producción sean movidas en lotes de un proceso a otro, la primera unidad tendrá que esperar más tiempo para ser transportada que la última. Por ejemplo, si decidimos que el vaciado de concreto se realice en lotes de producción pequeños y uniformes cada uno de ellos esperará menos tiempo en pasar a la siguiente etapa constructiva –el vaciado de concreto– que si decidimos esperar a tener un solo lote de gran tamaño. Esta variación en tiempo de espera es controlada por la dirección del proyecto y la

decisión será tomada según las características de la cadena de construcción, disponibilidad de materiales, disponibilidad de recursos, etc. (Hopp & Spearman, 2001).

- **Variación aleatoria.** Es una consecuencia de los eventos más allá de nuestro control inmediato. Por ejemplo, los tiempos entre demandas del proveedor de concreto no están bajo nuestro control. Tampoco están bajo nuestro control eventos de falla que impiden que nuestro calendario programado sea cumplido. Así, podemos esperar que la carga de trabajo que un equipo en particular tiene tienda a fluctuar, en cierto momento se exigirá a una cuadrilla un rendimiento mayor para poder cumplir con un calendario retrasado debido a una falla no prevista (incumplimiento de un proveedor, escasez de materiales, etc.), mientras que en otro momento es posible encontrar a esa misma cuadrilla parada por falta de trabajo.

Igualmente, no sabemos cuándo una máquina podría fallar gravemente. Este tiempo muerto aumenta el tiempo efectivo de procesamiento de un trabajo. Como estas contingencias no pueden ser predichas o controladas (al menos inmediatamente) las fallas de equipos tienden a aumentar la variabilidad de los tiempos efectivos de procesamiento en una forma aleatoria.

Hay además factores que influyen en los resultados que están más allá de nuestra capacidad de manejar (estado de ánimo de los operadores, retraso

de distintos proveedores, etc.) y que sumados nos dan un conjunto de variables que –por su cantidad y características- son imposibles de predecir con certidumbre (Hopp & Spearman, 2001).

### **2.1.1.3. Constructabilidad**

Es la práctica de buscar mejoras en la gestión de proyectos de construcción mediante la captura de conocimientos operacionales por parte de todos los involucrados en el proyecto, aplicables tanto en la etapa de construcción y como en las etapas iniciales como son las de planificación y de diseño del mismo.

En 1986 el *Construction Industry Institute*, definió la Constructabilidad como “el uso óptimo del conocimiento y experiencia de construcción en la planificación, en el diseño, en las adquisiciones y en el manejo de las operaciones de construcción.

Ubicados en la etapa de ejecución del proyecto, es decir cuando ya estamos en la etapa de producción, también se puede aplicar la constructabilidad, buscando mejorar el uso de todos los recursos empleados para conseguir un mayor grado de eficacia en los procesos de ejecución, para conseguir esto es necesario plantear soluciones prácticas, creativas e innovadores.

No se debe de perder de vista la productividad, ya que muchas veces podemos ir mejorando algunos procesos, pero no estrictamente esto reflejará mejoras en las actividades.

Para implantar la constructabilidad dentro de una actividad es muy considerar el factor humano, los responsables de ejecutar las actividades deben ser los principales participes, quienes deberán tener presente que el cambio o mejora implica el entendimiento del comportamiento humano.

## **2.2. Lean Production**

Es la filosofía de la industria manufacturera actual y su principal objetivo es mejorar continuamente el desempeño productivo, fue desarrollado por la empresa Toyota en la década del 50, pero sólo hasta el año 1990 es cuando empezaron a aparecer las primeras publicaciones sobre sus métodos, técnicas y conceptos.

Según Gómez (2010) en Toyota se implantó la primera metodología basada en los valores “*Lean*”, concebida por los grandes expertos en el Sistema de Producción de Toyota (*Toyota Production System*). A partir de aquí esta filosofía empezó a difundirse por el resto del mundo.

El *Toyota Production System* fue documentado de manera formal entre los años 1965 – 1970 en idioma japonés y recién en 1977 se presentaron documentos en idioma inglés (Holweg, 2007), pero no fue hasta el año 1990 que James y

Womack presentaron el concepto de la filosofía *Lean* para describir la filosofía del trabajador y las prácticas japonesas de los fabricantes de la industria automotriz, en particular el *Toyota Production System* (TPS de ahora en adelante).

Los resultados increíbles del modelo japonés desencadenarían un proceso generalizado de imitación entre las diferentes productoras mundiales, tanto productores americanos como productores europeos, aunque cada uno con sus diferencias de composición en sus procesos, alcances y ritmos de adopción (Gómez, 2010).

Luis Cuatrecasas (2002) citado en Gómez (2010), por su parte, manifiesta que la filosofía *Lean* ha contribuido de manera notoria en la mejora de eficiencia, competitividad, rapidez de respuestas y flexibilidad durante los procesos, bien sea industriales o de servicios.

Toyota es el alma mater de esta nueva filosofía de gestión de procesos, de hecho, ha sido la empresa impulsadora de esta filosofía difundida a través del mundo gracias al trabajo de James P. Womack y Daniel T. Jones, trabajo encargado de recopilar conocimientos y experiencias por distintos lugares y plasmarlos en una gran obra titulada "*La máquina que cambió el mundo*", en el cual analiza y revela la evolución de los sistemas de gestión de la producción en el sector automotriz.

En conclusión, el TPS tiene como finalidad producir más (producto) con menos (recursos). Busca aumentar la productividad y los beneficios situando el poder en los flujos y procesos.

### 2.2.1. Enfoque tradicional (Modelo de conversión)

En la *Figura 3* se detallan las etapas que comprenden al modelo tradicional o modelo de conversión, el cuál es el que hasta la actualidad se ha ido utilizando en la industria de la construcción. El modelo tradicional solo considera las entradas (recursos), la transformación (conversión) y finalmente las salidas (producto).



*Figura 3.* Modelo tradicional de producción en la industria de la construcción

Fuente: Botero ,2006

Dentro de la visión del proceso de conversión tradicional, se puede dividir en varios subprocesos, quienes también terminarán siendo procesos de conversiones tradicionales.

Dentro del enfoque del modelo de conversión tradicional, el valor de las salidas (producto) será directamente relacionado con los costos de las entradas (recursos), lo que demuestra que dentro del enfoque de conversión tradicional la generación de valor (producción eficiente) no es considerada importante.

Pons (2014) indica que los principales problemas del modelo tradicional de la gestión integral de proyectos, desde la fase inicial de diseño hasta la etapa de ejecución, puesta en marcha y mantenimiento incluyen:

- Baja formación y poca experiencia por parte del equipo técnico en los nuevos sistemas de gestión y planificación que vienen apareciendo.
- Bajo control de calidad, basados en técnicas y métodos que no garantizan la calidad total del producto (proyecto).
- Escasos sistemas de gestión enfocados en la seguridad durante la ejecución del proyecto.
- Errores y omisiones en proyectos, falta de compatibilización de especialidades.
- Escaso interés en los planes de capacitación hacia personal obrero (operacional).
- Poca coordinación y comunicación entre todos los involucrados de todas las etapas que componen el proyecto.
- Falta de transparencia y comunicación entre las partes interesadas (cliente y contratista).

- Baja productividad comparada con otras industrias (industrial).

Como resultados a todo lo mencionado tendremos: culminación de proyectos con plazos mayores al previsto, sobre costos por trabajos rehechos y mayores plazos, problemas en la calidad del producto, índice elevado de accidentes en el trabajo y, en general, mayor incertidumbre y variabilidad con respecto a las condiciones iniciales del contrato (Pons, 2014).

La mejora del modelo de conversión tradicional se enfoca en hacer más eficientes las conversiones (procesos), en vez de que éstas sean más efectivas desde la perspectiva del cliente, es decir, que generen valor al cliente.

Al no estar consideradas las actividades de flujo dentro modelo de conversión tradicional, este presentará algunas deficiencias que se hacen evidentes dentro de la industria de la construcción, como son:

- La ausencia de planeación de las actividades de flujo que puedan existir en el proyecto no permite detectarlas a tiempo (aparecen durante la ejecución), generando así desperdicios (ver ítem 2.2.4) de todo tipo dentro del proyecto. Según Botero (2006) el 50 % del tiempo que emplean los obreros en la realización de alguna actividad, está representado en tiempos de transporte, esperas e interrupciones por falta de materiales (logística) o instrucciones (procedimientos de trabajo), reprocesos, etc. Desde la perspectiva del cliente,

estas actividades no son necesarias, ni de importancia, ya que estos no generan valor (transformación del recurso a producto).

- El control de la producción tradicional enfoca sus métodos en el control de los subprocesos, limitando así la mejora de la producción de un todo (producto final) a la mejora de actividades independientemente (subprocesos).

### **2.2.2. Enfoque Lean**

Se define a *Lean Production* como un sistema de negocio efectivo, desarrollado por Toyota (sector automotriz), para poder organizar y gestionar el desarrollo de un proyecto (producto), las operaciones y las relaciones entre el cliente y los proveedores, que requerirá de menor esfuerzo humano, menor inventario, menor capital (inversión) y menor tiempo en fabricar productos con menos defectos según las necesidades precisas que solicita el cliente. (Pons, 2014).

El uso del término *Lean* significa que el sistema empleado utiliza menos recursos comparado con la producción en masa: la mitad de esfuerzo humano en la fábrica, la mitad de espacio (almacén) en la fabricación, la mitad en inversión de herramientas, la mitad en tiempo de ingeniería de detalle para conseguir el mismo producto, pero en la mitad del tiempo, dando lugar a la generación de muchos menos defectos en los productos (Pons, 2014 cita a Womack, Jones y Ross, 1991).

### 2.2.2.1. Origen y difusión del sistema Lean

Durante el año 1973 la industria del petróleo ingreso en crisis, a la que se le sumó una importante recesión de la industria, todo esto se vio reflejado en los gobiernos, negocios y la sociedad en general de todo el mundo. Durante el año 1974 la economía de Japón llegó a colapsar hasta un punto de cero crecimientos. No obstante, en Toyota, si bien se redujeron sus beneficios comparado con años anteriores, consiguieron mantener sus ingresos superiores a la de otras empresas del mismo rubro. Este notable margen que presentaba Toyota y el resto empresas llevó a que todos se preguntaran ¿qué es lo que ocurría en Toyota? (Ohno 1988).

Como se vio en el ítem 2.1. Estado del arte de *LEAN*, Años más tarde el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT por sus siglas en inglés) creó el Programa Internacional de Vehículos a Motor (IMVP por sus siglas en inglés) con el fin de entender los principios fundamentales del cambio industrial y lograr mejoras en el proceso de decisión relativo al cambio.

Los resultados de dicho estudio, Ver Tabla 1, revelaron que las empresas japonesas habían logrado desarrollar un sistema productivo propio superior al del resto de regiones, capaces de fabricar productos con mayor calidad, a un costo menor y con tiempos de entrega más cortos, tanto a nivel de diseño como a nivel de fabricación (Womack, Jones y Ross 1991).

**Tabla 1**

*Diferencias en 1986 entre una planta de montaje de General Motors y una de Toyota*

<b>Planta de montaje de Framingham de General Motors versus Planta de montaje de Takaoka de Toyota, 1986</b>		
	Framingham	Takaoka
Horas de montaje bruto por coche	40.7	18
Horas de montaje ajustado por coche	31	16
Defectos de montaje cada 100 coches	130	45
Espacio de montaje por coche	8.1	4.8
Existencia de inventario (promedio)	2 semanas	2 horas

Fuente: Womack, Jones y Ross, 1991

Pons (2014) cita a Womack y Jones (1996) quienes definieron los cinco principios básicos de la filosofía *Lean*:

- **Valor.** El principal principio de la filosofía Lean es el de crear valor para el cliente, esto quiere decir que debemos entender qué es lo que quiere el cliente. Una mejor comprensión de lo que es considerado valor desde la perspectiva del cliente nos proporcionará las bases para un diseño más efectivo del producto y nos dará una idea del proceso a seguir para fabricarlo. El valor es el punto inicial del pensamiento en la filosofía Lean. Se puede definir como la importancia que el cliente le da a un producto o servicio requerido para satisfacer sus necesidades a un precio adecuado, en un tiempo determinado.
- **Value Stream (Cadena o Flujo de valor).** Lo siguiente es identificar el flujo de valor dentro del proyecto. Entenderemos por flujo de valor a todas las

actividades actualmente necesarias para lograr la transformación de materia prima (recursos) e información (ingeniería de detalle) en un producto terminado y entregado al cliente. Según la filosofía *Lean*, desde el primer instante asumiremos que del total de actividades identificadas solo algunas aportarán valor y otras no (identificación y eliminación de desperdicios).

- **Flujo.** Una vez identificado el flujo de valor para el cliente, el siguiente paso a seguir es encargarnos de que fluyan las operaciones de una estación hacia otra.
- **Sistema Pull.** Es un sistema de control de producción en el que las actividades sucesoras marcan las necesidades a las actividades predecesoras del flujo de valor, una técnica que se acomoda son las tarjetas *Kanban*, sobre qué elemento o material se necesitan, las cantidades, cuándo, dónde y cómo lo necesitan. En pocas palabras el sistema *Pull* tiene como finalidad marcar el flujo de valor en los procesos donde las actividades predecesoras no generan nada hasta que el cliente en las actividades sucesoras lo soliciten. Es el cliente (interno o externo) quien tira de la demanda y no el fabricante o productor quién empuja los productos hacia el cliente.
- **Perfección.** Se define como perfección al proceso que proporciona puro valor, tal y como ha sido diseñado y definido por el cliente, sin ninguna clase de desperdicio. Para lograr esto se necesita aplicar 3 herramientas fundamentales de la filosofía *Lean*: el *Kaizen* o la mejora continua (retroalimentación), la

estandarización de procesos y un plan de acción o PDCA (*Plan-Do-Check-Act*).

### **2.2.3. Nuevo modelo de conversión**

El nuevo modelo de producción es una síntesis y la generalización de los diferentes modelos como son el *Just In Time* (de ahora en adelante denominaremos JIT) y el *Total Quality Management* o Gestión Total de la Calidad (de ahora en adelante denominaremos TQM), ver *Figura 4*.

Así la tarea, para los teóricos, era desarrollar un modelo que abarque todos los aspectos importantes de la producción, sobre todo los que estaban ausentes en el modelo convencional. Es así como el nuevo modelo de producción se define como: La producción es un flujo de material y/o información de la materia prima hasta conseguir producto final. Dentro de este flujo, el material es procesado (convertido), es inspeccionado, se está moviendo o se encuentra en espera. Los procesos de flujo pueden ser caracterizados por el tiempo, costo y valor dentro de cada una de sus etapas.

El valor se refiere al cumplimiento de los requisitos del cliente. En la mayoría de los casos, solo las actividades de transformación son consideradas como actividades de valor añadido. Para los flujos de materiales las actividades de transformación son alteraciones de forma o sustancia, montaje y desmontaje.

En pocas palabras, la nueva conceptualización (Filosofía *Lean*) implica una visión dual de la producción que está compuesta por: CONVERSIONES Y FLUJOS. La eficiencia global de la producción es atribuible tanto a la eficiencia (grado de tecnología, habilidades, motivación, etc.) de las actividades de conversión realizadas, así como la eficiencia de las actividades de flujo a través del cual las actividades de conversión están enlazadas entre sí.

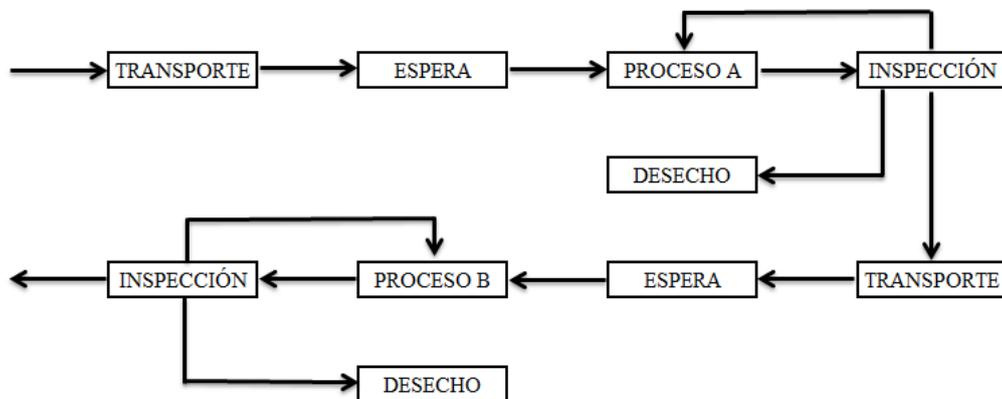


Figura 4. Nuevo modelo de conversión

Fuente: Koskela, 1992.

Mientras que todas las actividades demandan costos y consumen tiempo (plazos), solo las actividades de conversión son las que añaden valor al producto. Por lo tanto, buscar la mejora en las actividades de flujo deberá enfocarse en la reducción o eliminación de las mismas, mientras que las actividades de conversión tienen que ser más eficientes.

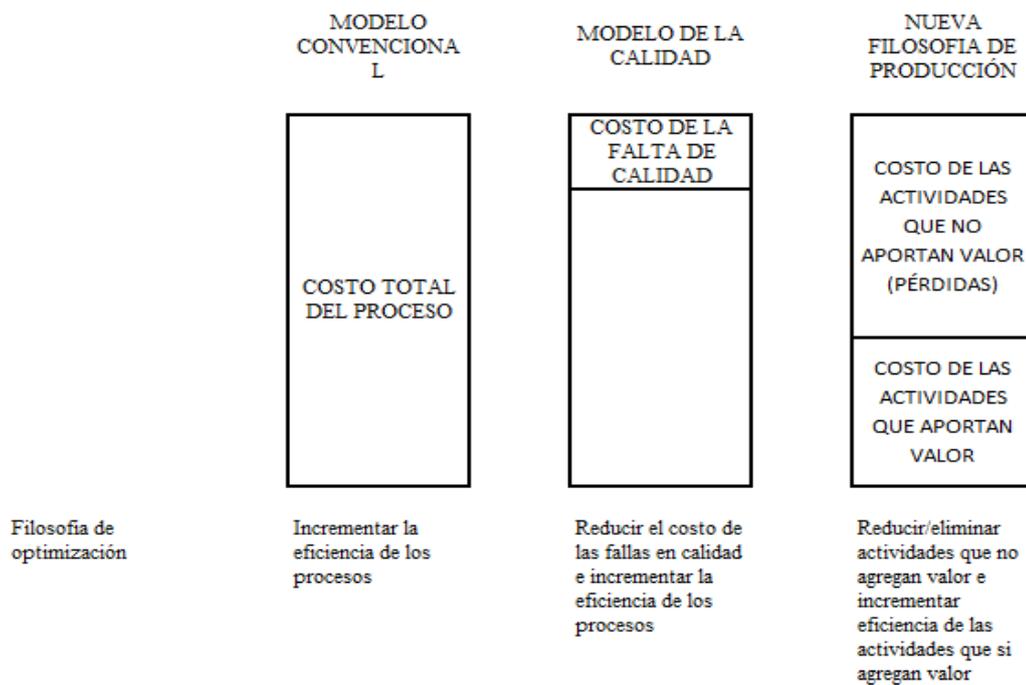


Figura 5. Comparación de los enfoques de diferentes filosofías de producción

Fuente: Koskela, 1992

De esta forma para llegar a tener un total control de los procesos, se presentan las siguientes bases de la nueva filosofía denominada *Lean Production*:

- **Reducir** o eliminar todas aquellas actividades que no aportan valor alguno hacia el producto. (Definimos valor como el grado de satisfacción del cliente según sus requerimientos).
- **Incrementar** el valor del *output* (se define *Output* como el producto final o el resultado entre una fase y otra dentro de los flujos de producción) a través de las consideraciones puestas en los requerimientos del cliente.

- **Reducir la variabilidad** desde el punto de vista del cliente, un producto uniforme le brindará mayor satisfacción y desde el punto de vista de la producción, un grado de variabilidad alto generará el incremento de actividades que no agregan valor al producto, lo cual generará mayores interrupciones en los flujos de trabajo y, por ende, mayores tiempos (plazos) de ciclo de producción.
- **Reducir el tiempo** de los ciclos de producción (se define como ciclo de producción a la suma de todos los tiempos empleados en actividades de flujo y actividades de conversión que son necesarios para producir un determinado lote).
- **Simplificar los procesos** es la reducción de las partes o números de pasos a seguir para realizar un producto determinado. Simplificar los procesos es mejorar los flujos (reducción de tiempo en cada estación). Los procesos más simples representarán menores gastos de operación, son más confiables (menos variables) y poseen menores tiempos de ciclos (ciclo de producción).
- **Incrementar** la flexibilidad del *output*.
- **Incrementar la transparencia en los procesos** más simples resultarán más transparentes, lo que nos facilitará el control y la retroalimentación.
- **Enfocar** el control en la totalidad de los flujos y procesos.

- **Aplicar el principio de retroalimentación** el cuál esta basado en la filosofía *Kaizen*, filosofía japonesa que se centra en el mejoramiento continuo, el cual consta en introducir mejoras continuas en todo el ciclo de producción.
- **Balancear** el mejoramiento de los flujos con el mejoramiento de las conversiones.
- **Benchmarking** o Estudios comparativos, consiste en realizar comparaciones continuamente a los procesos propios con los de las empresas líderes en el mercado e incorporar así lo mejor del otro en la empresa, basándonos en los potenciales detectados dentro de la empresa.

#### **2.2.4. El concepto MUDA**

MUDA es una palabra japonesa que significa desperdicio, en el sentido de toda aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor: actividades no ejecutadas bajo los mínimos estándares requeridos y terminan fallando para posteriormente generar una rectificación, producción innecesaria, actividades durante el proceso que no son realmente necesarios, transporte de materiales de un lugar a otro sin ningún propósito, cuadrillas en tiempos de espera por fallas en actividades predecesoras y bienes y servicios que no satisfacen las necesidades del cliente (Womack y Jones, 1996 citado en Pons, 2014).

Ohno (1988) descubrió en su investigación que en una empresa la mayor parte del tiempo que se emplean en actividades que realizan no agregan valor al producto final que será entregado al cliente y por lo tanto son susceptibles de mejorar o eliminar, ver *Figura 6*.



*Figura 6.* Círculo de la inproductividad de una empresa

Fuente: Ohno, 1988

Ohno (1988) clasificó los 7 desperdicios causantes de la mayor parte de tiempos perdidos dentro del flujo de valor en la planta de producción que él mismo dirigía (Planta automotriz de Toyota).

A continuación, se describirá la adaptación de los 7 desperdicios descritos por Ohno hacia la industria de la construcción y se agregará el octavo desperdicio definido por Jeffrey Liker: desperdicio del talento y la falta de creatividad (Pons, 2014):

- **Sobreproducción.** Representa a la producción de cantidades superiores a las requeridas o producción antes de lo requerido; uso de un equipamiento altamente sofisticado cuando uno mucho más simple sería suficiente; más calidad que la prevista; mayor producción que la estipulada en el alcance.
- **Tiempos de esperas.** Esperas, interrupciones, paralizaciones del trabajo o tiempos de inactividad debido a la falta de procedimientos, información, especificaciones técnica u órdenes (por parte de los jefes de grupo o responsables), planos en revisión, llegada de materiales, mantenimientos de maquinaria, tiempos de espera en la transición de actividades predecesoras, aprobaciones, liberaciones, espera de resultados de ensayos de laboratorio, financiamiento, tiempo de espera en llegada de personal, área de trabajo con restricciones, compatibilización entre especialidades, contradicciones en los planos, tiempos de espera en el transporte o instalación de equipos, falta de coordinación entre jefes de frentes, re-trabajos debido a cambios en la ingeniería y revisiones recientes, accidentes por falta de seguridad, tiempos de espera por causas sociales.
- **Transporte innecesario.** Involucra a todo transporte innecesario relacionado con el traslado interno de los recursos (materiales, equipos, maquinaria, etc.) en la obra. Por lo general está relacionado con la mala planificación, mala distribución y la falta de información. Las principales consecuencias son: pérdidas de horas máquina, pérdidas en los flujos de trabajo, pérdidas de

espacio en la obra por la mala distribución y pérdidas de material durante el transporte (deterioro de material).

- **Sobre-procesamiento.** Hace referencia a todos los procesos adicionales en la ejecución de actividades o instalación de elementos que involucren el uso excesivo de materiales, equipos, maquinaria, etc. que generará un mayor control (inspecciones adicionales o duplicadas).
- **Exceso de inventario.** Son considerados todos los inventarios excesivos, innecesarios, generados antes de tiempo y que conducirán a desperdicios de material por deterioro, vencimiento, pérdidas por malas condiciones de almacenamiento del stock en la obra, robo y vandalismo por parte de los obreros, personal adicional para controlar ese excedente de material.
- **Movimientos innecesarios.** Se refiere a todos los movimientos innecesarios o ineficientes que realizan los trabajadores durante su jornal. Esto se da por la utilización de equipo inadecuado, métodos de trabajo ineficaces que no se adaptan a la realidad, falta de estandarización o mal acondicionamiento del lugar de trabajo, mala planificación de actividades, distribución de cuadrillas no acorde a los trabajos planificados; lo cual terminará traducándose en pérdidas de tiempo (horas hombre) y bajas laborales.
- **Defectos de calidad.** Errores en el diseño, ejecución y operación; incoherencias entre los planos de diseño arquitectónico, planos de estructura o

plano de instalaciones (especialistas), uso de procedimientos de trabajos incorrectos, mal empleo de tecnologías, mano de obra poco calificada. Las consecuencias principales de los defectos de calidad son: la repetición del trabajo (retrabajo) y la insatisfacción del cliente (mayores plazos, mayores costos).

- **Talento.** Se pierden bastantes ideas, aptitudes, propuestas de mejoras y oportunidades de aprendizaje para conseguir rendimientos elevados tan solo por no motivar o incentivar al personal empleado y por contratar mano de obra poco calificada (criterio erróneo de ahorro de costo en mano de obra), con poca formación, mal instruida y con falta de criterios y recursos para aplicar conceptos de mejora continua y conseguir la resolución de problemas inmediatamente.

### **2.2.5. La construcción según el enfoque Lean**

En la *Figura 7* se explica las principales diferencias entre el sistema tradicional de gestión de proyectos, donde el desperdicio o improductividad (pérdidas) no ha sido considerado desde un punto de vista económico, y el sistema de gestión según el enfoque Lean, en el cual desde el inicio del proyecto, todos los involucrados trabajan y buscan maximizar el valor del cliente y minimizar o eliminar todas las actividades, gestiones y transacciones inútiles (pérdidas) que no añadan valor al producto, buscando beneficiar los intereses generales de todos y no los particulares de cada parte.

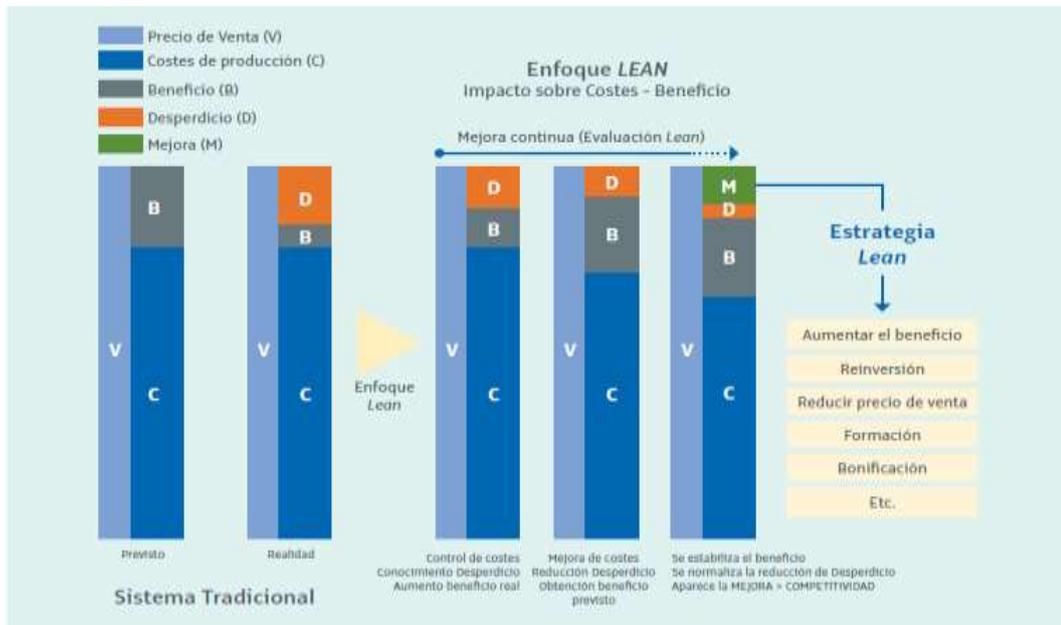


Figura 7. Enfoque Tradicional vs. Enfoque Lean. Introducción a Lean Construction

Fuente: Pons, 2014

Tal como se observa en la *Figura 7*, podemos decir:

- Desde el principio sabemos que una parte de las actividades serán no productivas (desperdicios) y por ende no agregarán valor al producto desde el punto de vista del cliente. Desde allí llevaremos a cabo un control de costes *Lean*, puesto que ahora tenemos conocimiento y contamos con las herramientas de gestión para poder empezar a identificar, calcular y controlar esos desperdicios. Mejoraremos el beneficio real y disminuirémos el desperdicio actual mediante la aplicación de mejoras en el diseño y los procesos de ejecución, de tal manera que nos permita reducir los costos de producción sin disminuir la calidad (alcance) del producto.

- Al continuar con la mejora continua (retroalimentación) y el control de costes mejorando las estrategias de diseño y procesos, reduciremos aún más el desperdicio (se busca eliminar todo tipo de desperdicio) y alcanzamos los beneficios esperados.
- Estabilizaremos el margen de beneficio. Se busca transformar el desperdicio y los costos de producción en mejora real sobre el costo inicial previsto (costo planificado). Se continúa con la retroalimentación o mejora continua, logrando diseñar nuevos estándares a medida que vayamos superando los anteriores.

Siguiendo las estrategias de la filosofía *Lean* podemos convertir las mejoras obtenidas en beneficios, inversión, innovación, formación, reducción del precio de venta interno, bonificaciones para el personal de ejecución.

## **2.3. Lean Construction**

### **2.3.1. Antecedentes históricos**

Durante su estadía en la Universidad de Stanford - California, USA, durante el año 1992, el finlandés Lauri Koskela escribió su tesis doctoral titulado “*Application of the new Production Philosophy to Construction*” o traducido al español “*Aplicación de la nueva filosofía de producción a la construcción*”, en el que estableció las bases teóricas de la nueva filosofía de producción aplicándola a la construcción. La investigación de Lauri Koskela marcó un hito clave en el

desarrollo de una corriente de investigaciones sobre la aplicación del TPS y la filosofía *Lean* en la industria de la construcción. El término *Lean Construction* fue acuñado por los fundadores del *Grupo Internacional de Lean Construction* (IGLC por sus siglas en inglés) en 1993 (Ochoa, 2015).

Lo que hoy se conoce como *Lean Construction* o construcción sin pérdidas (de acuerdo a la definición del *Lean Construction Institute*) representa una nueva forma de gestionar la producción dentro de la industria de construcción. Como su nombre lo denota, esta es una filosofía que se ha desarrollado en base a los descubrimientos de la producción sin pérdidas (Ghio, 2001).

La diferencia que presenta la filosofía de construcción sin pérdidas de las prácticas tradicionales de construcción es el enfoque que le da a las pérdidas dentro de la construcción y buscar la reducción de las mismas.

Uno de los puntos fundamentales de la filosofía de construcción sin pérdidas es el manejo del modelo de flujos planteado por Koskela (1992) en contraposición del modelo de conversión.

### **2.3.2. Definición de Lean Construction**

Se conoce como *Lean Construction* o construcción sin pérdidas, a la aplicación de los principios y herramientas de gestión de la filosofía *Lean* en todo el ciclo de ejecución de un proyecto de construcción.

Según Pons (2014) define a *Lean Construction* como la aplicación de los principios y herramientas de la filosofía *Lean* al proceso que engloba un proyecto, desde su etapa de diseño hasta la etapa ejecución y puesta en marcha. Entenderemos a *Lean* como una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa, por ende, sus principios pueden aplicarse en todas las etapas y fases que conformen un proyecto, como lo son: etapa de diseño e ingeniería, pre-comercialización y marketing, etapa de construcción, puesta en marcha y servicios de postventa, atención al cliente y mantenimiento del producto.

La filosofía *Lean Construction* busca la excelencia en los proyectos a través de un proceso de mejora continua, se persigue básicamente minimizar o eliminar todas las actividades que no agreguen valor hacia el producto final, todo esto a través de la optimización de los recursos (mano de obra, materiales, ingeniería, equipos) y la maximización de la entrega de valor hacia cliente (costos, plazos y alcance).

*Lean Construction* trata de lograr estos objetivos en todas las fases del ciclo de vida de un proyecto de edificación, desde los involucrados en la etapa de diseño hasta la etapa de ejecución y puesta en marcha, busca involucrar a todas las personas y empresas (proveedores, subcontratistas) que participan en cada flujo de valor, sin dejar a nadie fuera e integrando a todos bajo mismos objetivos comunes según los principios *Lean* (Pons, 2014).

Según Picchi (1993), se obtiene un 30 % del costo de la obra como pérdida, por lo que se concluye que “si se tiene un proyecto de 4 torres la cuarta torre podría producirse con cero costos gracias al desperdicio de las otras 3”. La Tabla 2 evidencia el estimado de desperdicios en obra mediante el modelo de transformación (conversión) según Orihuela (2003).

La cuantificación de las pérdidas dentro de la realidad de América Latina oscila entre el 25 % y el 35 % según los diferentes estudios presentados por autores como Ghio, Orihuela, Serpell, Botero y otros; estos índices se deben a que se vienen gestionando los proyectos bajo el pensamiento tradicional o modelo de conversión, el cual se enfoca en una entrada, una transformación e inmediatamente una salida, como si la producción fuera automatizada.

**Tabla 2***Estimación de desperdicios en obras de edificación*

<b>PORCENTAJE DEL COSTO TOTAL DE OBRA</b>		
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>%</b>
Restos de material	Restos de mortero	
	Restos de ladrillo	
	Restos de madera	5 %
	Limpieza <sup>7</sup>	
	Retirada de material	
Espesores adicionales de mortero	Tarrajeo de techos	
	Tarrajeo de paredes internas	
	Tarrajeo de paredes externas	5 %
	Contrapisos	
Dosificaciones no optimizadas	Concreto	
	Mortero de tarrajeo de techos	
	Mortero de tarrajeo de paredes	2 %
	Mortero de contrapisos	
	Mortero de revestimientos	
Reparaciones y retrabajos no computados en el resto de materiales	Repintado	
	Retoques	2 %
	Corrección de otros servicios	
Proyectos no optimizados	Arquitectura	
	Estructuras	
	Instalaciones sanitarias	6 %
	Instalaciones eléctricas	
Pérdidas de productividad debido a problemas de calidad	Parada y operaciones adicionales por falta de calidad de los materiales y servicios anteriores	3.5 %
Costos debidos a atrasos	Pérdidas financieras por atrasos de las obras y costos adicionales de administración, equipos y multas	1.5 %
Costos en obras entregadas	Reparo de patologías ocurridas después de la entrega de obra	5 %
<b>Total</b>		<b>30 %</b>

Fuente: Orihuela, 2003

*Lean Construction* propone abarcar la gestión de proyectos con un modelo más adecuado a la realidad de los proyectos y que refleje mejor lo que viene sucediendo en la producción, esta propuesta es el modelo de TRANSFORMACIÓN – FLUJO – VALOR (al cuál denominaremos TFV de ahora en adelante) donde no se da directamente una transformación luego de una entrada sino que también contempla actividades intermedias entre los procesos de entrada, transformación y salida (Koskela 1999).

La aplicación del modelo de flujos de procesos nos permite identificar la mayoría de pérdidas que existen dentro del proyecto y que el modelo tradicional no te permite verlos. En vez de mejorar únicamente los procesos, la nueva filosofía apunta a mejorar tanto los procesos como los flujos (Ballard y Howell, 1994).

Por lo tanto la filosofía de la construcción sin pérdidas requerirá mejorar los sistemas de gestión de producción así como los procesos de producción en sí, enfocando el trabajo en el manejo de un mejor sistema de planificación operacional y diseño de procesos (Ghio, 2001).

### **2.3.3. Conceptos de Lean Construction**

La filosofía Lean Construction busca atacar tres puntos en específico dentro de los proyectos:

- Conseguir maximizar los trabajos que agregan valor para el cliente.

- Disminuir al máximo los trabajos que solamente contribuyen.
- Eliminar todos los trabajos que no contribuyan, eliminar todo lo que sea considerado pérdida dentro del proyecto.

El Grupo Internacional de Lean Construction (IGLC) propone que un proyecto de construcción se puede dividir en 5 fases, cada una cuenta con una serie de módulos que se relacionan entre sí, este modelo es conocido como el *Lean Project Delivery System* o Sistema de Entrega de Proyectos Lean.

#### **2.3.3.1. Lean Project Delivery System (LPDS)**

El modelo LPDS está pensado para ser aplicado en sistemas productivos temporales, como los que tienen lugar habitualmente en el sector de la construcción. Huarcaya (2014) cita a Lichtig (2006) quien define las características fundamentales del modelo LPDS:

- El proyecto obtiene mayor organización y se gestiona en conjunto como un proceso generador de valor.
- Los agentes que intervienen dentro de las etapas finales (ensamblaje y uso) también se involucrarán dentro de la etapa de planificación inicial y diseño del proyecto, serán quienes aporten información valiosa basada en experiencias

similares (constructabilidad) y así poder identificar la mayor cantidad de posibles pérdidas.

- El control del proyecto tiene lugar durante la etapa de planeamiento inicial y durante la ejecución del mismo, en oposición al modelo clásico de detección a posteriori, Es decir, tiene un carácter previsorio.
- Las optimizaciones de esfuerzos se centran en conseguir un flujo de trabajo más fiable y no exclusivamente al incremento de la productividad. Se busca que los flujos no paren.
- Las técnicas “*pull*” (jalar) se emplean para mejorar el manejo del flujo de información y flujo materiales a través de las redes de especialistas.
- Los *buffers* (capacidad y almacén) se utilizarán para reducir la variabilidad. Es decir, los inventarios se convierten al mínimo indispensable.
- Los ciclos de retroalimentación se incorporarán en cada nivel del modelo LPDS, de modo que se puedan realizar ajustes inmediatos.



Figura 8. Esquema del Lean Project Delivery System

Fuente: Ballard, 2000

Como se observa en la *Figura 8*, el modelo LPDS está distribuido en cinco fases: Definición del proyecto, Diseño sin pérdidas (*Lean*), Abastecimiento sin pérdidas (*Lean*), Ejecución sin pérdidas (*Lean*) y Uso; estas cinco fases involucran la ejecución de 11 etapas o módulos que se enlazan entre sí para poder dar continuidad a las fases: Necesidades y valores (los objetivos), criterios de diseño, conceptos de diseño, diseño del proceso, diseño del producto, ingeniería de detalle, fabricación y logística, instalación en sitio, pruebas y entrega (puesta en marcha), pruebas y mantenimiento, y por último las alteraciones (modificaciones). Asimismo cubriendo las 11 etapas mencionadas se extienden los módulos de control de producción y trabajo estructurado. Además, el módulo de evaluación post-ocupación une el final de un ciclo con el siguiente proyecto generando así un ciclo de aprendizaje.

- **Trabajo Estructurado o Estructuración del trabajo.** La estructuración del trabajo sirve para indicar como se van a desarrollar los procesos en concordancia con el diseño, la estructura de la cadena de abastecimiento, la correcta asignación de recursos a emplear y los esfuerzos de ejecución; la estructuración del trabajo tiene como objetivo principal desglosar el proyecto en partes que garanticen un flujo efectivo de actividades y controlar la variabilidad en los procesos de transición entre los mismos, estructurar el trabajo nos permite conseguir flujos más confiables y rápidos con la finalidad de reducir o eliminar el desperdicio y añadir valor hacia el cliente.

Como se muestra en la *figura 8*, el modelo LPDS se presta para que la estructuración del trabajo sea aplicable durante todo el ciclo de vida del proyecto, en cada una de sus etapas, es así como la estructuración del trabajo define el plan a lo largo del proyecto.

- **Control de Producción.** El control de producción se encuentra presente dentro de las 5 fases y 11 módulos del proyecto, se aplica tanto en la fase de diseño como en la de ejecución y puesta en marcha, está basado fundamentalmente en la aplicación del *Last Planner System* o Sistema del Último Planificador como principal sistema de control de producción.

El control de producción se enfoca en el control de los flujos de trabajo y de las unidades de producción, para los flujos de trabajos podemos utilizar el formato *LookAhead* (ver ítem 2.4.4.) y para el control de las unidades de

producción podemos emplear los formatos de *planificaciones semanales* (ver ítem 2.4.4.).

El control de producción y la estructuración del trabajo son módulos que se complementan entre sí, puesto que por una parte un trabajo bien estructurado establecerá un buen plan de trabajo, y por otro, el control de la producción servirá para asegurar que el trabajo sea ejecutado según el plan, ambos recorrerán todas las fases que componen el proyecto desde la definición del proyecto hasta el uso.

- **Definición del proyecto.** Es la primera fase del LPDS la cual tiene como finalidad definir los objetivos (necesidades y valores de los interesados) del proyecto, traducir estos objetivos a criterios de diseño y luego poder generar conceptos de diseño para que los objetivos y los criterios sean analizados, probados y desarrollados.

La filosofía *Lean Construction* nos recomienda realizar un mayor esfuerzo en la alineación de los objetivos, criterios, conceptos, una mejor comprensión del caso del cliente (valor) y las exigencias de todos los interesados. No tomar en consideración las recomendaciones expuestas podrá significar la reducción significativa de la gama de alternativas de solución (Ballard y Zabelle, 2000).

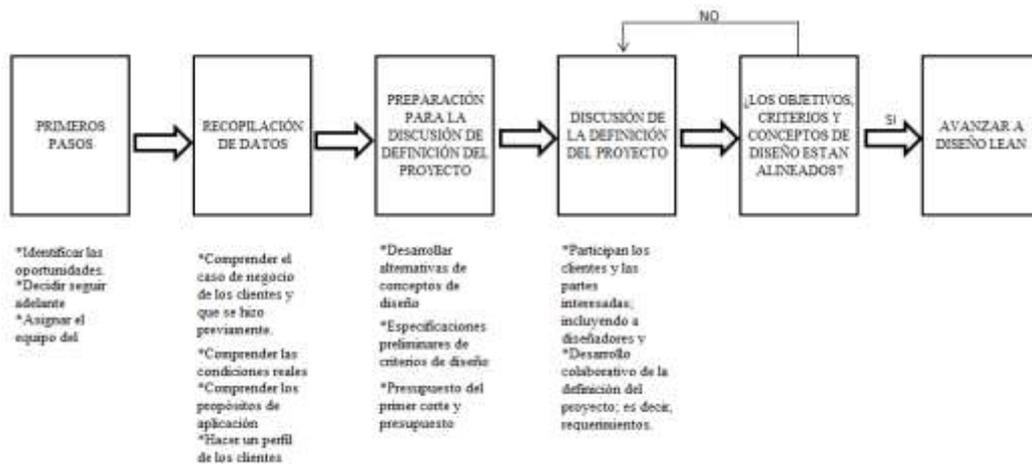


Figura 9. Proceso de la definición del proyecto

Fuente: Ballard y Zabelle, 2000

- **Diseño sin pérdidas o Diseño Lean (Lean Design).** Esta fase inicia cuando se llegan a completar los objetivos de la primera fase: alinear los intereses de todos los involucrados (ejecutor y cliente) con los criterios y conceptos del diseño.

El objetivo principal de la fase de diseño *Lean* es realizar un diseño pensando no solo en el producto final, sino también en todo su proceso constructivo, esta fase agrupa a tres módulos: diseño del proceso, diseño del producto y conceptos de diseño.

La filosofía *Lean* recomienda una serie de pasos y herramientas a emplear para poder llevar a cabo la etapa de diseño *Lean*. Ballard y Zabelle (2000) proponen:

- Organizar equipos multidisciplinarios, donde se propone que los proyectistas no trabajen de forma individual (aislada), sino que estos interactúen en reuniones con todos los involucrados y así tomar decisiones inmediatas de mejora para evitar pérdidas futuras.
- Realizar una estructuración del trabajo basándose en la filosofía *Lean*, se debe tener en cuenta todas las fases y módulos e involucrarlos en el proyecto desde la fase inicial. Se debe garantizar que el diseño del producto y el diseño del proceso trabajen de manera conjunta.
- Proponer alternativas de solución que generen valor hacia el cliente y beneficios hacia la empresa.
- Reducir las iteraciones negativas, usar el nuevo concepto de “*Pull* o jalar” la producción y no el concepto tradicional de “*Push* o empujar”, ver el proyecto de manera inversa, planificar del final hacia el inicio.
- Compartir la información en el momento adecuado, para que de esta manera los involucrados puedan crear diversas alternativas de solución inmediatas.
- Usar la herramienta *Last Planner System* (ver ítem 2.4.4.) tanto en la planificación como en la construcción del proyecto. Durante la etapa de diseño es recomendable contar con un coordinador general de diseño que

se encargue de repartir el trabajo entre los proyectistas, estableciendo fechas de entrega de avance de trabajo.

- Hacer uso de nuevas tecnologías, BIM (*Building Information Modeling*) es una de las nuevas herramientas que se viene usando con mayor frecuencia dentro del sector construcción, estas herramientas informáticas son muy útiles durante esta etapa ya que nos proporcionan información a detalle de cómo se está estructurando nuestro proyecto.
- **Abastecimiento sin pérdidas o Abastecimiento Lean (Lean Supply).** Esta fase está conformada por tres módulos: diseño del producto, ingeniería de detalle y la fabricación y logística. Durante la ejecución del diseño del producto se necesita que exista una completa coordinación entre los proyectistas, especialistas, proveedores de materiales y equipos, y los contratistas (o sub-contratistas) para abrir discusiones de tal forma que se puedan levantar de manera anticipada todas las restricciones que se presenten.

La ingeniería de detalle se refiere a todo el conjunto de especificaciones que podemos observar en los planos de detalle (especialidades), especificaciones técnicas, términos de referencia, cálculos, etc. Estos servirán para describir y formar una idea de cómo será el producto final, nos entrega una mejor idea de cómo se debe diseñar el proceso.

Fabricación y logística; los productos (materiales) y servicios sólo serán fabricados si son requeridos por el cliente, es decir que los productos y servicios solo serán entregados si existe una demanda real para así evitarse almacenamientos con el fin de satisfacer supuestas demandas de proceso a proceso.

- **Ensamblaje sin pérdidas o Ejecución Lean.** La fase de ejecución *Lean* se encuentra conformada por los módulos de fabricación y logística, instalación en sitio (ejecución) y pruebas y entrega (puesta en marcha). Inicia cuando llegan las primeras herramientas, materiales o piezas y culmina con la entrega del producto al cliente.

Se deben considerar elementos claves como la coordinación de llegadas y desarrollar técnicas de inspecciones de los procesos in situ y fuera de obra cuando se dé el caso.

Se considerará la utilización de herramientas del *Last Planner System* para realizar el control de todo el módulo.

- **Uso.** Esta última fase está conformada por las pruebas y entrega (puesta en marcha), explotación y mantenimiento, y alteraciones.

Esta fase contempla la entrega del producto al cliente final, lo que implica que el producto o servicio se sometió previamente a diversas pruebas para garantizar su calidad.

- **Ciclo de aprendizaje o evaluación post-ocupación (POE).** En el LPDS, el ciclo de aprendizaje es un lazo de retroalimentación que abarca desde el final de un proyecto hasta el inicio del siguiente (mejora continua).

Se presentan un conjunto de formas de retro-alimentación que promoverán el aprendizaje continuo durante todo el proceso de entrega del proyecto. Consiste en realizar una evaluación del proceso de entrega del producto después de que este se encuentre en uso.



Figura 10. Proceso tradicional del diseño

Fuente: Pons, 2014

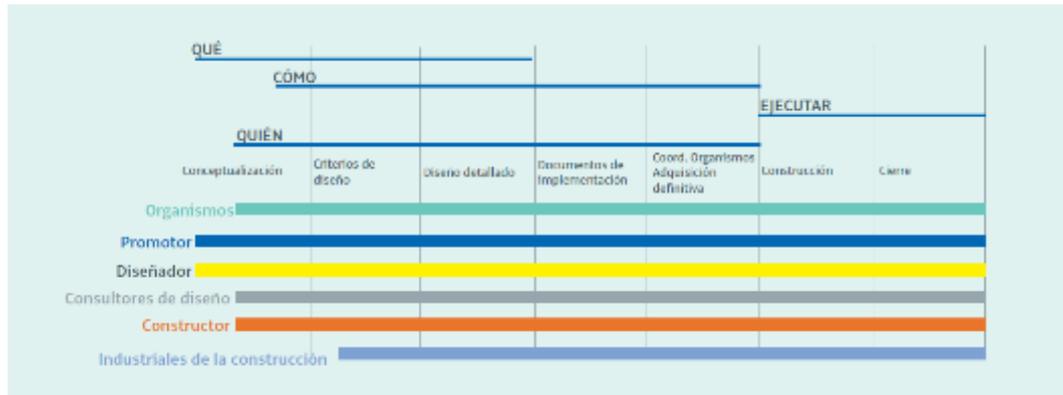


Figura 11. Proceso integrado del diseño

Fuente: Pons, 2014

### 2.3.4. ¿Es la construcción una industria diferente?

Koskela (1999) clasificó y definió las tres principales peculiaridades que se presentan en la construcción con respecto al sector industrial:

- Un proyecto de construcción tiene naturaleza única.
- Es algo único que se ejecuta en un lugar diferente (cada proyecto presenta características diferentes).
- Se ejecutará por una organización de carácter temporal, que en cada lugar necesitarán medios y recursos diferentes, propios de cada característica que presente.

Estas peculiaridades han sido las excusas perfectas empleados por profesionales de la construcción como motivos o razones cuando no han sido

capaces de alcanzar los objetivos con los mismos niveles de productividad, calidad, seguridad y tiempos en las entregas comparados con los niveles que se presentan en el sector industrial. Estas excusas han sido discutidas por el mismo Koskela (1999) y han ido perdiendo validez a medida que se fueron demostrando los beneficios y resultados de aplicar la filosofía *Lean Construction*.

Las diferencias entre ambos sectores existen y son aceptadas, pero no se aceptan como una restricción que justifique la dificultad de implantar la nueva filosofía *Lean*, sino se tiene que ver como un desafío que se deba abordar de manera definitiva en la industria de la construcción (Pons, 2014).

### **2.3.5. Implementar Lean Construction requiere romper paradigmas**

Las primeras reacciones al implementar *Lean* en el sector de la construcción causaron resistencia y exclusión, en una primera instancia *Lean Construction* fue mal interpretado y su aplicación a todas las partes que componen un proyecto así como el papel que desempeñaría cada involucrado en el proceso constructivo no fue bien entendido.

Todo esto fue cambiando a medida que se iban demostrando los resultados obtenidos y las ventajas competitivas en las que situaba a las empresas que empleaban la filosofía *Lean Construction* como principal sistema de gestión en sus proyectos. Mientras más empresas apostaban por implementar esta filosofía y

conforme surgían nuevos documentos técnicos y casos de estudio fue facilitándose la comprensión de la misma.

El cambio de sistema de trabajo en una empresa requiere de un gran esfuerzo por parte de todo el equipo de trabajo desde el inicio, este cambio involucra mayores esfuerzos en empresas que llevan operando bajo un mismo sistema (tradicional) durante mucho tiempo, para lograr este cambio es necesario romper los paradigmas tradicionales (ideas, pensamientos y creencias) incorporados en el personal, paradigmas que fueron aceptados sin ponerlas a prueba de un nuevo análisis.

Dicho de otra manera, llevamos tanto tiempo realizando las cosas de la misma forma que las llegamos a asumir como buenas, pero estas formas de trabajar se encuentran lejos de ser eficientes según los estándares actuales de competitividad a nivel mundial (Pons, 2014).

El principal problema que se presenta al implementar la filosofía *Lean Construction* es la resistencia al cambio presente en la mayoría de los involucrados en la ejecución del proyecto, desde la alta gerencia de la empresa hasta el personal obrero, presentarles una nueva forma de ver como ejecutar el proyecto genera rechazo, resistencia e indiferencia. El querer buscar nuevos métodos para mejorar la competitividad de la empresa es un bien necesario puesto que en el contexto global competitivo en el que nos encontramos hoy quedarse parado es retroceder. Es necesario entender que el éxito en el pasado no garantiza el éxito en el futuro y es responsabilidad de cada empresa iniciar el cambio.

**Tabla 3**

*Beneficios de Lean Construction*

<b>Informe sobre el estado de Lean en la Construcción en EE.UU. (2012)</b>	<b>Informe de MacGraw Hill Construction sobre la aplicación de Lean Construction (2013)</b>
Mejor cumplimiento del presupuesto	Mayor calidad en la construcción
Menor número de cambio de órdenes y pedidos	Mayor satisfacción del cliente
Rendimiento más alto de entregas a tiempo	Mayor productividad
Menor número de accidentes	Mejora de la seguridad
Menor Número de demanda y reclamaciones	Reducción de plazos de entrega
Mayor entrega de valor al cliente	Mayor beneficio y reducción de costes
Mayor grado de colaboración	Mejor gestión del riesgo

Fuente: Pons, 2014

Los informes presentados en el 2012 y 2013 – como se aprecia en la Tabla 3 sobre el estado de *Lean* en la construcción en EE.UU. y la aplicación de *Lean Construction* en proyectos de edificación respectivamente revela que entre un 70% y 85% de las empresas que ya han utilizado prácticas *Lean* han alcanzado un nivel alto o medio sobre su amplia variedad de beneficios. En la Tabla 4 se aprecia y distinguen los principales desafíos a los que se afronta al implementar la filosofía *Lean* tanto en personal que práctica las herramientas de gestión marcados por el mismo, como por el personal que no tiene en práctica ninguna herramienta *Lean*.

Según el informe presentado por McGraw Hill Construction, algunos casos de estudio también revelan beneficios específicos de la implantación de *Lean Construction* en sus proyectos (Pons, 2014):

- Un estudio del flujo de valor en la empresa Rosendin Electric, les costó 2000 dólares, pero ahorraron 50000 dólares en coste de personal a la empresa.

- Una coordinación activa de la empresa Boldt Construction en la instalación de paredes cabeceras prefabricadas en un Hospital redujo el número de horas/hombre por elemento instalado en más de dos tercios, de 24 a 7.

**Tabla 4**

*Desafíos y beneficios para la implementación de Lean Construction*

<b>Barreras para la implementación de Lean</b>	<b>Desafíos que afectan a quienes practican Lean</b>	<b>Desafíos que afectan a quienes no practican Lean</b>
Falta de conocimiento del significado de Lean y sus beneficios.	Falta de conocimiento (47%).	Falta de apoyo de la industria / Comprensión de Lean (39%).
Falta de formación.	Falta de apoyo suficiente a través del equipo de proyecto (43%).	Percepción de que Lean absorberá demasiado tiempo (33%).
Falta de compromiso por parte de propietarios y gerentes.	Percepción de que Lean es demasiado complejo (40%).	Falta de conocimiento (32%).
Creencia de que Lean absorberá demasiado tiempo.	Resistencia al cambio de los empleados (40%).	Preocupación de la rentabilidad a través de la transición hacia Lean (28%).
Pobre comunicación y falta de colaboración entre promotores, constructores, clientes y consultores externos.	Falta de apoyo de la industria / Comprensión de Lean (39%).	Percepción de que Lean es demasiado complejo (26%).
Dificultad para alinear los intereses de las diferentes partes.	Percepción de que Lean absorberá demasiado tiempo (31%).	Falta de apoyo suficiente a través del equipo de proyecto (25%).
Los contratos relacionales se ven como algo no probado aún en los tribunales de justicia.	Falta de normas o estándares (19%).	Falta de normas o estándares (18%).
Lean requiere de cambios de pensamiento que no todos aceptan.	Preocupación por la rentabilidad a través de la transición hacia Lean (9%).	Resistencia al cambio de los empleados (18%).
Falta de compromiso de los miembros del equipo o rechazo a cambios de actitud.	Reticencias sindicales (5%).	Reticencias sindicales (16%).

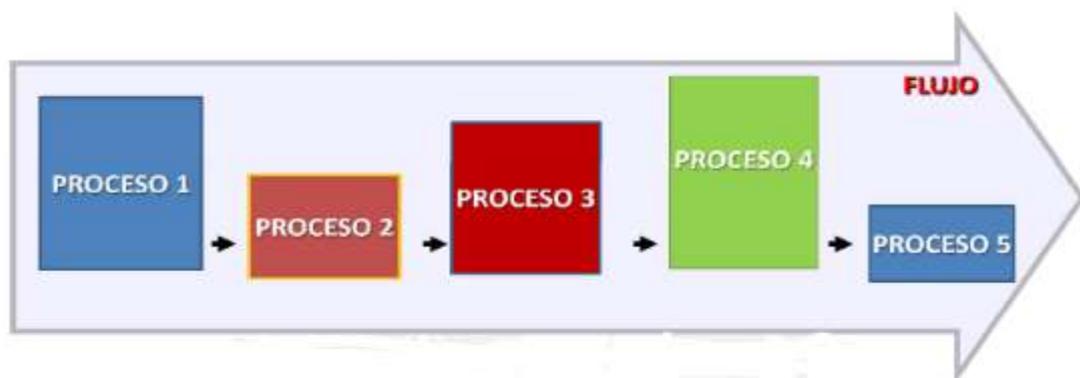
Fuente: Pons, 2014

### 2.3.6. Sistema de producción efectivo

La filosofía *Lean Construction* busca solucionar los problemas que se presentan en la metodología tradicional de construcción (modelo de entradas y salidas) en lo que respecta a tiempo, costos y productividad de las mismas, el método que propone para conseguir dichos objetivos es crear un sistema de producción efectivo, para conseguir este sistema es necesario cumplir 3 objetivos básicos de la filosofía *Lean Construction*.

#### 2.3.6.1. Asegurar que los flujos no paren

Dentro de esta etapa, que es la de mayor importancia en la filosofía *Lean Construction*, se propone centrarse en que los flujos sean continuos como se aprecia en la *Figura 8*. Esto se debe a que, al obtener flujos continuos, el trabajo no se detendrá y así podremos identificar las fallas que se presenten en cada proceso y los flujos entre estos mismos para así eliminarlos como medida correctiva.



*Figura 12.* Modelo de Flujo de Procesos según la Filosofía Lean Construction.

Fuente: Alarcón, 2013

Como se aprecia en la *Figura 12*, durante esta etapa se consigue que el proceso en general sea continuo, pero se observa que presentan pérdidas debido a que la capacidad de producción en cada proceso es diferente y por lo tanto los flujos también lo serán.

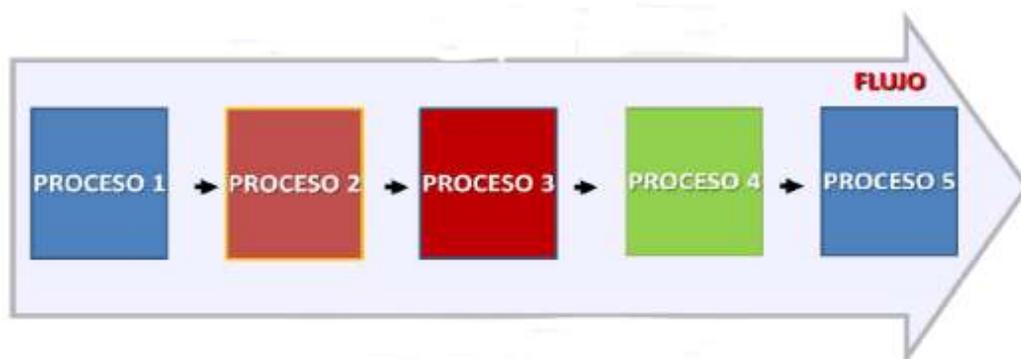
Como propuestas correctivas para conseguir este primer objetivo la filosofía *Lean Construction* propone 2 tipos de acciones a seguir, las cuales son el manejo y/o control de la variabilidad y la aplicación de la herramienta *Last Planner System*:

- Manejo de la variabilidad: presenta mayor importancia en proyectos de construcción de infraestructuras y que se encuentren alejados de las ciudades (el abastecimiento demandará mayor planificación), ya que en estas situaciones la variabilidad se presentará en un grado más elevado. *Lean Construction* propone controlar la variabilidad mediante el uso de buffers.
- Last Planner System: Esta herramienta tiene mayor impacto en proyectos de edificaciones donde la variabilidad es menor (proyectos repetitivos como construcción de edificios para oficinas y departamentos) y presentan características que los vuelven más controlable, este sistema permite asegurar que el plan de trabajo se ejecute con mayor probabilidad de éxito, esto quiere decir que se incrementará la confiabilidad del proyecto.

### 2.3.6.2. Lograr flujos eficientes

Este objetivo se tiene que cumplir para conseguir sistemas de producción efectivos, esto solo se logra dividiendo de forma equitativa el trabajo entre todos los procesos, para que de esta forma obtengamos flujos y procesos balanceados. Para conseguir que los flujos sean eficientes emplearemos los principios de física de producción y el tren de actividades, ver *Figura 13*.

- Física de Producción: Se emplean los conceptos de la teoría de restricciones, se busca balancear los procesos entre los flujos, ya que todo el sistema está restringido por los procesos que generen hasta el menor flujo y son dichos procesos los que determinarán la capacidad de producción del sistema.
- Tren de actividades: Propone dividir el trabajo en cantidades iguales que puedan ser ejecutados por cada proceso en un mismo tiempo, balanceando adecuadamente los recursos y estableciendo una secuencia lineal para las actividades.



*Figura 13.* Modelo de Flujo Eficiente según la Filosofía Lean Construction.

Fuente: Alarcón, 2003

Poner en práctica los principios mencionados nos dará como el modelo de flujo del sistema que se muestra en la *Figura 13*, donde se presenta un flujo continuo y simétrico entre los procesos cumpliendo así el segundo objetivo.

### **2.3.6.3. Lograr procesos eficientes**

Con los objetivos anteriores completados, el siguiente objetivo es conseguir el sistema de producción efectivo que busca la filosofía *Lean Construction*: conseguir procesos eficientes, el cual se conseguirá en base a la optimización de procesos con las herramientas que propone la filosofía *Lean*.

- Optimización de Procesos: Para lograr la optimización de los procesos Lean propone aplicar en cada proceso herramientas como las cartas balance y el nivel general de actividad, con la aplicación de estas herramientas podremos comprender el estado actual de los procesos y buscar la forma de optimizarlo.

## **2.4. Herramientas de Lean Construction**

### **2.4.1. Informe semanal de producción – ISP**

El informe semanal de producción es la sumatoria todos los recursos empleados por una cuadrilla en la ejecución de diferentes actividades durante el periodo de una semana laborable, estos reportes se llenarán a diario por cada

trabajador o cuadrilla existente en el proyecto, deberán reflejar la actividad que han estado realizando, y las horas que les ha tomado realizar dicha actividad.

El responsable del correcto llenado de los formatos será el capataz del frente de trabajo, se colocarán los metrados reales ejecutado en campo y serán comparados con los metrados teóricos de avance de obra dependiendo de la actividad a ejecutarse. La diferencia entre ambos representará el estado en el que se encuentra el proyecto en lo que se refiere al aprovechamiento de los recursos empleados en la ejecución de las diferentes actividades.

Estas diferencias son normalmente aceptadas, debido a la gran variabilidad que se presentan en las actividades debido a la complejidad del proyecto en sí.

El reporte diario o parte diario de producción, deberá constar de dos datos muy importantes para la obtención de resultados más certeros, deberá indicar todas horas empleadas en la ejecución de una actividad sin despreciar actividades contributorios y no contributorios, y el metrado obtenido al finalizar la jornada. Este parte diario de producción responde a una programación diaria (ver ítem 2.4.4) con el cuál es comparado para posteriormente identificar cuáles son las causas que generan variabilidad en el caso de no cumplirse.

## 2.4.2. Curvas de productividad

Las curvas de productividad son unas gráficas que nos permiten observar de manera más sencilla los resultados que nos arroja el Informe Semanal de Producción (ISP de ahora en adelante). Se realiza una curva de productividad por cada partida del presupuesto. Por la complejidad del proyecto y la cantidad de partidas existentes se buscó asociar en grupos de partidas con el mismo rendimiento. Por ejemplo, las partidas de acero de refuerzo en escaleras, acero de refuerzo en losas aligeradas y todas las partidas de acero de refuerzo tienen el mismo rendimiento según el presupuesto, este grupo de partidas conformarían una curva de productividad. En el eje de las abscisas se coloca los días y en el eje de las ordenadas se coloca los rendimientos obtenidos en cada día de evaluación.

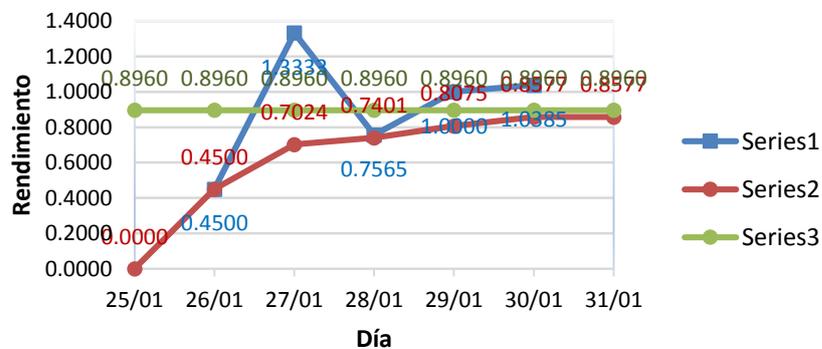


Figura 14. Curva de productividad semana 05, partida Encofrado de Muros de Sostenimiento.

Fuente: Elaboración propia.

### 2.4.3. Cartas balance

La carta balance es una herramienta que a partir de datos estadísticos, describe de forma detallada el proceso de una actividad para así buscar identificar cuáles son las actividades que no agregan valor y lograr su optimización.

Es una carta balance se toma un intervalo de tiempo corto (en este caso cada minuto) la actividad que está realizando cada obrero que conforma la cuadrilla a ser evaluada por un periodo de tiempo.

Estas actividades son divididas en los tres tipos de trabajo: Trabajo Productivo (TP de ahora en adelante), Trabajo Contributorio (TC de ahora en adelante) y Trabajo No Contributorio (TNC de ahora en adelante).

CHM		CARTA BALANCE	
Obra: Hospital Regional Moquegua		Hora de inicio: 08:30	F 0004
Fecha: 13/01/2016		Hora de término: 09:30	
Actividad TARRAJEO FROTACHADO EN MUROS INTERIORES - E2			
<b>Trabajadores involucrados:</b>	<b>Cod Trabajo Productivo</b>	<b>Cod Trabajo Contributorio</b>	<b>Cod Trabajo No Contributorio</b>
A: SILVA VILCA MANUEL	1 COLOCACIÓN DE PUNTOS 0	7 ARMADO DE ANDAMIO 0	13 LIMPIEZA HERRAMIENTAS 0
B: MINA CRUZ DIONICIO PANILRA AGUILAR	2 PREPARACIÓN DE MEZCLA 26	8 PICADO/LIMPIEZA 0	14 VIAJE/HERRAMIENTAS 21
C: RICARDO	3 COLOCACIÓN DE MEZCLA 66	9 TRASLADO DE MATERIAL 53	15 DESCANSO 7
D:	4 ACABADO 0	10 PAÑETEO PRELIMINAR 0	16 LIMPIEZA DE DESPERDICIOS 0
E:	5 0	11 SACANDO ARENA 0	17 TIEMPO DE ESPERA 7
F:	6 0	12 0	18 TRABAJO HECHO 0
G:	Total 92	Total 53	Total 35
H:			

Figura 15. Carta balance de partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la *Figura 15*, la cantidad de obreros a utilizar en la medición puede variar dependiendo del tipo de actividad a la que se realice la carta balance. Se debe considerar cuadrillas con un número significativo de obreros para así poder obtener resultados que reflejen mejor la realidad de la actividad, pero tampoco se debe de realizar la medición a un número excesivo de obreros ya que esto sería demasiado difícil y engorroso de realizar y como consecuencia se obtendrán resultados fuera de la realidad de la actividad.

Se debe de tratar de cubrir las actividades críticas o que demanden una evaluación a detalle para identificar cuáles son las causas que generan pérdidas. Para obtener datos estadísticamente validos se deben de cubrir las actividades la mayor cantidad de tiempo posible, si bien es cierto en algunas actividades no es necesario cubrirlas en toda la jornada laboral debido a que son actividades repetitivas y con una medición en un horario crítico sería suficiente, por otro lado existen partidas que varían mucho el tipo de actividades que realizan durante el día, por ejemplo una cuadrilla de encofradores de muros de sostenimiento durante las primeras horas de la jornada se dedican a desencofran y en las últimas horas encofran.

Para complementar las mediciones realizadas es necesario repetir en una misma actividad más de una medición, esto con el fin que los datos obtenidos sean más confiables. Se tiene que dar equilibrio a las mediciones, para esto se debe buscar que las cuadrillas evaluadas estén bajo las mismas condiciones o lo más

semejantes posibles en cada una de las mediciones realizadas, esto con el fin de sincerar los resultados y aumentar la confiabilidad de las mismas.

El objetivo principal de la Carta Balance es analizar si la cuadrilla en estudio se encuentra bien balanceada, también se puede analizar la eficiencia del método constructivo empleado. No mide la eficiencia de los obreros que conforman las cuadrillas ni pretende conseguir que los obreros trabajen más duro, la carta balance busca que trabajen de manera más inteligente.

#### **2.4.4. Last Planner System.**

El *Last Planner System* o Sistema del Último Planificador es una de las principales herramientas que conforman la filosofía *Lean Construction*, se ubica dentro del LPDS dentro la fase de control de la producción y a su vez incluye otras herramientas de control de producción como lo son: la planificación maestra (plan master), planificación por fases, *LookAhead* o planificación intermedia, análisis de las restricciones, plan semanal de producción, porcentaje del plan completado (PPC) y causas de no cumplimiento (CNC).

Fue desarrollado y difundido por Hernan G. Ballard y Gregory A. Howell, el sistema del último planificador se enfoca en mejorar el control de la variabilidad de los proyectos aumentando la fiabilidad de la planificación (maestra, intermedia y corto plazo), consiguiendo de esta manera mejorar el desempeño de los mismos,

esto se logra mediante la reestructuración de los sistemas de planificación tradicionales.

Planificar adecuadamente se convierte en uno de los métodos más efectivos para incrementar la productividad, lo cual mejora la producción mediante la eliminación de todo tipo de desperdicios, se realizan las actividades en la secuencia más adecuada y se coordina la interdependencia de las múltiples actividades por ejecutar (Botero y Álvarez, 2005).

El sistema del último planificador es posiblemente la herramienta más difundida dentro de la filosofía *Lean Construction*. Se define como último planificador a la persona o grupo de personas que tienen las funciones específicas de designar el trabajo y transmitirlo directamente a las unidades de producción, es decir, que están en el último nivel de planificación y son los encargados de que toda la planificación se transmita efectivamente a los trabajadores de campo (sección operacional).

En la *Figura 16* se muestra la principal función del último planificador, el cual es conseguir que lo que queremos hacer coincida con lo que realmente podemos hacer, y finalmente ambos se conviertan en lo que vamos a hacer (Ballard, 2000).

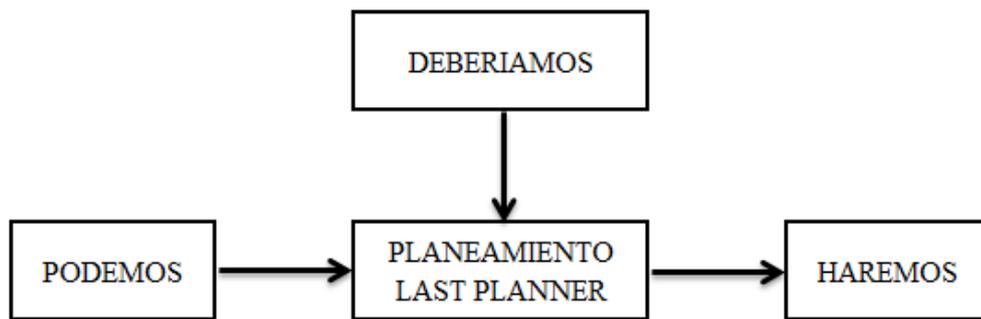


Figura 16. Formulación de la asignación en el planeamiento Last Planner

Fuente: Ballard, 2000

El último planificador es el responsable de proporcionar las herramientas necesarias para que la planificación a largo plazo o plan maestro sea cumplido con éxito, comienza acortando el plan maestro en una planificación de mediano plazo denominado “*LookAhead*” el cual tendrá un rango de tiempo de entre 3 a 6 semanas, además es aquí donde se procede a realizar el análisis de restricciones que se encuentren a las actividades dentro del programa y luego se pasa a una programación más detallada (programación semanal), donde se consideran todas las actividades sin restricciones (inventario de trabajos ejecutables) extraídas del *LookAhead*, esto permite que se pueda tener la certeza de que no existirán restricciones para completar la programación establecida en la semana.

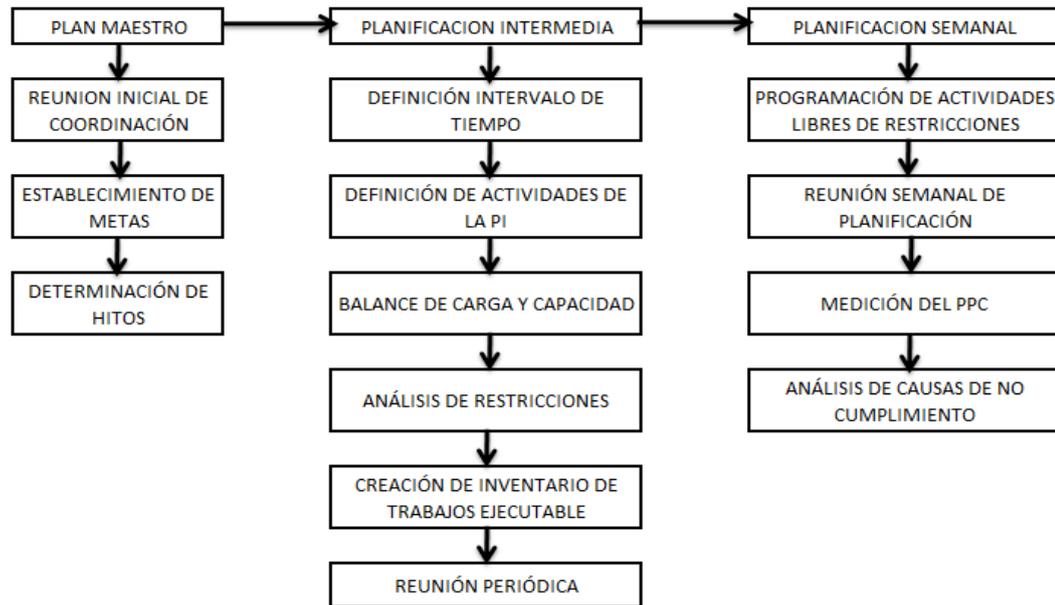


Figura 17. Estructura fundamental del Last Planner System

Fuente: Ballard, 2000

#### 2.4.4.1. Plan maestro

El plan maestro es la planificación inicial, que proporciona las directrices de coordinación de todas las actividades que conformen la ejecución del proyecto, revisar Apéndice A, este plan le asigna fechas a los objetivos trazados, es decir, el plan maestro es el encargado de establecer las metas (objetivos) que se quieren conseguir del proyecto y su vez se emplea para lograr identificar los hitos de control del proyecto. La elaboración del plan maestro debe contener información actualizada que represente el desempeño real que tiene la empresa para los diferentes tipos de proyecto que ejecutarán. Dentro de un proyecto de construcción se manejan dos planes maestros, el plan maestro interno que manejará el equipo de dirección del proyecto y el plan maestro contractual que es el que se le presenta al

cliente en el que generalmente se elabora con cierta holgura en las estimaciones de duraciones de las actividades.

La estructuración del trabajo se determina subdividiendo el programa en varias partes agrupando las actividades en relación a las especialidades, estableciendo un orden coherente en la secuencia de ejecución de las actividades.

Esta etapa es de vital importancia para que el LPS proporcione los beneficios esperados, se debe contar con un equipo de trabajo con amplia experiencia en el sector construcción y así lograr un plan maestro lo más cercano a la realidad a la hora de ejecutar el proyecto.

Su implementación puede llevarse a cabo mediante diversas herramientas computacionales (diversas variedades de software como el Primavera, Ms Project, Impera, BIM, etc.) o tradicionales, teniendo en consideración las características del proyecto y las capacidades y comodidad del personal responsable de la elaboración del mismo.

Según expresa Ghio (2001):

“Para obras de mediana y alta complejidad, el cerebro del ser humano resulta ser demasiado pequeño para visualizar las condiciones de borde y los cientos de problemas que pueden afectar la planificación general de la obra. Por esto recomendamos dividir la planificación en porciones de obra más pequeñas,

más manejables. Sin embargo, hoy en día existen herramientas computacionales que resuelven estos problemas y nos permiten visualizar la obra en su conjunto ya sea con modelos 3D, 4D o con hologramas tridimensionales de la obra a ser ejecutada, antes de haber movido una sola piedra. Al contar con herramientas computacionales adecuadas, sí es factible planificar toda la obra a detalle e incluso probar diferentes alternativas constructivas antes de iniciar los trabajos (p. 107)”.

Los pasos necesarios para la generación de un plan maestro son: metrados de partidas, definición de los métodos constructivos a emplear, cálculo de velocidades para cada actividad en función de la tecnología seleccionada, cálculo de hitos intermedios, así como de la magnitud de los recursos necesarios, y por último generación del plan maestro (Ghio, 2001):

- **Paso 1:** se calcularán los metrados por tipo de trabajo o trenes de actividades identificados. Es importante no asociar los metrados en grandes paquetes de partidas; el concreto por ejemplo; ya que las velocidades y las unidades de producción básicas en cada una de las partidas serán diferentes; las velocidades de concreto en muros, columnas, vigas y losas serán diferentes a las velocidades de concreto en columnetas, viguetas y escaleras; y por consiguiente los resultados obtenidos a la hora de realizar las mediciones en campo no reflejarán lo previsto en el plan maestro.

- **Paso 2:** Se determinará la tecnología a emplear en el proyecto. Las velocidades de producción de cada unidad básica estarán directamente afectadas por la tecnología a utilizar (contratar concreto premezclado aumentará la velocidad de producción en la cuadrilla de concreto de losas en comparación con elaborar el concreto en obra).
- **Paso 3:** se determinará la cantidad de recursos por unidad de producción. Se debe conocer la cantidad de equipos y la composición de cuadrillas necesarios para cada unidad de producción.
- **Paso 4:** Se procederá a realizar el cálculo de la duración de cada actividad en función a las cuadrillas designadas y la tecnología seleccionada. Es importante determinar la velocidad de producción de cada cuadrilla por día, ya que el enfoque de la planificación estará enfocado en eliminar tiempos muertos mediante la asignación de solo una actividad a cada cuadrilla. Las velocidades de producción se obtendrán de la experiencia del equipo encargado de elaborar el plan maestro o de la estimación ingenieril de la misma.
- **Paso 5:** Se ajustará el número de unidades de producción para que las relaciones de precedencia y término de los diferentes trenes de actividades cumplan con los plazos establecidos.

#### **2.4.4.2. Planificación intermedia (LookAhead)**

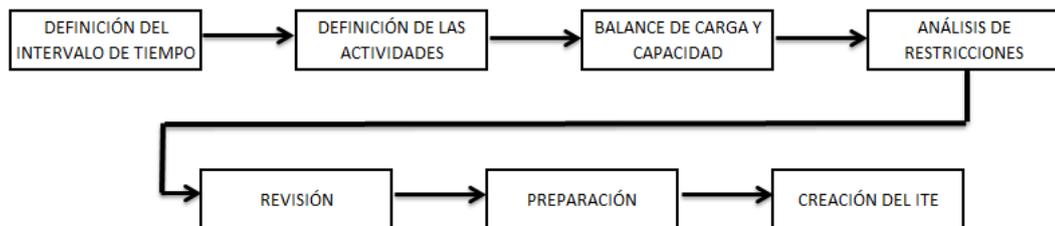
Este término inglés define a una planificación con 3-6 semanas de anticipación con respecto al trabajo que se conduce en ese momento en obra. El *LookAhead* está diseñado para ser capaz de conseguir que los recursos como materiales, personal obrero, equipos, información e ingeniería se encuentren habilitados con anticipación para completar las tareas sin problema alguno (Ghio ,2001).

La planificación intermedia o *LookAhead* es un intervalo de tiempo, que permite tener una primera idea de estado en el que se encuentran las actividades que serán programadas, esto permite trabajar en las liberaciones de las restricciones que afecten al desarrollo de las actividades de las semanas próximas y de las cuales se extraerán las actividades libres de restricciones quienes conformarán la planificación semanal entrante, en el Apéndice C podemos observar los *LookAhead* elaborados para el mes de Julio.

La principal función que tiene realizar una planificación intermedia es el control del flujo de trabajo, se busca obtener que los flujos no paren. La idea principal es que el trabajo tenga una mejor secuencia y así evitar los tiempos muertos o desperdicios de las unidades de producción.

Así como el control de la unidad de producción controla la unidad productiva, el control del flujo de trabajo controla el traspaso de los trabajos entre

las diferentes unidades de producción. El proceso para la implementación de la Planificación Intermedia puede ser dividido en siete etapas que se esquematizan en la *Figura 18* (Alarcón ,2008).



*Figura 18.* Proceso de Planificación Intermedia

Fuente: Alarcón, 2008

- **Definición del intervalo de tiempo:** Dependiendo del tipo de proyecto a controlar, se tiene que definir el intervalo de tiempo que abarcará el plan intermedio o *LookAhead*. En proyectos de construcción generalmente se emplean intervalos de 3 a 6 semanas, en cambio, para proyectos en donde los procesos tienen duraciones más prolongadas, este periodo se puede ajustar según la necesidad para poder analizarlos de forma completa.
- **Definición de las actividades:** Toda actividad que se encuentre dentro del periodo establecido tiene que ser trasladado desde el plan maestro hacia el plan intermedio (*LookAhead*). Una vez obtenido el listado de actividades intervinientes en el periodo establecido se inicia el proceso de revisión de las mismas para poder identificar todos los detalles de ejecución y las posibles restricciones.

- **Balance de carga y capacidad:** La carga de trabajo representa la cantidad de trabajo asignado a cada unidad de producción en un determinado tiempo. La capacidad representa la cantidad de trabajo que puede lograr realizar cada unidad de producción en un determinado tiempo. Es aquí donde los últimos planificadores toman un papel importante, revisando el listado de actividades y determinar si los recursos necesarios para su ejecución estarán disponibles.
- **Análisis de restricciones:** Luego de proceder a identificar las restricciones, se empieza a definir una estrategia de trabajo para liberar cada restricción encontrada. Es aquí donde se definen a los responsables de cada restricción y se establecen plazos límites para su liberación.
- **Revisión:** En este proceso se definen el número de actividades con restricciones que podrán ser liberadas dentro del plazo para poder incluirlas en el periodo de *LookAhead*, las actividades que no lleguen a ser liberados en su totalidad en el plazo determinado tendrán que ser reprogramadas.
- **Preparación:** Durante esta etapa se gestionan las acciones necesarias para liberar las restricciones encontradas dejándolas listas para poder iniciar. El responsable de cada liberación tiene que confirmar el plazo de respuesta de los demás implicados que le ayudarán a liberarla. En caso de que los plazos de respuesta sean demasiado prolongados y excedan el plazo previsto, se tendrá que tomar acciones inmediatas y asignar más recursos a la liberación o reprogramar la actividad y reemplazarla por una actividad *buffer*.

- **Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE):** Las actividades que están dentro del inventario de trabajo ejecutable son las actividades que se encuentren libres de restricciones, por lo que se consideran actividades con una alta probabilidad de ser completadas. Contar con un ITE es tener un stock de actividades (*buffers*) listas para iniciar en caso de que algunas unidades de producción terminen antes de tiempo sus objetivos o por si se presenta algún problema imprevisto que impida su ejecución. De esta forma se puede mantener un flujo continuo de actividades.

#### **2.4.4.3. Planificación semanal**

La planificación semanal o el plan de trabajo semanal es la planificación que presenta el mayor nivel de detalle antes de la ejecución de las actividades. El LPS pretende incrementar la calidad de la planificación semanal el cual cuando se combina con la planificación intermedia generan el control del flujo de trabajo.

Dentro de la planificación semanal se define lo que “se hará” durante la semana entrante en función de los objetivos completados en la planificación semanal finalizada, las actividades que no se pudieron completar en la semana finalizada son reprogramadas y evaluadas para poder incluirlas en la semana entrante. Las actividades a realizar tienen que formar parte del ITE definido en la planificación intermedia. De esta manera se protege de la variabilidad al flujo de producción y se crea un flujo de trabajo confiable tanto para la unidad de

producción que ejecutará las actividades de la planificación semanal, como para las actividades próximas en la misma línea de trabajo (Echegaray, Jara y Ramos, 2009).

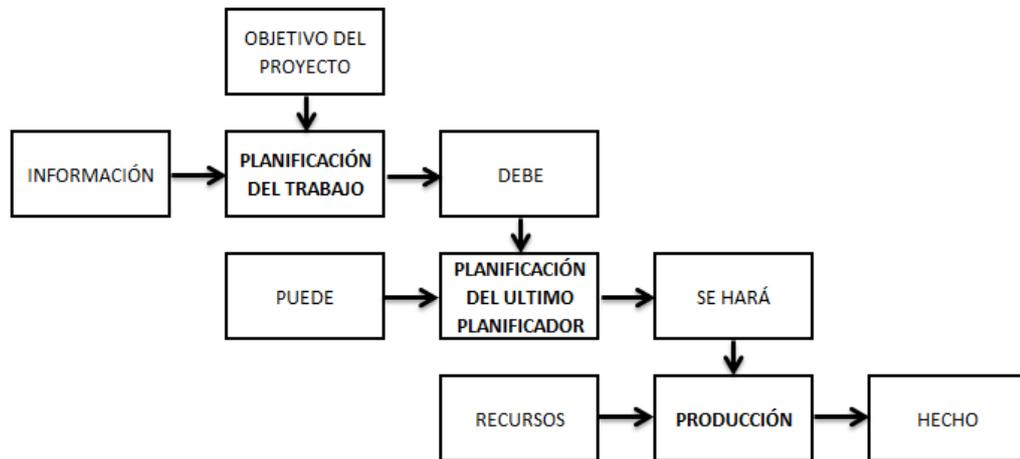


Figura 19. Proceso de Planificación Semanal

Fuente: Alarcón, 2008

Dentro de este proceso el papel que desempeñan los últimos planificadores es de suma importancia, ya que de ellos depende que el inventario de actividades seleccionado *puede* ser completado en su totalidad, ya que solamente de esta forma se podrá construir un flujo de trabajo confiable con un alto desempeño del sistema de producción. Se hace un hincapié en esto debido a que todo el LPS se basa en los compromisos de los últimos planificadores, que debido a su naturaleza, están altamente sesgados por un factor humano sujeto a una gran variabilidad, por lo que es importante que ellos adquieran compromisos para realizar actividades planificadas a conciencia, siempre que exista la seguridad de que están libres de restricciones. Sólo de esta manera se logra dar confianza al flujo de producción protegiéndolo de la variabilidad en los procesos (Cisterna, 2013).

Las características que engloban la realización de planes acertados de trabajo semanal son:

- Una correcta elección de las secuencias de trabajo a ejecutar, en función con el plan maestro realizado, planes de ejecución y constructabilidad de los últimos planificadores.
- Una correcta selección de la cantidad de trabajo, teniendo en cuenta la capacidad de trabajo de las unidades de producción que intervendrán en la ejecución de las actividades.
- La definición precisa del trabajo que se realizará y del que podrá hacerse, de esta forma se garantiza de que todos los pre-requisitos (restricciones) se han levantado y que se cuenta con los recursos necesarios para tal fin.
- La secuencia de ejecución de las actividades planificadas debe ser lógica. Las asignaciones se deberán realizar a partir de aquellas que son consideradas “legítimas” en orden de prioridad y ejecución.
- Todas las restricciones fueron, las unidades de producción tendrán todos los recursos necesarios para iniciar sus actividades sin problema alguno.
- La medición del desempeño del sistema de planificación se da con el indicador obtenido del porcentaje de plan completado (PPC).

- Se deberá realizar las investigaciones, discusión y análisis de las causas de no cumplimiento (CNC) de las actividades que no completaron los objetivos trazados.

El LPS necesita medir el desempeño de cada uno de los planes de trabajo semanal realizados, para así poder estimar su nivel de confiabilidad. Esta medición, que representa el primer paso para identificar las fallas e implementar mejoras inmediatas, se realiza a través del PPC (ver ítem 2.4.6), que muestra el número de actividades completadas divididas por el número de actividades planeadas para la semana evaluada. De esta forma, el PPC evalúa hasta qué nivel el sistema del último planificador pudo anticiparse al trabajo que se haría en la siguiente semana, el PPC compara lo que se ha hecho contra lo que fue programado, reflejando así la fiabilidad del sistema de planificación (Botero y Álvarez, 2005).

#### **2.4.5. La teoría de las restricciones**

Dentro de la creación del plan intermedio se obtiene un grupo de actividades para un plazo determinado. Cada una de estas actividades trae un conjunto de restricciones, que determinarán si la actividad puede o no ejecutarse. Entendamos por restricción a cierta causa que limita de manera parcial o completa la ejecución de una actividad. Las restricciones implican requisitos previos o recursos, en el Apéndice D podemos apreciar el formato a emplearse durante el periodo de implementación del presente trabajo de investigación.

Las restricciones más comunes dentro de la construcción son:

- **Diseño:** Comprende a todas aquellas partidas que no fueron consideradas dentro del plan maestro, ya sea por incompatibilidades de ingeniería, falta de experiencia de los creadores del plan maestro (omisión de actividades) o por cambios durante la etapa de ejecución.
- **Materiales:** La restricción más común dentro de un proyecto de construcción es la falta de stock de materiales en obra (problemas logísticos), al no contar con los recursos necesarios se generan cambios en los planes de trabajo que termina traducéndose en pérdidas.
- **Mano de obra:** Se tiene que tener claro la cantidad de mano de obra a emplear en la realización de una actividad y de la capacidad de los mismos.
- **Equipos y herramientas:** Se refiere a tener a disponibilidad los equipos y herramientas necesarios para ejecutar una actividad dentro las fechas programadas.
- **Prerrequisitos:** Se refiere a que las actividades predecesoras deberán completarse dentro de los plazos establecidos y así dar inicio a la nueva actividad sin problema alguno. Dentro de obra se le conoce restricción de “*cancha*”.

- **Calidad:** Se refiere a la existencia de un plan de control de calidad dentro de la empresa para así evitar repeticiones. En caso de existir, se deberá detallar previamente a la ejecución de una actividad que requisitos son los mínimos exigidos para que esta inicie y evaluarlos posteriormente.

Para el inventario de partidas especiales, pueden existir restricciones de otros tipos a los mencionados anteriormente, como por ejemplo realizar inspecciones especializadas, solicitud de permisos especiales, ensayos de laboratorio, etc. Para este tipo de restricciones especiales, también se las tienen que incluir dentro del cuadro de análisis de restricciones y buscar su liberación en los plazos establecidos considerando las características especiales de cada una.

Cada actividad contará con un responsable de la ejecución y un responsable de realizar el seguimiento de las restricciones. Ambos serán los responsables directos de liberar todas las restricciones identificadas y así poder asegurar el inicio y fin de las actividades en los plazos establecidos.

El análisis de restricciones es representado esquemáticamente como una tabla que listan las potenciales asignaciones y las respectivas limitaciones de ejecución, cada categoría de restricción proporciona una indicación de quien puede involucrarse en la remoción de estas, todo lo anterior ayuda a una identificación y rastreo sistemático del estado de las restricciones en las asignaciones.

En análisis de restricciones no solo significa colocar un “sí” o un “no” en las actividades planificadas, ya que detrás de este análisis existen dos procesos claves para poder liberar las restricciones, los cuales son:

- **Revisión de las restricciones:** Se trata de determinar el estado en el que se encuentren todas las actividades del plan intermedio en función a las restricciones y la capacidad para poder levantarlas antes del inicio de la actividad programada, partiendo de esta revisión se procede a determinar si la actividad está disponible, necesita ser adelantada o retrasada de acuerdo a los plazos declarados en el plan maestro, este proceso representa la primera oportunidad que se presenta para iniciar a conformar el flujo de trabajo esperado ya que se cuenta con el conocimiento de la existencia de actividades que no podrán ser ejecutadas por contar restricciones que lo impiden.

Según Alarcón (2003) “la revisión se realiza primero cuando las actividades son consideradas para ingresar al plan intermedio. Teniendo en cuenta los diferentes tiempos de respuesta que presentarán los proveedores de cada una de las restricciones que son necesarias para visualizar una futura liberación”.

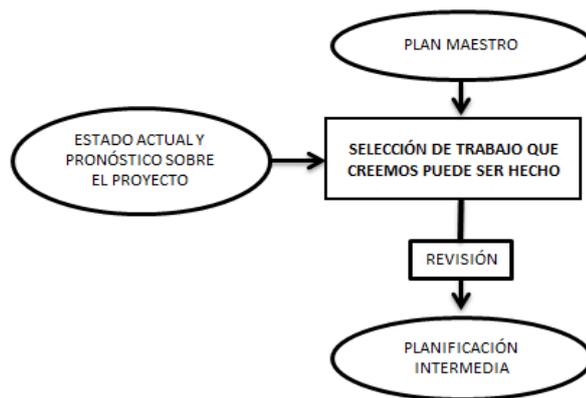


Figura 20. Esquema del concepto de revisión

Fuente: GEPUC, 2010

- Preparación de liberación de restricciones:** Hace referencia a iniciar las acciones necesarias para poder eliminar las restricciones o limitaciones que presenten las actividades, para que así estén lista para iniciar los trabajos en las fechas establecidas. El último planificador puede remover los impedimentos de ejecución de una actividad y dejarla lista para ser asignada. Esta acción se conoce como preparación (*make ready*).

El liberar las restricciones está directamente relacionado con el “tiempo de respuesta” que presenten los proveedores involucrados de los diferentes tipos de recursos a emplearse, es por esto que es importante determinar quién será el proveedor de la entrada y cuánto será el tiempo de respuesta que presentará, el cual debe tendrá que ser menor del tiempo que se tiene en la planificación intermedia o la actividad no podrá ser considerada en este.

Sin embargo, siempre se presentarán situaciones imprevistas por lo que la comunicación con los proveedores jugará un papel fundamental dentro de este proceso, de ser necesario hay que “apresurar” si el tiempo de respuesta anticipado será demasiado largo, se deberá asignar recursos adicionales para poder reducir las brechas.

El objetivo fundamental es liberar a las actividades de todas sus restricciones que impidan que estas se desarrollen según los plazos establecidos. Una vez realizado esto, recién se tendrán las condiciones para crear un listado de actividades que presenten una probabilidad elevada de ser completadas.

#### **2.4.6. Porcentaje de plan completado – PPC**

El desempeño del plan semanal o plan de corto plazo del LPS se evalúa con un indicador denominado Porcentaje de Plan Completado (PPC de ahora en adelante). Este indicador mide si los avances comprometidos por los últimos planificadores se lograron completar durante el plazo planificado. Se obtiene dividiendo el número de compromisos alcanzado entre el número de compromisos totales considerados en el plan semanal, ver Ecuación 1, obteniendo así un indicador en unidad de porcentaje (Alarcón, 2008).

$$PPC = \frac{N^{\circ} DE COMPROMISOS ALCANZADOS}{N^{\circ} TOTAL DE COMPROMISOS} \times 100\% \quad \text{Ecuación 1}$$

Este indicador mide la confiabilidad que presentan las actividades programadas en función a lo que realmente se logró (HECHO) con lo que se pensaba lograr (SE HARÁ). En la *Figura 21* se muestra el proceso a seguir para la correcta obtención del PPC en obra.



*Figura 21.* Proceso de obtención de PPC

Fuente: Alarcón,2008

El término “control” se ha redefinido dentro de la teoría del *Lean Construction* como la acción de “asegurarse que las cosas sucedan”, lo que significa realizar las acciones mencionadas anteriormente. Este “control” se realiza con anterioridad, teniendo como objetivo el de aumentar la confiabilidad de las asignaciones. El PPC es un indicador muy útil que ayuda a la identificación de restricciones, facilita el mejoramiento continuo de la confiabilidad de la planificación y como consecuencia mejora el desempeño del proyecto.

#### **2.4.7. Causas de no cumplimiento – CNC**

Una Causa de No Cumplimiento (CNC de ahora en adelante) es la razón por la que una actividad no pudo ser completada o la razón por la cual las metas comprometidas del último planificador no pudieron ser alcanzadas. Deberán ser

reportadas por los últimos planificadores en cada reunión de evaluación de productividad, identificando y clasificando los orígenes de estas.

La identificación de CNC es una herramienta que sirve para identificar y clasificar las fallas dentro del sistema e implementar soluciones inmediatas, ya que las CNC no solo pueden ser fallas en el personal, logística, abastecimiento de materiales, ingeniería de detalle o causas externas al proyecto, sino que también pueden ser fallas en la ejecución del trabajo programado, pueden provenir de deficiencias existentes en el nivel organizacional, de procesos o de funciones. Esto ayudará a garantizar un flujo de trabajo continuo.

Algunos ejemplos comunes de CNC son:

- Mala programación de actividades.
- Logística.
- Equipos y maquinarias.
- Mano de obra.
- Atraso en entrega de planos.
- Re-trabajos por mala ejecución.

- Otros.

El propósito de reportar y analizar las CNC es aprender de ellas para no volver a cometer los mismos errores de planificación en los futuros periodos. Esta acción se denomina mejora continua.

## **CAPÍTULO III**

### **IMPLEMENTACIÓN DE LA FILOSOFÍA LEAN CONSTRUCTION**

#### **3.1. Caso de estudio**

##### **3.1.1. Información general del proyecto**

El proyecto del nuevo Hospital de Moquegua con código SNIP 71957 está ubicado al noreste de la ciudad de Moquegua como se observa en la *Figura 22*, en la avenida Simón Bolívar, en el mismo lugar donde funcionaba el antiguo hospital regional.

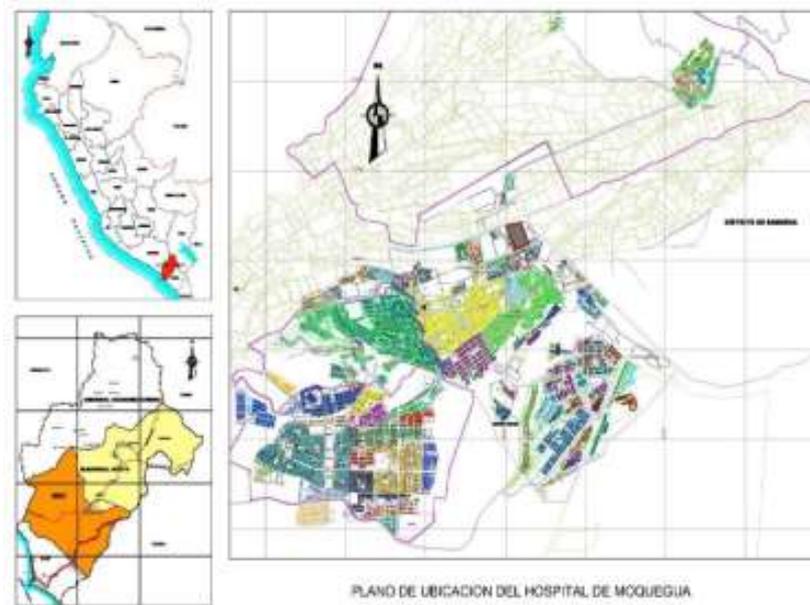


Figura 22. Plano de ubicación del proyecto

Fuente: Elaboración propia

El proyecto comprende la construcción integral de la infraestructura física del Hospital de categoría II-2, con la finalidad de mejorar la oferta de servicios de salud de la Red Moquegua, cuyo programa de inversión contempla dotarlo de 88 camas hospitalarias más 06 camas para aislados, con un área construida total de 31 438,50 m<sup>2</sup> (ver Tabla 5).

El terreno es de forma regular y tiene un frente de 200,69 m. a la avenida Simón Bolívar y un área asignada para la construcción del Hospital de 39 822,22 m<sup>2</sup>. Su zonificación corresponde a la determinada en la normativa para Establecimientos de Salud.

El diseño arquitectónico se puede resumir en 5 sectores, divididos a su vez en sub sectores longitudinales paralelo entre sí, separados por áreas verdes y patios

y conectados a través de circulaciones diferenciadas para público, médicos, servicio, etc.

Sus ingresos se han proyectado de manera que facilite el flujo de pacientes a todas las áreas asistenciales, del personal a sus áreas de trabajo, ingreso de ambulancias a emergencia y el ingreso a la zona de servicios.

**Tabla 5**

*Cuadro de áreas funcionales del proyecto*

<b>SERVICIOS</b>	<b>ÁREA (m<sup>2</sup>)</b>
Dirección Administración	997,10
Consulta Externa	2 153,23
Farmacia	507,97
Medicina Física	1 181,50
Emergencia	1 634,47
Confort	1 270,44
Imágenes	588,70
Banco de Sangre	350,02
Módulo de TBC y Módulo de ITS/VIH	350,29
Patología Clínica	506,40
Cirugía de día	374,10
Hospitalización	3 407,35
Centro Quirúrgico	613,79
Esterilización	570,54
Centro Quirúrgico	1 152,00
Nutrición y Dietética	678,08
Lavandería y Ropería	351,10
UCI y Neonatal	1 298,41
Anatomía Patológica	309,77
Casa Materna y Familiar	152,02
Servicios Generales	2 664,90
Áreas complementarias	3 410,90
Piso Técnico	6 915,45
<b>TOTAL</b>	<b>31 438,50</b>

Fuente: Elaboración propia

La ejecución del proyecto estuvo a cargo del Consorcio Hospitalario Moquegua (CHM de ahora en adelante), conformado por las empresas Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. (ICCGSA) e INCOT S.A.C.

El proyecto se dividió en 2 fases de ejecución, la primera con fecha de inicio el 31 de diciembre del 2014 y fecha de fin el 31 de octubre del 2015. La segunda fase inicia el 26 de diciembre del 2015 y culmina el 31 de mayo del 2017. Esta división de fases se debió a la demora de aprobación del adicional N° 02 de obra correspondiente a la implementación de un sistema antisísmico dentro del proyecto por ser un hospital lo cual llevo a una paralización de obra.

Durante la ejecución de la primera fase se ejecutaron los sectores que no cuentan con sistema de aislamiento sísmico, sectores A y E que corresponden a las áreas de soporte y servicios, llegando a ejecutar gran parte de las partidas de estructuras, arquitectura, instalaciones eléctricas e instalaciones sanitarias.

En la segunda fase se inició con los trabajos en los sectores B, C y D que corresponden a las áreas de emergencia, centro quirúrgico, consultorios externos, áreas de hospitalizaciones y administrativas, es en esta fase donde se tomaron las evaluaciones correspondientes para la obtención de datos del presente trabajo de investigación durante el periodo de las semanas 1 a la 28.

La implementación comenzó con la evaluación de trabajos de estructuras y arquitectura faltantes en los sectores A y E, y se complementan con la ejecución de la obra gruesa (casco) de los sectores B, C y D.

Los trabajos correspondientes a las partidas de instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, instalaciones mecánicas y comunicaciones no serán incluidos dentro del presente trabajo ya que estas partidas fueron ejecutadas por subcontratos.

### **3.2. Descripción del proceso constructivo del proyecto**

Como todo desarrollo de un proyecto, se requiere que se definan e implementen procesos que deben clasificarse en los siguientes grupos:

- **Iniciación.** En este proceso se definen y autorizan la iniciación del proyecto o fases del mismo.
- **Planificación.** En este proceso se definirán los objetivos del proyecto, y se planificará el curso de acción requerido para lograr los objetivos y el alcance pretendido del proyecto. Para la realización de este proceso se recurre a emplear la constructabilidad, juntando al personal empleado que se verá relacionado directamente con la construcción y las técnicas a emplear en el proyecto. Es responsabilidad del encargado de Planificación y Control del proyecto en conjunto con el Residente de Obra elaborar un plan maestro inicial

donde se definan los objetivos y metas a cumplir durante todas las etapas de ejecución, esta planificación es denominada “Master Schedule” o Plan Maestro.

- **Ejecución.** Este proceso integra a todo el personal de dirección del proyecto y a todos los proveedores necesarios para completar los objetivos trazados en tiempo, costos y alcance.
- **Seguimiento y Control.** Durante este proceso se mide y supervisa el avance del proyecto, con el fin de lograr identificar variaciones respecto del Plan Maestro, de tal forma que se tomen medidas correctivas cuando sea necesario para cumplir con los objetivos del mismo. Durante este proceso se implementará el *Last Planner System*, con la finalidad fortalecer la identificación de variaciones y las causas que las generan.
- **Cierre.** Durante este proceso se formalizará la aceptación del proyecto.

Durante el proceso de ejecución del proyecto, este se manejó en dos fases, siendo la primera la ejecución de las áreas que no cuentan con aislamiento sísmico, las cuales corresponden a los sectores A1 - A2 - A3 - E1 - E2 - E3 - E4 - E5 - E6 - E7 - E8 - E9 - E10 - E11 el cuál se muestra en la sectorización del proyecto (ver ítem 3.3. Metodología de implementación).

Para la segunda fase de ejecución del proyecto se consideró las áreas con aislamiento sísmico, los cuales corresponden a los sectores B1 - B2 - C1 - C2 - C5 - D1 - D2, las áreas de ascensores (C4) y tanques de GLP y petróleo (E12), las áreas sin aislamiento sísmico restantes (B3 - B4 - C3 - C6) que no fueron incluidas dentro de la primera fase por comodidad durante el proceso constructivo, ya que fueron usados como áreas de tránsito durante la ejecución (ver ítem 3.4. Metodología de implementación, donde se muestra la sectorización del proyecto).

En ambas fases se dio primero la ejecución de las partidas de Estructuras (movimiento de tierras, cimentaciones, elementos estructurales verticales, elementos estructurales horizontales), posterior a esto se inició con las partidas de Arquitectura (mampostería, revoques y enlucidos, pisos, zócalos y contra zócalos). Las instalaciones Sanitarias y Eléctricas fueron ejecutadas paralelamente a las especialidades de Estructuras y Arquitectura (colocación de pases, válvulas, salidas, etc.). Las instalaciones Mecánicas y Comunicaciones fueron ejecutadas posteriores a la ejecución de Estructuras y Arquitectura.

La especialidad de estructuras en los sectores con aislamiento sísmico está dividida en la ejecución de la subestructura y la superestructura. La subestructura comprende a todos los elementos existentes del nivel del aislador sísmico hacia abajo (elementos estructurales que conformación la cimentación como zapatas, vigas de cimentación, pedestales) y dentro de la ejecución de la superestructura se comprende todos los elementos existentes del nivel del aislador sísmico hacia arriba (losas, vigas, columnas, capiteles, placas).

Se tiene que tener en cuenta como un hito de proyecto el proceso de adquisición de los aisladores sísmicos, en la ejecución del proyecto se emplearon aisladores sísmicos con núcleo de plomo en la unión de todos los pedestales con los capiteles, y aisladores tipo slider en las escaleras y ascensores. La empresa encargada de la importación de los 205 aisladores con núcleo de plomo (según el diseño estructural, se tenían 11 tipos) y 11 aisladores tipo slider fue Cuota De Venta (conocido como CDV en el mercado), única empresa autorizada por DIS (empresa estadounidense encargada de la elaboración de los aisladores sísmicos), cumpliendo un papel fundamental para lograr los compromisos establecidos en el Plan Meta.

Luego de haber acabado casi en su totalidad los trabajos correspondientes a la especialidad de estructuras se empiezan con las partidas correspondientes a la especialidad de arquitectura, las cuales por acuerdo interno se decidieron tercerizar (terrazos, enchapes, Tarrajeo, pintura, tabiques secos, etc.) y así poder ejecutar varias partidas de manera paralela y no de manera lineal como se ejecutan convencionalmente. Todo esto con la finalidad de cumplir con los objetivos planteado inicialmente.

En paralelo a la ejecución de las partidas de arquitectura se fueron abriendo cancha para la ejecución de las especialidades (II.SS., II.EE., II.MM., Comunicaciones), las cuales fueron tercerizadas en un 100 %, teniendo como responsabilidad por parte del consorcio velar por la correcta ejecución de las partidas, cumpliendo con los alcances del proyecto y las políticas de calidad requeridas.

En la etapa final del proyecto se inició con la ejecución de las áreas exteriores (estacionamientos, plazuelas, jardines, etc.).

### **3.3. Metodología de la implementación**

#### **3.3.1. Sectorización del proyecto**

El proyecto se encuentra conformado por diferentes sub-sectores agrupados según su función. Se cuenta 5 diferentes agrupaciones correspondientes a, ver *Figura 31*:

- Sector A: Sub-sectores A1, A2 y A3 (ver *Figura 24*).
- Sector B: Sub-sectores B1, B2, B3 y B4 (ver *Figura 26*).
- Sector C: Sub-sectores C1, C2, C3, C4 y C5 (ver *Figura 25*).
- Sector D: Sub-sectores D1 y D2 (ver *Figura 27*).
- Sector E: Sub-sectores E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 y E12 (ver *Figura 28*, *Figura 29* y *Figura 30*).

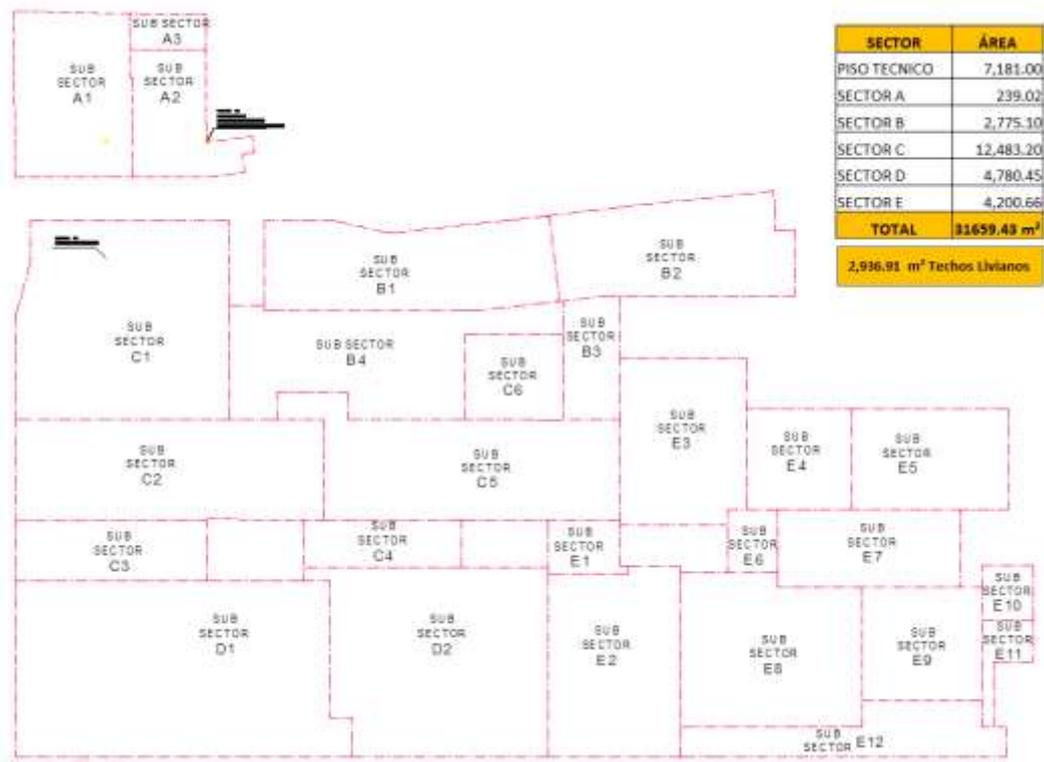


Figura 23. Sub-sectores del proyecto

Fuente: Elaboración propia

El sector A contempla la construcción del Auditorio (A1), la Capilla del hospital (A2) y la Casa materna (A3), con un área total de 239,02 m<sup>2</sup>, ver *Figura 24*. Siendo los sub-sectores A1 y A2 de un solo nivel y el sub-sector A3 de dos niveles.

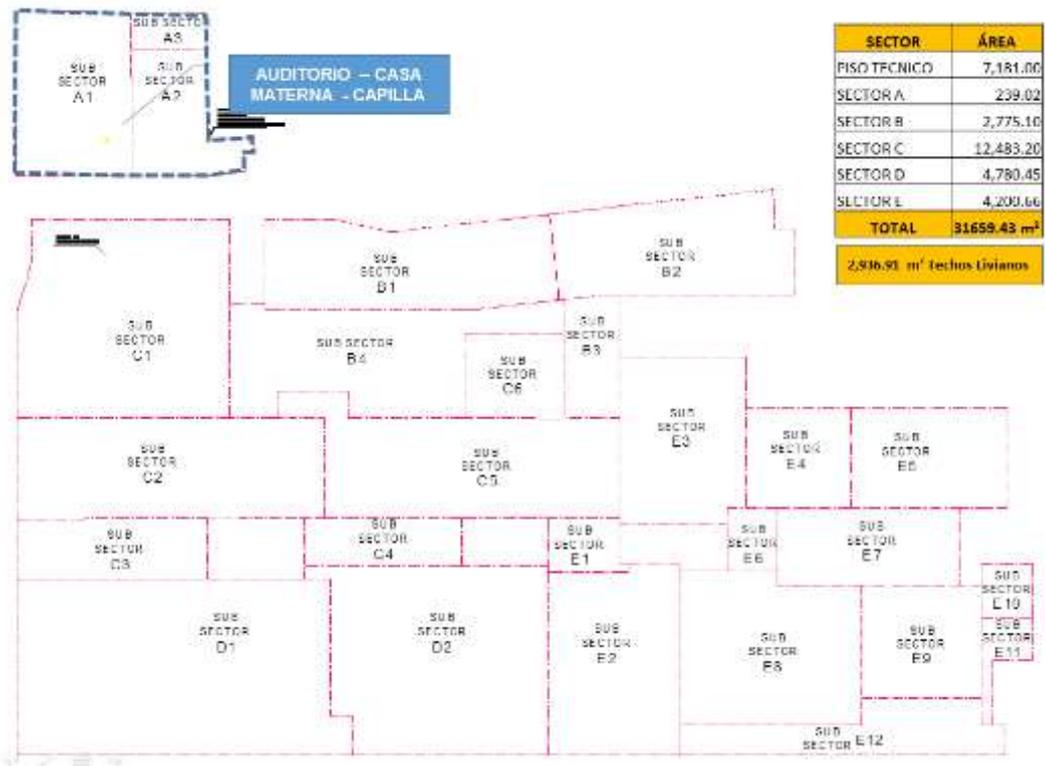


Figura 24. Ubicación del auditorio, casa materna y capilla

Fuente: Elaboración propia

El sector C contempla la construcción de las salas de Unidad de Cuidados Intensivos y áreas administrativas (C1), las áreas de Hospitalizaciones y áreas complementarias (C2, C3, C5 y C6) y también contempla la construcción de la zona de escaleras y ascensores (C4). Los sub-sectores C1, C2, C4 y C5 cuentan con 4 niveles de ejecución, el sub-sector C3 cuenta con dos niveles y el sub-sector C6 cuenta con un solo nivel de ejecución. Todos estos sub-sectores conforman un área total de 12 483,20 m<sup>2</sup>.

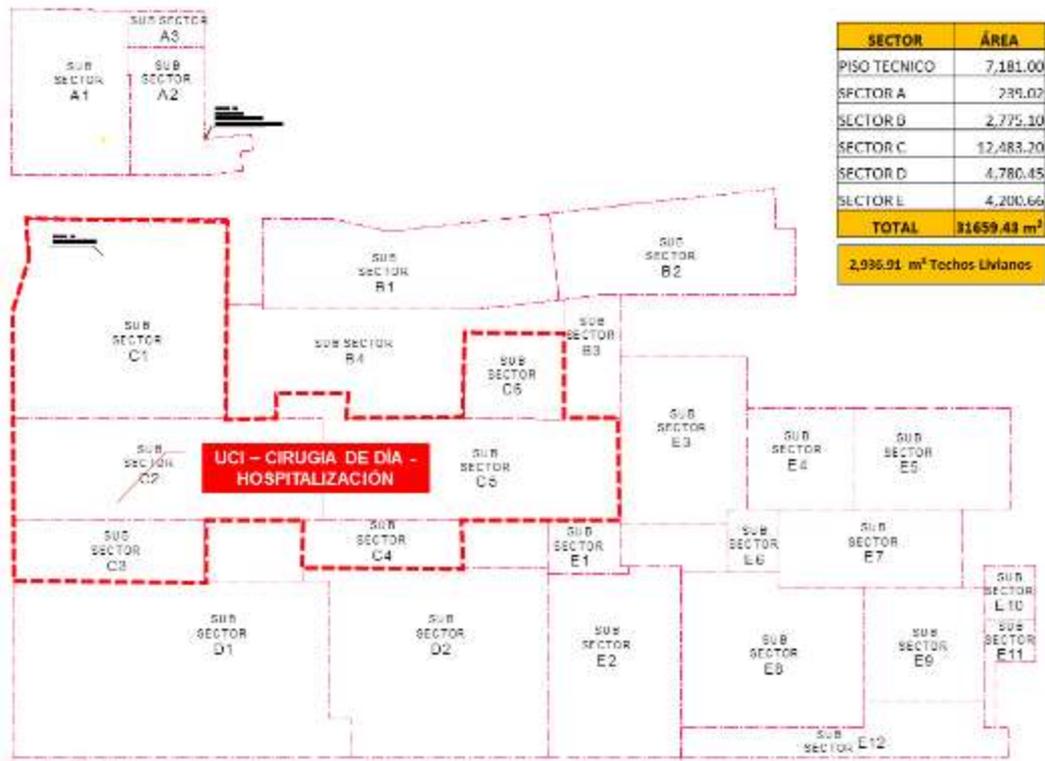


Figura 25. Ubicación de UCI, cirugía de día y hospitalizaciones

Fuente: Elaboración propia

El sector B contempla la construcción de las áreas de Consultas Externas y Servicios de Apoyo (B1-B2), áreas de Vestidores (B3) y el Patio de Espera (B4), Ver Figura 26. Los sub-sectores B1, B2 y B3 cuentan con dos niveles de ejecución y el sub-sector B3 cuenta con un solo nivel, pero de gran altura siendo este conformado por una estructura metálica cubierta por un techo de lona ligero. Todos estos sub-sectores conforman un área total de 2 775,10 m<sup>2</sup>.

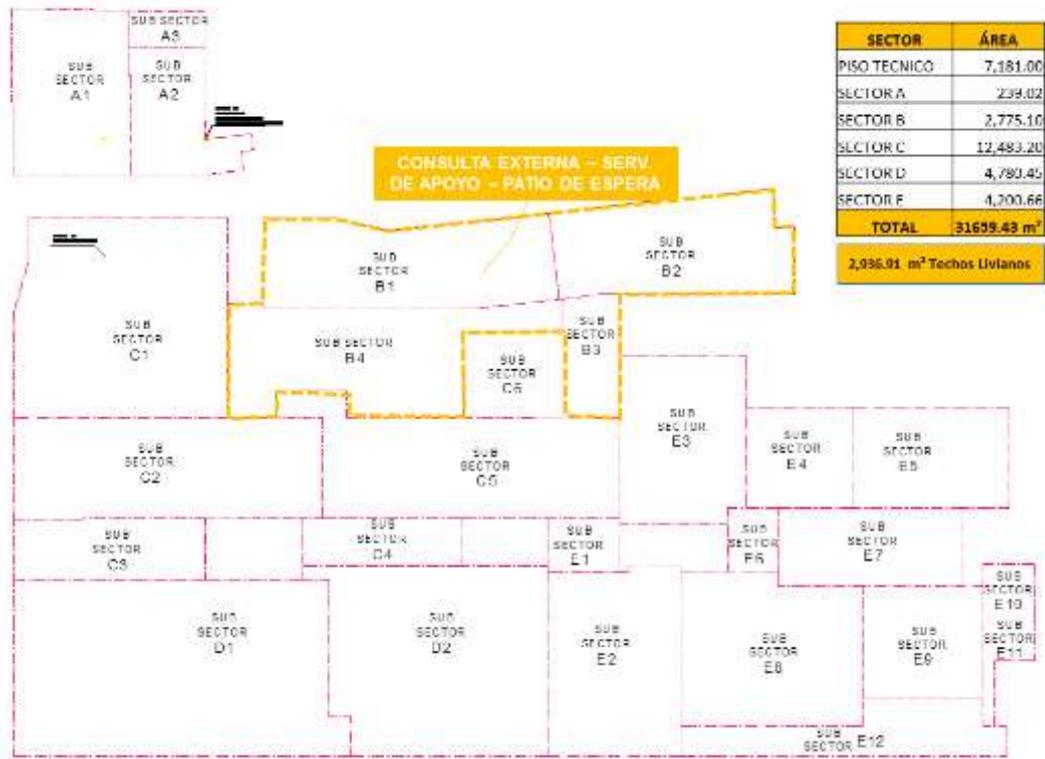


Figura 26. Ubicación de consulta externa, servicios de apoyo y patio de espera

Fuente: Elaboración propia

El sector D contempla la construcción de las áreas de Emergencia General y Centro Obstétrico (D1-D2), ambos sub-sectores cuentan con dos niveles de ejecución y conforman un área total de 4 780,45 m<sup>2</sup>.

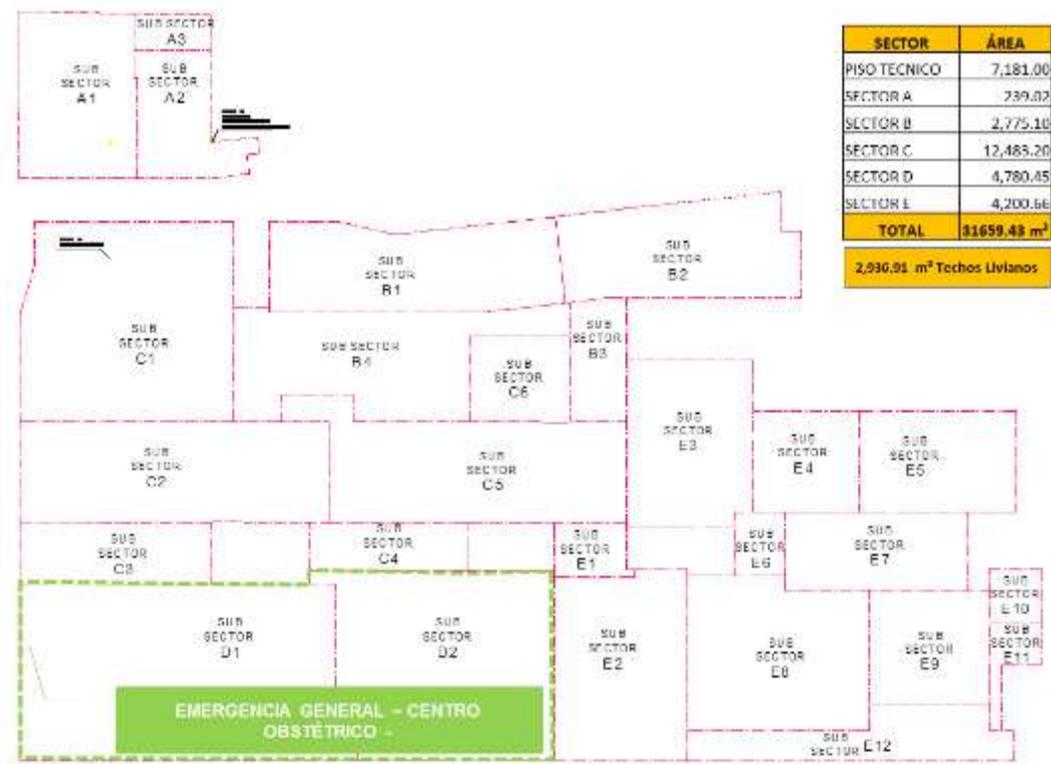


Figura 27. Ubicación de emergencia general y centro obstétrico

Fuente: Elaboración propia

El sector E contempla la construcción de las áreas de Vestidores para técnicos (E1), Farmacia y Confort (E2), Nutrición y Dieta (E4), Lavandería (E5), área de Cisternas (E5), Central de Gases Medicinales (E6), Talleres y Mantenimiento (E7), áreas de Casa de Fuerza (E8), Residuos Sólidos (E9), área para Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales (E10), Cuarto de bombas (E11) y zona de tanques de Combustible y GLP (E12)

El sub-sector E2 cuenta con dos niveles de ejecución, los sub-sectores E1, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, E11 cuentan con un solo nivel de ejecución y el

sub-sector E12 se encontrará enterrado. Todos estos sub-sectores conforman un área total de 4 200,66 m<sup>2</sup>.

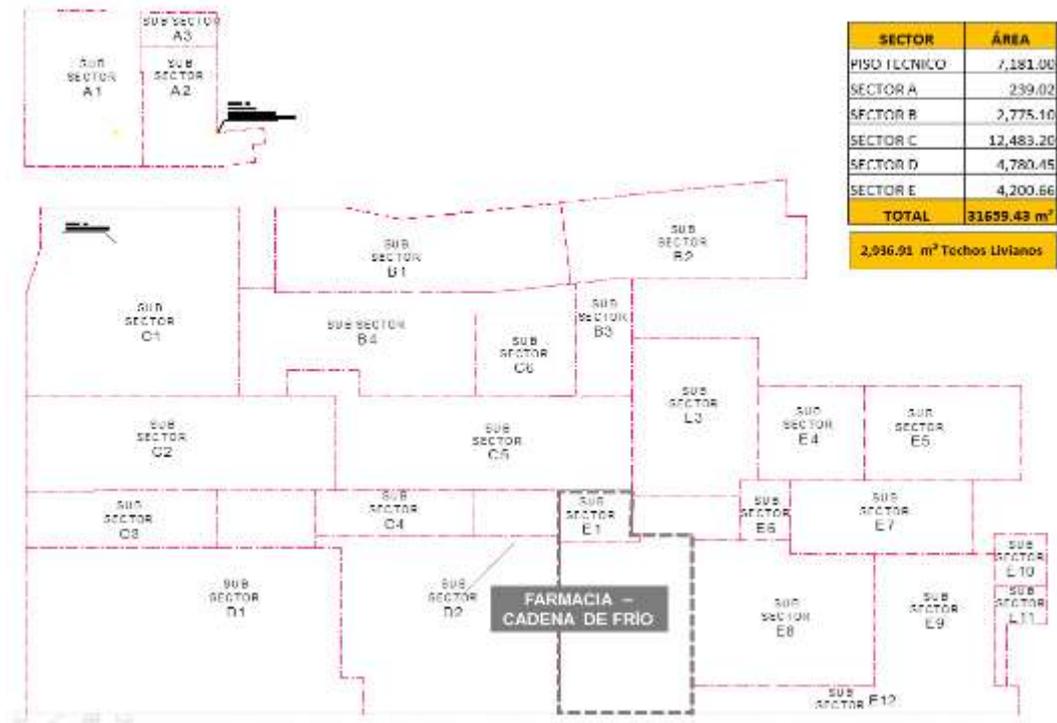


Figura 28. Ubicación de farmacia y cadena de frío

Fuente: Elaboración propia

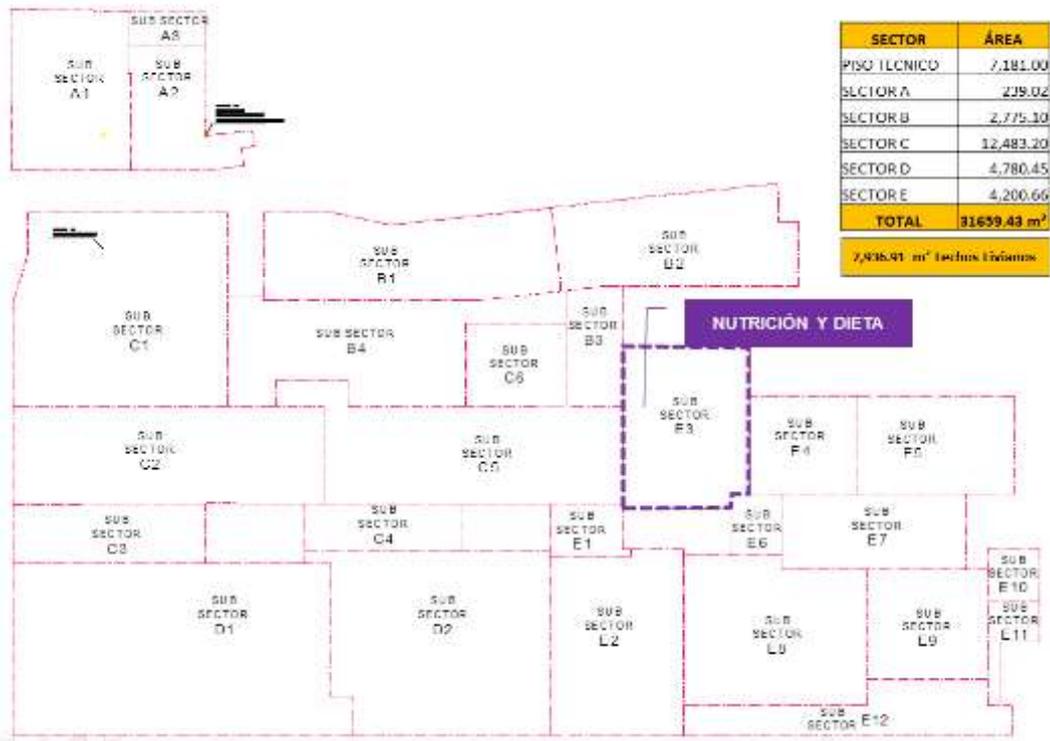


Figura 29. Ubicación de nutrición y dieta

Fuente: Elaboración propia

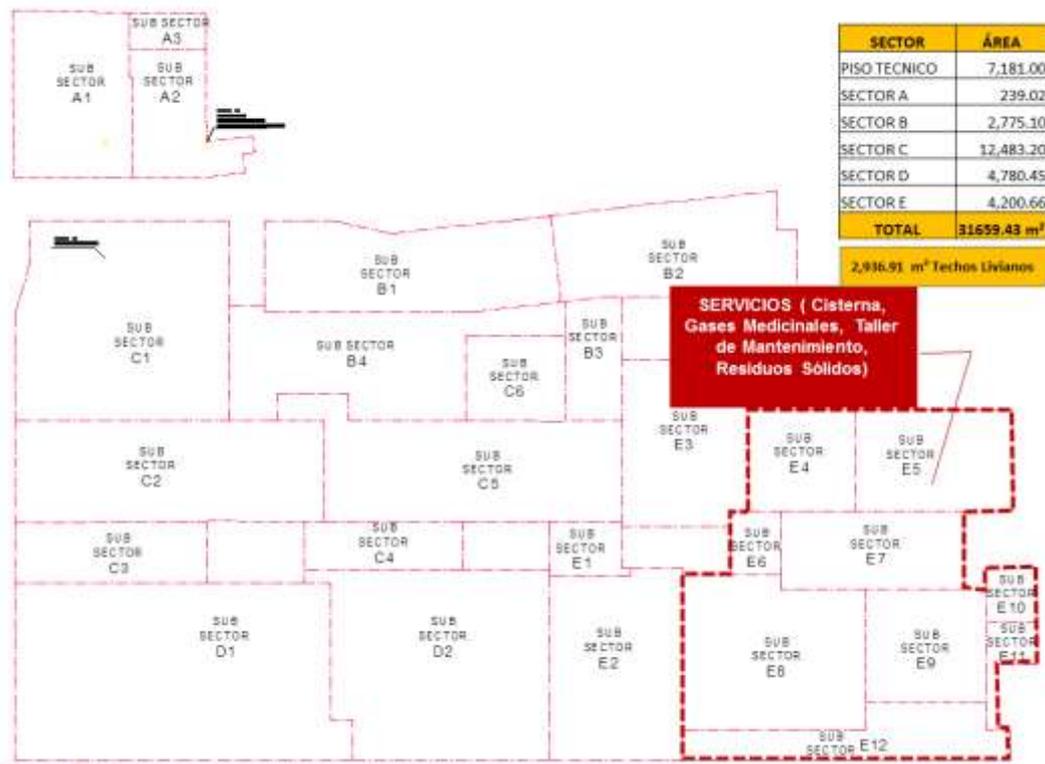


Figura 30. Ubicación de servicios (cisternas, gases medicinales, talleres de mantenimiento, Residuos sólidos y Tanques

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que los bloques están conformados por edificios de diferentes niveles y al no ser una edificación con ambientes repetitivos, se tuvieron como principales criterios de sectorización:

- Cantidad de ingenieros de producción designados al proyecto.
- Áreas de losas (tanto aligeradas como macizas).

Teniendo el primer criterio se decidió dividir en proyecto en 3 frentes de trabajo, y por último se buscó equilibrar los trabajos mediante las áreas de los sub-

sectores y la complejidad de ejecución. Los cuales se denominaron Frente 1, Frente 2 y Frente 3 el cual se detalla a continuación:

- Frente 1.- Lo conforman los sub-sectores B1, B2, B3, B4, C1, C6, E2, E8 y E5.
- Frente 2.- Lo conforman los sub-sectores C3, C4, D1, D2, E1, E3, E4, E6, E7, E9, E10, E11 y E12.
- Frente 3.- Lo conforman los sub-sectores A1, A2, A3, C2 y C5.



Figura 31. Sectorización de frentes de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Teniendo como distribución de áreas:

**Tabla 6***Cuadro de áreas de sectorización del proyecto en función a áreas techadas*

<b>NIVEL</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND.</b>	<b>ÁREA</b>
Piso Técnico	SUB SECTOR B1 B2	m <sup>2</sup>	1 570,67
Piso Técnico	SUB SECTOR C1 C2 C5	m <sup>2</sup>	3 064,74
Piso Técnico	SUB SECTOR D1 D2	m <sup>2</sup>	2 476,14
Piso Técnico	CORREDORES	m <sup>2</sup>	69,45
1er Nivel	SUB SECTOR A1	m <sup>2</sup>	58,42
1er Nivel	SUB SECTOR A2	m <sup>2</sup>	18,70
1er Nivel	SUB SECTOR A3	m <sup>2</sup>	50,40
1er Nivel	SUB SECTOR B1	m <sup>2</sup>	691,95
1er Nivel	SUB SECTOR B2	m <sup>2</sup>	578,80
1er Nivel	SUB SECTOR B3	m <sup>2</sup>	116,80
1er Nivel	SUB SECTOR C1	m <sup>2</sup>	752,90
1er Nivel	SUB SECTOR C2	m <sup>2</sup>	860,80
1er Nivel	SUB SECTOR C3	m <sup>2</sup>	146,40
1er Nivel	SUB SECTOR C4	m <sup>2</sup>	191,95
1er Nivel	SUB SECTOR C5	m <sup>2</sup>	1 145,15
1er Nivel	SUB SECTOR C6	m <sup>2</sup>	278,05
1er Nivel	SUB SECTOR D1	m <sup>2</sup>	1 208,35
1er Nivel	SUB SECTOR D2	m <sup>2</sup>	1 165,55
1er Nivel	SUB SECTOR E1	m <sup>2</sup>	87,60
1er Nivel	SUB SECTOR E2	m <sup>2</sup>	696,60
1er Nivel	SUB SECTOR E3	m <sup>2</sup>	678,00
1er Nivel	SUB SECTOR E4	m <sup>2</sup>	351,00
1er Nivel	SUB SECTOR E5	m <sup>2</sup>	568,40
1er Nivel	SUB SECTOR E6	m <sup>2</sup>	86,10
1er Nivel	SUB SECTOR E7	m <sup>2</sup>	322,95
1er Nivel	SUB SECTOR E8	m <sup>2</sup>	375,86
1er Nivel	SUB SECTOR E9	m <sup>2</sup>	163,10
1er Nivel	SUB SECTOR E11	m <sup>2</sup>	32,70
1er Nivel	SUB SECTOR E12	m <sup>2</sup>	103,00
1er Nivel	VIGILANCIA	m <sup>2</sup>	38,75
2do Nivel	SUB SECTOR A3	m <sup>2</sup>	111,50
2do Nivel	SUB SECTOR B1	m <sup>2</sup>	691,95
2do Nivel	SUB SECTOR B2	m <sup>2</sup>	578,80
2do Nivel	SUB SECTOR B3	m <sup>2</sup>	116,80
2do Nivel	SUB SECTOR C1	m <sup>2</sup>	752,90
2do Nivel	SUB SECTOR C2	m <sup>2</sup>	860,80
2do Nivel	SUB SECTOR C3	m <sup>2</sup>	146,40
2do Nivel	SUB SECTOR C4	m <sup>2</sup>	191,95
2do Nivel	SUB SECTOR C5	m <sup>2</sup>	1 145,15
2do Nivel	SUB SECTOR C6	m <sup>2</sup>	278,05
2do Nivel	SUB SECTOR D1	m <sup>2</sup>	1 208,35
2do Nivel	SUB SECTOR D2	m <sup>2</sup>	1 198,20
2do Nivel	SUB SECTOR E2	m <sup>2</sup>	696,60
3er Nivel	SUB SECTOR C1	m <sup>2</sup>	936,30
3er Nivel	SUB SECTOR C2	m <sup>2</sup>	751,50
3er Nivel	SUB SECTOR C4	m <sup>2</sup>	191,95
3er Nivel	SUB SECTOR C5	m <sup>2</sup>	986,60
4to Nivel	SUB SECTOR C1	m <sup>2</sup>	936,30
4to Nivel	SUB SECTOR C2	m <sup>2</sup>	751,50
4to Nivel	SUB SECTOR C4	m <sup>2</sup>	191,95
4to Nivel	SUB SECTOR C5	m <sup>2</sup>	986,60

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 7***Cuadro de áreas de techos livianos*

<b>NIVEL</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>UND.</b>	<b>ÁREA</b>
1er Nivel	LONA EN SUB SECTOR B4	m <sup>2</sup>	1 321,68
1er Nivel	SUB SECTOR E9	m <sup>2</sup>	62,98
1er Nivel	SUB SECTOR E9	m <sup>2</sup>	62,98
1er Nivel	SUB SECTOR E8	m <sup>2</sup>	132,55
1er Nivel	ENTRE SUB SECTOR E8 Y E9	m <sup>2</sup>	186,82
1er Nivel	SUB SECTOR E10	m <sup>2</sup>	60,00
1er Nivel	CORR. SUB SECTORES E9 E10 E11	m <sup>2</sup>	47,40
1er Nivel	CORR. SUB SECTORES E7 E9	m <sup>2</sup>	101,10
1er Nivel	CORR. SUB SECTORES E6 E8	m <sup>2</sup>	40,70
1er Nivel	CORR. SUB SECTORES E6 E7	m <sup>2</sup>	27,20
1er Nivel	CORR. SUB SECTORES E3 E4 E5 E6	m <sup>2</sup>	138,20
1er Nivel	SUB SECTOR C3	m <sup>2</sup>	140,00
1er Nivel	ENTRE SUB SECTORES C1 B1	m <sup>2</sup>	165,30
1er Nivel	CORR. FRENTE SECTOR B	m <sup>2</sup>	450,00

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 8***Cuadro de áreas de sectorización por frente de trabajo en función a áreas techadas*

<b>Sectorización</b>	<b>Área (m<sup>2</sup>)</b>
Frente 1	11 454,11
Frente 2	10 180,39
Frente 3	10 024,93
Total	31 659,43

Fuente: Elaboración propia

**3.3.2. Reuniones de conocimiento del equipo de trabajo**

La primera acción por tomar al iniciar la implementación de cualquier método y/o sistema de trabajo es conocer al equipo o grupo de trabajo con el cual se va a interactuar. Las diferentes culturas, estilos y estructuras del personal involucrado influirán directamente en la forma que se lleve la dirección del proyecto, como se mencionó anteriormente la ejecución del proyecto está a cargo de un consorcio conformado por dos empresas con diferente forma de direccionar los objetivos de un proyecto.

Otro factor de gran influencia dentro de la implementación es el nivel de madurez y compromiso del personal involucrado. Esto se verá reflejado en el porcentaje de entregables realizados en los plazos establecidos. El éxito de la implementación dependerá en gran medida de emplear un estilo de comunicación efectivo, las capacidades de comunicación dentro de la organización tendrán gran influencia en la forma en la que se lleve a cabo el proyecto. En consecuencia, se tiene que buscar distintas alternativas para lograr una comunicación efectiva con todos los interesados relevantes dentro de la estructura de la organización para facilitar la toma de decisiones, considerando que se incluirá la participación de maestros de obra, capataces y jefes de grupo.

Para ello, se reunió al grupo de trabajo, responsables directos de la ejecución del proyecto (Residente de Obra, Gerente de Obra, Jefes de Producción, Responsables de Oficina Técnica, Responsables del Área de Calidad, Maestros de obra, Capataces, Jefes de grupo), y se realizaron reuniones donde se procedió a explicar brevemente la filosofía *Lean Construction* y cuáles son los principios que están detrás de la misma, como se implementa, cuáles serán los indicadores a medir y que resultados se esperan obtener.

El nivel de explicación de la parte teórica fue de manera puntual, no se entró a detalles teóricos como: inicios de la filosofía, antecedentes de *Lean Construction*, *Lean Production*, conceptos, etc.; pero si se ahondo los temas de implementación de formatos, formas de correcta recolección de información, áreas a evaluar, beneficios de la filosofía, resultados a obtener, etapas a evaluar.

Los formatos a los que se dio mayor importancia fueron el *LookAhead Planning* y el Análisis de Restricciones, los cuales brindan información detallada de las actividades que se realizarán a corto plazo y así poder focalizarnos en realizar un seguimiento a cada una de estas actividades con sus restricciones correspondientes para liberarlas y permitir la ejecución de la actividad en las fechas programadas.

Se enfatizó que no se buscaba imponer las actividades a realizar, si no que se necesitaba un compromiso real para que efectivamente supieran decir que “no” cuando vieran que una actividad programada no podría ser ejecutada por presentar restricciones de gran magnitud y así poder obtener un proceso de planificación confiable y transparente.

Dentro de estas reuniones se tomó la decisión de evaluar cada semana trabajada el martes de la semana entrante, y así obtener información relevante que ayude a la toma de decisiones inmediatas de las conclusiones obtenidas. Con esto se pretende disminuir el mayor número de desperdicios identificados durante la semana evaluada.

### **3.3.3. Desarrollo de la Carta Balance**

La productividad en la mano de obra es un tema que se debe dar mucha importancia ya que estos darán el ritmo de la ejecución del proyecto, influirán en temas de avance y costos, lo cual a las finales se traducirá en utilidad. La situación

actual del proyecto muestra un pobre control en temas de productividad lo cual se proyecta en una tardía identificación de las causas y posibles acciones correctivas.

Para solucionar esta problemática se va a implementar la herramienta conocida como CARTA BALANCE, y con esta se buscará lograr medir la productividad de los trabajadores y aplicar mejoras para incrementar esta misma.

De forma resumida, podemos decir que al implementar la carta balance dentro del proyecto podremos obtener estadísticas de manera detallada de la forma en la que se está ejecutando las diferentes actividades evaluadas, y así lograr optimizar en la mayor cantidad posible las mismas.

Para aplicar esta herramienta se trabajará en conjunto con los responsables directos al mando de la ejecución de las diferentes actividades, empezando por el Ingeniero de Producción responsable del frente de trabajo, Ingeniero Asistente de producción, Maestro de frente de trabajo y Capataz de cuadrilla. Estos responsables podrán variar de acuerdo con la actividad a evaluar, en algunos casos solo se contará con el apoyo de los capataces de cuadrillas y en otros se podrá contar con todo el personal involucrado.

Es importante involucrar a los responsables, estos también juegan un rol muy importante como Últimos Planificadores en las actividades, ya que se tiene que apoyar a garantizar la correcta aplicación de las conclusiones obtenidas de todos los análisis para así conseguir mejoras en la productividad. Esto también ayudará a

implantar una metodología que busque intercambiar información de los problemas a los que se vieron enfrentados en el desarrollo de las actividades, así como compartir las posibles sugerencias de mejora para lograr el desarrollo de forma óptima de las diferentes actividades evaluadas. Se debe enfatizar que al implementar esta herramienta no se pretende buscar que el personal obrero trabaje apresuradamente o con una velocidad acelerada, sino se buscará lograr que el personal trabaje de forma más inteligente siendo capaces de identificar ellos mismos todas las actividades que no agreguen valor al producto y posteriormente eliminarlas o reducirlas en la mayor cantidad posible.

#### **3.3.3.1. Secuencia a seguir**

Identificación de las actividades productivas, contributorias y no contributorias dentro de la partida a evaluar. Lo primero que se procede a realizar es identificar todas las actividades que involucrarán el proceso de ejecución de la partida, para esto se coordinará con el responsable del frente de trabajo y así poder pactar las actividades más relevantes que entrarán a medición dentro de la carta balance. Se tomará en cuenta todo el proceso que involucre la actividad y se procederá a separar en productivas, contributorias y no contributorias, ver *Figura 32*.

La finalidad de identificar las actividades críticas dentro de la partida es obtener los datos más acercados a la realidad de la ejecución de la partida.

Por ejemplo, en la partida de relleno con material de préstamo podemos identificar las siguientes actividades:

- **Productivas:**
  - Colocación de afirmado.
  - Compactación de afirmado.
  
- **Contributorias:**
  - Traslado de materiales.
  - Adición de agua.
  - Rastrillado.
  
- **No contributorias:**
  - Limpieza de herramientas.
  - Viajes / herramientas.
  - Descanso.

- Limpieza de desperdicio.
- Tiempo de espera.
- Trabajo rehecho.

Establecer la secuencia de flujo del proceso de las partidas. La secuencia de flujo del proceso de las partidas consiste en ordenar todas las actividades que involucren la partida para conocer la correspondencia de cada actividad, así se podrá tener claro cuál es la secuencia de las actividades a seguir y cuál es el flujo de relación de una actividad hacia otra.

Identificación y distribución del personal involucrado. Luego de haber identificado las actividades de la partida, se deberá identificar a la cuadrilla responsable de la partida, para facilitar el control se procedió a nombrar con una letra a cada integrante de la cuadrilla, por ejemplo: Flores Rios Meliton (A). Una vez identificado a la cuadrilla se procederá a realizar un mapeo de la ubicación exacta donde ejecutarán sus actividades.

Formatos y herramientas utilizadas. El formato para la recolección de datos está conformado por una hoja dividida en tablas de datos de la cuadrilla, tabla de actividades productivas, tabla de actividades contributorias, tabla de actividades no contributorias con sus respectivos códigos y la tabla de medición. La tabla de medición está conformada por la cantidad de tiempo de duración de la medición, en

todas las cartas balance aplicaremos como tiempo estándar 60 minutos, y la distribución del personal.

Trabajadores involucrados:									
A:									
B:									
C:									
D:									
E:									
F:									
G:									
H:									

Cod		Trabajo Productivo	
1			
2			
3			
4			
5			
6			
Total			0

Cod		Trabajo Contributorio	
7			
8			
9			
10			
11			
12			
Total			0

Cod		Trabajo No Contributorio	
13			
14			
15			
16			
17			
18			
Total			0

Figura 32. Formato de carta balance, tablas de datos

Fuente: Elaboración propia

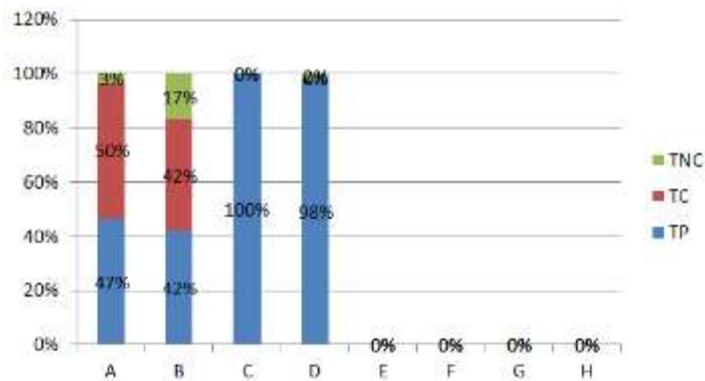
Medición	A	B	C	D	E	F	G	H	OBSERVACIONES
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									

Figura 33. Formato de carta balance, tabla de medición

Fuente: Elaboración propia

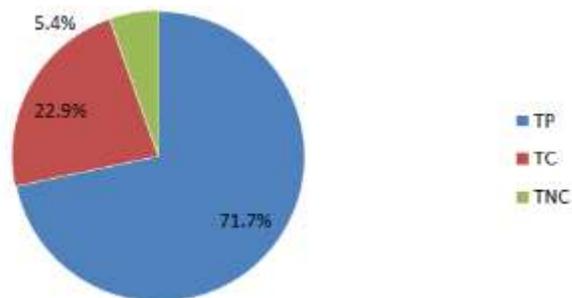
Medición de la partida. La metodología consiste en tomar nota de cómo es que el personal emplea el tiempo cada minuto durante la ejecución de una partida designada. Se tomará el rango de 60 minutos, donde se ira introduciendo en los casilleros en blanco un número (código) correspondiente a la actividad en la que se encuentre el personal.

Resultados de la medición. El formato a emplear para procesar los datos obtenidos y así poder identificar el porcentaje de tiempo productivo (TP), contributorio (TC) y no contributorio (TNC) correspondiente a cada integrante de la cuadrilla evaluada se muestra en la *Figura 34* y *Figura 35*.



*Figura 34.* Resultados de actividades por cada integrante de la cuadrilla

Fuente: Elaboración propia



*Figura 35.* Resultados de actividades por cuadrilla

Fuente: Elaboración propia

Se presentarán los resultados por cada miembro de la cuadrilla y también se medirá a la cuadrilla en conjunto.

### **3.4. Desarrollo de la planificación intermedia**

El proceso de planificación intermedia es el segundo nivel en la jerarquía del sistema de planificación y resalta las actividades que deberían hacerse en un futuro cercano, durante este proceso se empleara como herramienta el formato *LookAhead* con un horizonte promedio de 4 semanas ( se buscará abarcar las actividades de todo el mes en evaluación ) con el objetivo de predecir y/o identificar los problemas que puedan presentarse al momento de tratar de ejecutar una actividad según su fecha programada.

La difusión e implementación del formato de *LookAhead* se dio durante el mes de enero del 2016 y su aplicación comenzó a partir del mes de febrero. Con esto se buscó sensibilizar al personal con las pautas a considerar para poder obtener resultados favorables para el proyecto. El objetivo principal de implementar la planificación intermedia o *LookAhead* es controlar que los flujos de trabajo de paren, mediante la identificación previa de todas las posibles restricciones como la falta de compatibilidad de planos de ingeniería, materiales, equipos, recursos humanos, liberaciones que serán necesarios levantar para que las cuadrillas designadas en la ejecución de las diferentes partidas programadas cumplan con los objetivos. Al implementar por primera vez el presente formato será necesario centrarnos en el control y verificar el cumplimiento del mismo, y así ir verificando los cambios o mejoras que se necesiten realizar.

El Formato está conformado por una zona de datos del proyecto, cuadro de actividades programadas, medrados por ejecutar durante el periodo de programación, rendimiento meta (obtenido del plan meta interno del proyecto), factor de ejecución (cuadrillas a emplear en función a la cuadrilla meta prevista), duración de la actividad, cuadrilla meta (obtenido del plan meta interno del proyecto), cuadrilla propuesta (obtenido del resultado entre la cuadrilla meta y el factor de ejecución a emplear).

Luego encontraremos la zona donde se identificarán las semanas a programar y los días programados por cada actividad en función a su duración obtenida, ver *Figura 36*.

En la zona de actividades programadas se deberá tomar en cuenta un orden apropiado para tener una correcta identificación de las actividades a la hora de evaluarlas, se recomendó emplear los códigos de sectorización y la denominación empleada en el plan meta, si bien es cierto algunas actividades no se encuentran contempladas dentro del plan meta se deberá buscar la partida que se ve directamente afectada y emplear su nomenclatura correspondiente, como por ejemplo: SUB SECTOR E5 / ARQUITECTURA / TARRAJEO DE CIELORASO IMPERMEABILIZADO.

CHM		PROGRAMACIÓN LOOKAHEAD 4W																			
LA VERSION IMPRESA O FOTOCOPIA DE ESTE DOCUMENTO SE CONSIDERA UNA COPIA NO CONTROLADA, EXCEPTO CUANDO LLEVE EL SELLO ORIGINAL COLOR ROJO DE "COPIA CONTROLADA"																					
OBRA		AMPLIACIÓN Y REFORMA DEL HOSPITAL DE MOQUEGA, NIVEL 1,2				CONTRATISTA		CONSORCIO HOSPITALARIO MOQUEGA													
IRREGACIÓN		MUNICIPALIDAD DE MOQUEGA				SUPERVISIÓN		INGENIEROS TÉCNICOS ASOCIADOS													
PROPIETARIO		GOBIERNO REGIONAL MOQUEGA				JEFE SUPERVISIÓN		LUIS GUTIERREZ SOLÍS													
SEMAHA		15 AL 18				RESIDENTE DE OBRA		ING. ALBERTO ALONSO CASARE													
ITEM	ACTIVIDADES	UN D	METRADO POR EJECUTAR	RENDIMIENTO META	DURACION	SEMANA 15					SEMANA 16					SEMANA 17					
						04-abr	05-abr	06-abr	07-abr	08-abr	09-abr	10-abr	11-abr	12-abr	13-abr	14-abr	15-abr	16-abr	17-abr	18-abr	19-abr
DESCRIPCIÓN																					
01	SECTOR E2																				
01.02	ARQUITECTURA																				
01.02.01	PISO DE CEMENTO SEMI PULIDO C/ENDURECEDOR	M2	240,72	40,00	1	7															
01.02.02	CONTRAPISO PARA ENCHAPE 2do PISO	M2	90,00	70,00	1	2															
01.02.03	TARRAJE DE MUROS INTERIORES	M2	22,50	13,00	1	2															
03	SECTOR E3																				
03.01	ESTRUCTURAS																				
03.01.01	ACERO EN CANALETAS ELECTRICAS	XG	932,40	300,00	2	2															
03.01.02	ENCOFRADO DE CANALETAS ELECTRICAS	M2	117,00	8,00	4	4															
03.01.03	CONCRETO EN CANALETAS ELECTRICAS	M3	22,05	10,00	1	3															
03.01.04	ENCOFRADO DE COLUMNETAS	M2	9,63	8,00	1	2															
03.01.05	ACERO DE COLUMNETAS	XG	80,24	300,00	1	1															
03.01.06	CONCRETO DE COLUMNETAS	M3	0,81	10,00	1	1															

Figura 36. Formato LookAhead

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente al formato mostrado en la *Figura 36*, la presentación del *LookAhead* involucra la elaboración del cuadro de análisis de restricciones (*Figura 37*), luego de que las actividades de la ventana *LookAhead* fueron definidos, se deberá buscar todas las limitantes que estas tareas puedan tener para ser ejecutadas. Estas restricciones implican requisitos previos o recursos, teniendo estos un responsable designado dentro del proyecto para que sean levantadas a tiempo y de no ser el caso sustentar las razones por el cual no se llegó a levantar la restricción.

ANÁLISIS DE RESTRICCIONES / RECURSOS								
CODIGO DEL PROYECTO :				AREA / DEPARTAMENTO:		FECHA:		
CED-2951				PRODUCCION		04.07.16		
NOMBRE DEL PROYECTO :				CLIENTE :		UBICACIÓN:		
AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL HOSPITAL DE MOQUEGUA, NIVEL B-2				GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA		MOQUEGUA		
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD	FECHA DE RESTRICCIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA RESTRICCIÓN	TIPO DE RESTRICCIÓN	FECHA DE INICIO	RESPONSABLE
<b>02 SECTOR B1</b>								
<b>02.01 ESTRUCTURAS</b>								
02.01.01	ENCOPR. DE FONDOS DE VIGA (NIVEL +4.72)	M2	82,00	05/07/2016	COMPRA DE SIERRAS CIRCULARES MANUALES	LOG-COMT	05/07/2016	Felix Gomez/William Mata
02.01.03	ENCOPR. DE LOSA ALBERADA (NIVEL +4.72)	M2	700,00	07/07/2016	COMPRA DE SIERRAS CIRCULARES MANUALES	LOG-COMT	07/07/2016	Felix Gomez/William Mata
02.01.04	LADRILLO EN LOSA ALBERADA (NIVEL +4.72)	UND	5.120,00	08/07/2016	REGULARIZAR LLEGADA DE LADRILLO A OBRA	LOG-COMT	07/07/2016	Felix Gomez/William Mata
<b>03 SECTOR B2</b>								
<b>03.01 ESTRUCTURAS</b>								
03.01.01	ENCOPR. DE FONDOS DE VIGA (NIVEL +4.72)	M2	34,23	07/07/2016	COMPRA DE SIERRAS CIRCULARES MANUALES	LOG-COMT	06/07/2016	Felix Gomez/William Mata
03.01.03	ENCOPR. DE LOSA ALBERADA (NIVEL +4.72)	M2	292,00	08/07/2016	COMPRA DE SIERRAS CIRCULARES MANUALES	LOG-COMT	08/07/2016	Felix Gomez/William Mata
03.01.04	LADRILLO EN LOSA ALBERADA (NIVEL +4.72)	UND	2.050,00	11/07/2016	REGULARIZAR LLEGADA DE LADRILLO A OBRA	LOG-COMT	10/07/2016	Felix Gomez/William Mata
<b>04 SECTOR C1</b>								
<b>04.01 ESTRUCTURAS</b>								
04.01.01	ENCOPR. DE FONDOS DE VIGA (NIVEL +5.17)	M2	100,55	11/07/2016	COMPRA DE SIERRAS CIRCULARES MANUALES	LOG-COMT	10/07/2016	Felix Gomez/William Mata
04.01.03	ENCOPR. DE LOSA ALBERADA (NIVEL +5.17)	M2	773,72	13/07/2016	COMPRA DE SIERRAS CIRCULARES MANUALES	LOG-COMT	12/07/2016	Felix Gomez/William Mata
04.01.04	LADRILLO EN LOSA ALBERADA (NIVEL +5.17)	UND	5.400,00	14/07/2016	REGULARIZAR LLEGADA DE LADRILLO A OBRA	LOG-COMT	13/07/2016	Felix Gomez/William Mata

Figura 37. Formato Análisis de Restricciones

Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la *Figura 37*, el formato de Análisis de Restricciones está conformado por una columna de descripción de la actividad en la cual irá el nombre de la actividad, la unidad de medición y el metrado involucrado con su ítem correspondiente al designado en la ventana *LookAhead*. Luego encontraremos la columna de descripción de la restricción en la cual colocaremos todas las restricciones identificadas para la actividad mencionada, en esta columna diferenciaremos las restricciones según el tipo, las de color rojo involucrarán a todas las restricciones que estén relacionadas con ingeniería, liberaciones, programación, mano de obra, supervisión y cliente; las de color azul involucrarán a todas las restricciones que estén relacionadas con logística, materiales, equipos.

Definido el tipo de restricción se propone una fecha apropiada de levantamiento el cual tendrá como límite un día antes de iniciar la actividad, luego se designa al o a los responsables de levantar dicha restricción. El seguimiento para

un correcto cumplimiento de los acuerdos establecidos dentro del cuadro de análisis de restricciones se dará como mínimo cada semana durante las reuniones de control de proyecto. La elaboración de los presentes formatos tendrá el siguiente flujo:

- **Presentación de los objetivos mensuales del plan meta aprobado.** El área de Oficina Técnica será el responsable de suministrar la información correspondiente a los objetivos del mes entrante a todo el personal responsable de la elaboración del *LookAhead*, dentro de este inventario de partidas planeadas no se diferencian las ejecutables de las que presenten restricciones.
- **Elaboración de *LookAhead* y análisis de restricciones.** El área de producción será el responsable de presentar los *LookAhead* por cada frente de trabajo, esto se dará durante los primeros días del mes en evaluación. Para una correcta elaboración se deberá considerar la información brindada por oficina técnica y evaluar las actividades que estén aptas para ejecutar y las que presenten restricciones. Se deberá tener un inventario buffer de actividades el cual solo se mencionará en las reuniones mas no irán incluidos en la elaboración del *LookAhead*.
- **Aprobación del *LookAhead* y análisis de restricciones.** Una vez realizados los *LookAhead* se procederá a programar una reunión de evaluación donde estarán presentes todos los involucrados (producción), con la presencia adicional del gerente y residente de obra quienes serán los responsables de dar

su voto aprobatorio o las pautas a considerar para la reestructuración de los *LookAhead* observados.

- **Seguimiento y control.** Finalmente aprobados, se procede a difundir a todo el equipo de trabajo dándoles a conocer todas las restricciones correspondientes a cada área de soporte del proyecto y las fechas límite de levantamiento. Se realizará un seguimiento semanal para asegurar el cumplimiento de los objetivos trazados, con esto buscaremos re direccionar el concepto de control que tradicionalmente se traducía a cuantificar las pérdidas a un control que busque asegurar el cumplimiento de los objetivos trazados y minimizar o eliminar las pérdidas.

### **3.5. Desarrollo de la planificación semanal**

La planificación semanal representa el “lo que haré”, aquí es donde se presenta todas las partidas libres de restricciones. La elaboración del plan semanal nace a partir del *LookAhead* aprobado, siendo este una planificación a mayor detalle.

El plan semanal es preparado por los últimos planificadores (Ingenieros de producción en coordinación con los maestros, capataces y jefes de grupo) y es presentado al área de oficina técnica para su revisión y posteriormente entrar en evaluación.

La elaboración del plan semanal es a partir de inventario de trabajos ejecutables que “pueden” ser ejecutados sin ninguna restricción de por medio y también se podrán incluir los trabajos que no fueron completados durante la semana anterior. Las actividades que tengan pendiente la liberación de pequeñas restricciones (llámese equipos menores, materiales que pueden conseguirse en la zona, liberaciones protocolares pendientes de regularización, etc.) pero que se tenga la certeza que serán levantadas a tiempo entrarán también a la lista de trabajos ejecutables.

Con esto se busca proteger que el plan semanal sea cumplido en su totalidad. Logrando así conseguir un balance de carga y capacidad con el fin de garantizar un proceso de trabajo con flujo continuo. Todos los días martes se realizaba una reunión de control de proyecto donde se evaluaba los siguientes puntos:

- Consideraciones pactadas en la reunión anterior.
- Revisión y comentarios del PPC (ver ítem 3.3.8.) de la semana anterior (semana en evaluación).
- Identificación y comentarios acerca de las CNC (ver ítem 3.3.8.).
- Evaluación y comentarios del plan semanal de la presente semana.
- Presentación de índices de productividad evaluados.

- Comentarios de temas relacionados netamente a producción ocurridos durante la semana.

De esta manera se buscará lograr involucrar a los últimos planificadores en el proceso de planificación del proyecto, dándoles a conocer que sus aportes son muy importantes para poder lograr un proyecto exitoso.

PROGRAMACIÓN SEMANAL											
CÓDIGO DEL PROYECTO:	CEI - 2051	FECHA:	25.01.16	ÁREA / DEPARTAMENTO:	PRODUCCIÓN						CFM
NOMBRE DEL PROYECTO:	AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL HOSPITAL DE MOQUEGUA NIVEL II-3	UBICACIÓN:	MOQUEGUA	CLIENTE:	GOBIERNO REGIONAL MOQUEGUA						
ITEM	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	UNIDAD	CANTIDAD PROGRAMADA	FEBRERO							OBSERVACIONES
				1	M	M	J	V	S	D	
				25 ene	26 ene	27 ene	28 ene	29 ene	30 ene	01 ene	
1.0	SUB SECTOR E2										
1.1	CONTRAPISO	M2	50.00			X		X			FALTA LLEGADA DE PALETAS PARA
1.2	TARRAJEO DE MUROS INTERIORES	M2	228.99		X	X	X				
1.3	TARRAJEO DE MUROS EXTERIORES	M2	480.00		X		X		X		
2.0	SUB SECTOR E5										
2.1	TARRAJEO DE CIELO RASO IMPERMEABILIZADO	M2	22.00			X					FALTA INSTALACION INYECTOR ARE
2.2	TARRAJEO DE MUROS IMPERMEABILIZADO	M2	90.00					X			FALTA INSTALACION INYECTOR ARE
3.0	SUB SECTOR E1-E2										
3.1	EXCAVACION MASIVA	M3	773.32	X	X	X	X	X	X		
3.2	ELIM MAT CARO MARVAL L'VOLQUETE 8V0 V+30	M3	322.43	X	X	X	X	X			
3.3	ACARREO INTERNO, PROCEDENTE DE EXCAVACIONES	M3	74.59	X	X	X	X	X			
3.4	CONCRETO CICLOPEO 1:10 + 30% F.G. EN FALSA	M3	194.41	X	X	X	X	X	X		

Figura 38. Formato Programación Semanal

Fuente: Elaboración propia

La planificación semanal además nos servirá como una referencia para la generación de planificaciones diarias (ver ítem 3.3.6).

### 3.6. Desarrollo de la planificación diaria y parte diario de producción

Dentro de la propuesta de implementación de la filosofía *Lean Construction* estará incluida la implementación de la planificación diaria de trabajos por cada frente (ver Figura 39), esto nos permitirá llegar a un nivel de planificación de gran

detalle donde podremos apreciar la secuencia tentativa en la que el personal involucrado distribuirá su tiempo para completar las actividades planeadas.

El criterio de evaluación será el mismo que el de la planificación semanal, pero los beneficios serán mayores puesto que obtendremos información diaria de las restricciones identificadas y así tomar una medida correctiva inmediata. Dentro del plan diario se deberá considerar:

- Actividades que se ejecutarán durante el día, se identificará el sector o sub sector donde se realizarán.
- Cada actividad deberá contar con un responsable de cuadrilla, estos podrán ser el maestro de frente, capataces por especialidades o jefes de grupo designados.
- Se detallarán los datos de los obreros involucrados en las actividades como sus respectivas categorías.
- Se detallará el metrado a ejecutar por cada actividad.
- Se indicará el tiempo de ejecución en función al rendimiento esperado por la cuadrilla, teniendo así la posibilidad de que la misma cuadrilla ejecute varias actividades en el transcurso de la jornada.

CHLM		PLANIFICACION DIARIA									
Obra:		AMPLIACION Y MEJORAMIENTO DEL NUEVO HOSPITAL MOQUEGUA									
Fecha de Elaboración:		06/07/2016									
Programación		FRENTE 1									
ACTIVIDAD GENERAL	SECTOR	ACTIVIDAD ESPECIFICA	Categ:	Personal	#Obr	#Cuad	Metrado	un	hh	% Cumpl.	Horario
ALBAÑILERIA Y CIMENTACION				MDROTE BENJAMIN							
RELLENO Y COMPACTACION	B2 EXTERIOR	RELLENO Y COMPACTACION CON VIBROAFISONADOR	AY	COAQUIRA AGUILAR LUCIO	1	2	8	M2	8,50		07:30 a 17:00
			OP	MARTINEZ GOMEZ JUAN ALBERTO	1				8,50		
TAPADO DE LADRILLOS DE TECHO	B2	TAPADO DE LADRILLOS DE TECHO	AY	MAMANI VILCAPAZA FRANCISCO	1	2	300	UND	8,50		07:30 a 17:00
			OP	CCAIRA ESCALANTE SIMEON	1				8,50		
CONTRAPISO	E2 1° NIVEL	VACIADO DE CONTRAPISO	OP	CALDERON IRRAZABAL OSWALDO	1	11	60	M2	8,50		07:30 a 17:00
			OP	ARANDA PUSAICO JOHN KILDER	1				8,50		
			AYU	PARILLO CAHUI ANDRES	1				8,50		
			AY	MAMANI FLORES EMILIO	1				8,50		
			OP	GLITIEBREZ RAMIREZ WILDOR ANTON	1				8,50		
			OP	MAMANI FERNANDEZ JULIO MIGUEL	1				8,50		
			OP	ALVARES ANCCO POLICARPIO TEODD	1				8,50		
			OP	MELENDEZ MAMANI HIGINIO SILVE	1				8,50		
			AY	FLORES CHACOLLA ALBERTO	1				8,50		
			AY	FUENTES COSCO JOSE ROLANDO	1				8,50		
OP	NINA CRUZ RICARDO	1	8,50								

Figura 39. Formato Planificación Diaria

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, tenemos el Parte Diario de Producción (*Figura 40*), el cuál es un documento que resume el día a día de lo realmente ejecutado y el recurso (personal obrero) realmente empleado.

El parte diario de producción es un documento en el cual se muestra el listado cuadrillas dividido por cada frente de trabajo y estos a su vez divididos por cada especialidad (estructuras, arquitectura) y también se muestran las partidas a ser ejecutadas durante la jornada, como resultado se coloca el metrado total ejecutado por las cuadrillas dentro de cada actividad en específico. Teóricamente el parte diario de producción tendría que ser el fiel reflejo de la planificación diaria, pero esto no se da debido a la variabilidad que pueda presentarse durante la ejecución de las mismas. El flujo que seguirá el parte diario de producción será el siguiente:

- Oficina Técnica actualizará los formatos según el avance del proyecto y procederá a entregarlos al área de Producción.

- Producción revisará y dará su visto bueno al formato presentado para posteriormente ser entregados a los responsables de su llenado (maestros, capataces, jefes de grupo).
- Los responsables en campo deberán presentar el formato correctamente llenado a cada Ing. De Producción por frente de trabajo para su revisión y aprobación.
- Una vez revisado la información pasa a Oficina Técnica para procesarla y obtener los resultados en función a la planificación diaria.
- Los resultados son comunicados de forma inmediata al área de producción y posteriormente se debate las causas de no cumplimiento de las actividades que no alcanzaron el objetivo trazado.

CHM		PARTE DIARIO DE PRODUCCIÓN						
OBRA:		PLIFICACION Y MEJORAMIENTO DEL NUEVO HOSPITAL MIQUEL				ACTUALIZADO A LA FECHA:		15/02/2016
FASE:								
DESCRIPCION FASE:								
CODIGO		CED-2611-02-01-85-01						
PARTIDAS DE CONTROL								
		DESCRIPCION DE ACTIVIDADES	ZAPATAS	ESCALERAS	COLUMNAS	VIGUETAS	PEDESTALES	
COD	CATEG.	APELLIDOS Y NOMBRES	HH	HH	HH	HH	HH	
1	OP FIER.	MAYORGA PIMIENTA TOMAS						
2	OP FIER.	RUSTINZA POMA ALEJANDRO MARIO						
3	OP FIER.	LOZADA PADILLA JOSE LUIS						
4	OP FIER.	MILLA MILLA ROLANDO GUCERIO						
5	OP FIER.	MUÑOZ CHAVEZ LUIS RICARDO						
6	OP FIER.	PALACIOS RIVAS JUAN CARLOS						
7	OP FIER.	VALENCIA C. ELADIO						
8	OP FIER.	MAMANI PANTALEON						
METRADO TOTAL								
UNIDAD			KG	KG	KG	KG	KG	

Figura 40. Formato Parte Diario de Producción

Fuente: Elaboración propia.

### **3.7. Desarrollo del Informe Semanal de Producción**

Una vez implementado el parte diario de producción, estos formarán parte de la alimentación de información para la elaboración del informe semanal de producción.

Para el desarrollo del informe semanal de producción se tendrá en cuenta la información presentada en el plan meta interno, como por ejemplo la partida de tarrajeo frotachado en muros exteriores tiene un metrado total de 19 990,00 m<sup>2</sup> con un total de 28 159,17 HH previstas en función al APU (rendimiento de 1,47 hh/m<sup>2</sup>), ver Apéndice A.

**Tabla 9***Previsión del PPTO META para revoques y enlucidos*

PARTIDA DE CONTROL	UND	PREVISION PPTO META (1)		
		METRADO	HH	REND
<b>REVOQUES Y ENLUCIDOS</b>			<b>144 647,17</b>	
Tarrajeo primario, mortero 1:5; tarrajeo frotachado e impermeabilizado de muros interiores.	m <sup>2</sup>	15 379,24	12 303,40	0,80
Tarrajeo frotachado en muros interiores.	m <sup>2</sup>	53 009,14	71 763,77	1,35
Tarrajeo frotachado en muros exteriores 1:4, e=1,5 cm.	m <sup>2</sup>	19 199,00	28 159,17	1,47
Tarrajeo frotachado de muros con baritina capa base; tarrajeo frotachado de muros con baritina capa final.	m <sup>2</sup>	1 137,50	1 004,18	0,88
Tarrajeo frotachado de muros con baritina capa aislante.	m <sup>2</sup>	568,75	728,00	1,28
Vestiduras de derrames e=0,15.	ml	7 426,79	4 753,15	0,64
Bruñas 1cm x 1cm, bruñas 5cm x 5cm.	ml	11 717,31	4 686,92	0,40
Cielorrasos con mezcla C:A 1:5, cielorrasos con baritina capa base.	m <sup>2</sup>	20 724,55	19 385,74	0,94
Cielorrasos con baritina capa aislante.	m <sup>2</sup>	169,06	205,58	1,22
Cielorrasos con baritina capa final.	m <sup>2</sup>	169,06	186,88	1,11
Vestiduras de fondo de escaleras.	m <sup>2</sup>	599,80	539,82	0,90
Cantonera	ml	1 377,60	930,57	0,68

Fuente: Elaboración propia

Dentro de esta primera etapa de elaboración solo se considerará las partidas que serán ejecutadas por casa (llámese así a todas las actividades que no fueron presentadas como ejecución por un tercero dentro del plan meta aprobado), las cuales irán variando según el avance del proyecto.

Luego se proveerá la información acumulada de la semana anterior, donde se resumirá el metrado acumulado y las horas hombre consumidas acumuladas dándonos como resultado un rendimiento acumulado con corte de fecha al último día de la semana anterior. Estos resultados son comparados con el presupuesto meta mediante la variación acumulada a la fecha corte y el CPI (Índice del desempeño

del costo o *Cost Performance Index* por sus siglas en inglés) el cual es una medida que nos muestra que tan eficientemente se está gastando el presupuesto del proyecto, si el resultado es mayor a 1 indica que el proyecto está pagando menos por el trabajo hecho en función al costo que se planificó pero si el resultado es menor a 1 indica que se está utilizando mayor recurso.

Para obtener la variación acumulada es necesario primer obtener las horas hombre acumuladas en función al presupuesto meta, el cual se obtiene aplicando la Ecuación 2, esto representa las horas hombre que debieron utilizarse:

$$META\ ACUM_{.HH} = METRADO\ ACUM.\ x\ REND.\ META \quad \text{Ecuación 2}$$

Luego obtenemos la diferencia entre las horas hombre meta acumulada y las horas hombre reales (ver Ecuación 3) para así obtener la variación acumulada de horas hombre, si el resultado es positivo significa que estamos ganando horas hombre y si el resultado es negativo muestra que estamos empleando mayor cantidad de horas hombre del previsto:

$$VARIACION\ ACUM_{.HH} = META\ ACUM_{.HH} - HH\ ACUM.\ \quad \text{Ecuación 3}$$

El CPI es la división de las horas hombre que debieron utilizarse (META ACUM) y las horas hombre que realmente se utilizaron, como se muestra en la Ecuación 4; si el resultado supera el 100% representa ganancia en la partida, pero si el resultado es menor al 100% representa déficit en la partida:

$$CPI = META ACUM_{HH} / HH REALES$$

Ecuación 4

**Tabla 10**

*Variación y CPI acumulados a la semana 11 de la partida de concreto*

PARTIDA DE CONTROL	UND	ACUMULADO ANTERIOR (2) AL: 13/03/2016			META ACUM.	VAR. ACUM.	CPI ACUM (2/1)
		METRADO	HH	REND.	HH	HH	%
<b>CONCRETO</b>			<b>5 510,45</b>		<b>4 852,94</b>	<b>-657,51</b>	<b>88%</b>
Concreto zapatas, sobrecimiento reforzado, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligeradas 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	1 136,38	1 069,55	0,94	1056,83	-12,72	99%
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	289,70	403,28	1,39	538,85	135,57	134%
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	227,14	356,34	1,57	321,02	-35,33	90%
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	703,57	962,10	1,37	756,34	-205,76	79%
Concreto columneta	m <sup>3</sup>	107,68	1 162,53	10,80	964,78	-197,75	83%
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 280 210, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280.	m <sup>3</sup>	1 184,85	1 077,07	0,91	983,43	-93,64	91%
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	32,51	245,32	7,55	80,61	-164,71	33%
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	70,27	234,25	3,33	151,08	-83,17	64%

Fuente: Elaboración propia

Una vez completada la información previa se procederá a realizar el llenado de los datos de la presente semana (semana en evaluación), estos serán alimentados

de manera diaria por los partes diarios de producción correspondientes a cada frente de trabajo obteniendo así los rendimientos por día de cada partida ejecutada.

**Tabla 11**

*Resumen de partidas por día laborado*

PARTIDA DE CONTROL	UND	LUNES 14/03/2016			VIERNES 18/03/2016		
		METRADO	HH	REND.	METRADO	HH	REND.
<b>CONCRETO</b>			<b>40,50</b>			<b>18,13</b>	
Concreto zapatas, sobre cimiento reforzado, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligeradas 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	8.98	10.00	1.11	0.00	0.00	0.00
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	1.08	1.00	0.93
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	4.15	3.20	0.77
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	25.98	21.50	0.83	23.95	13.93	0.58
Concreto columneta	m <sup>3</sup>	0.47	3.50	7.45	0.00	0.00	0.00
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 280 210, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280.	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	0.41	5.50	13.41	0.00	0,00	0.00

Fuente: Elaboración propia

El resumen de la semana es simplemente la suma de metrados y horas hombre empleadas en alguna partida en específica obteniendo así un rendimiento

promedio semanal. Luego se obtendrá la variación y el CPI correspondiente a la semana evaluada empleando las mismas fórmulas mostradas anteriormente.

**Tabla 12**

*Variación y CPI a la semana 12 de la partida de concreto*

PARTIDA DE CONTROL	UND	TOTAL, PRESENTE SEMANA HH			META	VAR.	CPI
		METRADO	HH	REND.	P.S. HH	P.S. HH	ACT. (3/1) %
<b>CONCRETO</b>			<b>178,32</b>		<b>215,07</b>	<b>36,75</b>	<b>121 %</b>
Concreto zapatas, sobre cimiento reforzado, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligeradas 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	36,81	16,00	0,43	34,23	18,23	214%
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	1,08	1,00	0,93	2,01	1,01	201 %
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	9,50	8,45	0,89	13,43	4,98	159 %
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	131,78	97,62	0,74	141,66	44,04	145 %
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	2,20	30,00	13,64	19,71	-10,2	66 %
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 280 210, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100 %
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	0,14	5,25	37,50	0,35	-4,90	7 %
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	1,71	20,00	11,70	3,68	-16,3	18 %

Fuente: Elaboración propia

El acumulado actual será simplemente la suma de los resultados (metrados y horas hombre) de la presente semana y el acumulado anterior, este resultado será copiado al análisis de la semana entrante, por ejemplo: los resultados mostrados de

la semana 12 alimentarán a la semana 13. La obtención de la variación y CPI acumulados se realizará de la misma forma que la semana evaluada.

**Tabla 13**

*Variación y CPI acumulados a la semana 12 de la partida de concreto*

PARTIDA DE CONTROL	UND	TOTAL HH ACUMULADO AL:			META ACUM. HH	VAR. ACT. HH	CPI ACUM. (4/1) %
		20/03/2017 (4) = (2+3) METRADO HH REND.					
<b>CONCRETO</b>			<b>5 688,77</b>		<b>5 068,00</b>	<b>-620,76</b>	<b>89 %</b>
Concreto zapatas, sobre cimiento reforzado, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligeradas 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	1 173,19	1 085,55	0,93	1 091,06	5,51	101 %
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	290,78	404,28	1,39	540,85	136,57	134 %
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	236,64	364,79	1,54	334,44	-30,35	92 %
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	835,35	1 059,72	1,27	898,00	-161,72	85 %
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	109,88	1 192,53	10,85	984,50	-208,03	83 %
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 280 210, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280.	m <sup>3</sup>	1 184,85	1 077,07	0,91	983,43	-93,64	91 %
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	32,65	250,57	7,68	80,96	-169,61	32 %
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	71,98	254,25	3,53	154,76	-99,49	61 %

Fuente: Elaboración propia

Obtenidos los resultados acumulados hasta la semana en evaluación se realizará un ejercicio para obtener el saldo actual de metrado y horas hombre de

cada partida evaluada, ver Ecuación 5 y 6 respectivamente. Primero se obtendrá el metrado restante por ejecutar, el cual es la diferencia entre el metrado acumulado hasta la última semana evaluada y el metrado previsto en el presupuesto meta:

$$METRADO\ SALDO = METRADO\ ACUM. - METRADO\ META \quad \text{Ecuación 5}$$

Para obtener la cantidad de horas hombre necesarias para completar el metrado saldo obtenido emplearemos el rendimiento de la última semana evaluada, ya que está representa el estado real de respuesta de las cuadrillas en la ejecución de las diferentes partidas.

$$H.H.\ SALDO = METRADO\ SALDO \times RENDIMIENTO\ ACUM. \quad \text{Ecuación 6}$$

Por lo tanto, las horas hombre total estimado a emplear para la ejecución de las partidas será la suma de las H.H. SALDO y las H.H. ACUMULADAS a la última semana evaluada.

$$H.H.\ ESTIMADO\ AL\ TERMINO = H.H.\ SALDO + H.H.\ ACUM. \quad \text{Ecuación 7}$$

Obteniendo así una variación final (ver Ecuación 8) de la diferencia entre las horas hombre del presupuesto meta y las horas hombre estimadas al término.

$$VAR.\ TOTAL = H.H.\ PPTO\ META - H.H.\ ESTIMADO\ AL\ TERMINO \quad \text{Ecuación 8}$$

El CPI final será la división de las horas hombre que debieron utilizarse (PPTO META) y las horas hombre que realmente estimadas al término, ver Ecuación 3-8; si el resultado supera el 100 % representa ganancia en la partida, pero si el resultado es menor al 100 % representa déficit en la partida:

$$CPI = HH \text{ META} / HH \text{ EST. AL TERMINO}$$

Ecuación 9

**Tabla 14**

*Cálculo de estimación al término de la partida de concreto*

PARTIDA DE CONTROL	UND	SALDO ACTUAL			ESTIMADO AL TÉRMINO		
		(5) = (1-4)			(6) = (4+5)		
		MET:	HH	REND.	MET.	HH	REND.
<b>CONCRETO</b>			<b>17 086,09</b>			<b>22 774,85</b>	
Concreto zapatas, sobre cimiento reforzado, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligeradas 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	542,03	501,54	0,93	1 715,22	1 587,09	0,93
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	194,22	270,03	1,39	485,00	674,31	1,39
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	1 275,86	1 966,81	1,54	1 512,50	2 331,61	1,54
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	2 430,65	3 083,50	1,27	3 266,00	4 143,22	1,27
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	425,12	4.614,01	10,85	535,00	5 806,54	10,85
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 280 210, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280.	m <sup>3</sup>	5 152,00	4 683,34	0,91	6 336,85	5 760,41	0,91
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	160,89	1 234,94	7,68	193,54	1 485,51	7,68
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	202,06	713,72	3,53	274,04	967,97	3,53

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 15**

Variación y CPI finales estimados con corte a la semana 12 de la partida de concreto

PARTIDA DE CONTROL	UND	META	VAR.	CPI
		TOTAL HH	META HH	PRO. (6/1) %
<b>CONCRETO</b>		<b>19 286,36</b>	<b>-3 488,49</b>	<b>85 %</b>
Concreto zapatas, sobre cimiento reforzado, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligeradas 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	1 595,15	8,06	101 %
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	902,10	227,79	134 %
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	2 137,62	-193,99	92 %
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	3 510,95	-632,27	85 %
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	4 793,60	-1 012,94	83%
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 280 210, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280.	m <sup>3</sup>	5 259,59	-500,83	91 %
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	479,98	-1 005,53	32 %
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	589,19	-378,78	61 %

Fuente: Elaboración propia

Para obtener la variación final de horas hombre del proyecto solo se tendrá que hacer el ejercicio de sumar todas las variaciones obtenidas por cada partida o también podremos obtenerlos hallando la diferencia entre las horas hombre previstas (PPTO META) y la suma de todas las horas hombre estimadas al término de cada partida.

El CPI final estimado del proyecto es la división entre las horas hombre previstas y la suma de horas hombre estimadas al término de cada partida.

$$CPI\ ESTIMADO = HH\ PPTO\ META / \Sigma\ HH\ EST.\ AL\ TERMINO \quad \text{Ecuación 10}$$

### **3.8. Indicadores a medir**

Se empleará la medición de indicadores para ver que tanto ha influido la implementación de la filosofía en la evolución del proyecto. El control se enfocará en la obtención de resultados como Porcentaje de Plan Completado (PPC) y Causas de No Cumplimiento (CNC), ambos se medirán con un periodo semanal con el fin de obtener información valiosa para la toma de decisiones en actividades críticas.

También enfocaremos el control en los resultados obtenidos del Informe Semanal de Producción (ISP), el cual nos indicará como se está llevando el control de horas hombre por cada partida del presupuesto.

Y por último mediremos la productividad de los trabajos pertenecientes a las diferentes cuadrillas de las especialidades analizadas. Determinaremos las características de las actividades realizadas clasificándolas como productivas, contributorias y no contributorias e identificando las causas que involucren los resultados obtenidos.

Todos los indicadores serán medidos semana a semana durante el periodo de 28 semanas, se registrarán para obtener estadísticas de la evolución que se haya experimentado a lo largo de la implementación.

## **CAPÍTULO IV**

### **MÉTODO**

#### **4.1. Tipo de investigación**

El presente trabajo corresponde al tipo de investigación APLICADA. Según Ávila (1997:37) una investigación aplicada se orienta a la aplicación de los conocimientos teóricos a la solución de un problema práctico e inmediato. Se llama también constructiva o utilitaria y le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad circunstancial antes que un conocimiento de valor universal.

Para Murillo (2008), la investigación APLICADA recibe el nombre de “investigación práctica o empírica”, que se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos adquiridos, a la vez que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad.

## **4.2. Población y muestra**

### **4.2.1. Población**

La población en el presente trabajo de investigación corresponde al proyecto: “Ampliación y mejoramiento del Hospital de Moquegua, Nivel II-2” situado en el distrito de Moquegua, Provincia de Mariscal Nieto, departamento de Moquegua. Ejecutado por el Consorcio Hospitalario Moquegua conformado por las empresas ICCGSA – Ingenieros Civiles y Contratistas Generales S.A. e INCOT S.A.C.

### **4.2.2. Muestra**

La muestra en el presente trabajo de investigación corresponde a todo el personal operacional (ayudantes, oficiales, operarios, jefes de grupo, capataces, personal de dirección de proyecto) involucrado en la ejecución de las partidas que involucren las especialidades de estructuras y arquitectura del proyecto durante el periodo de enero del 2016 hasta julio del 2016.

## **4.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Para medir el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía Lean Construction en el proyecto “Ampliación y

mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2” se utilizará como TÉCNICA el REGISTRO.

Como INSTRUMENTO se aplicarán los siguientes formatos:

- Porcentaje del plan completado semanal (PPC SEMANAL) por frente de trabajo.
- Porcentaje del plan completado semanal del proyecto (acumulado semanal de todos los frentes de trabajo).
- Porcentaje del plan completado general del proyecto (envolvente general de todos los frentes de trabajo).
- Causas de no cumplimiento semanal por frente de trabajo.
- Causas de no cumplimiento semanal del proyecto (envolvente semanal de todos los frentes de trabajo).
- Causas de no cumplimiento general del proyecto (envolvente general de todos los frentes de trabajo).
- LookAhead por frente de trabajo.

- Análisis de restricciones por frente de trabajo.
- Informe semanal de producción.
- Cartas balance.
- Curva “S” de avance físico.

#### **4.4. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

El análisis de los datos se realizará de forma cuantitativo (interpretación de resultados estadísticos obtenidos), los datos serán recolectados, tabulados y presentados en tablas y figuras estadísticas, de los cuales se extraerá la información que nos lleve a verificar o no la hipótesis.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1. Porcentaje del plan completado**

El Porcentaje del Plan Completado o PPC se relaciona con el avance físico de la obra comprometido para la semana, se obtiene a través de la división de las actividades completadas entre las actividades comprometidas expresado en porcentaje.

La aplicación del PPC involucró el análisis correspondiente al periodo desde la semana 05 (febrero) hasta la semana 28 (julio). El periodo de implementación y capacitación se dio durante la semana 01 hasta la semana 05. Los resultados se mostrarán de manera individual y en conjunto por los 3 frentes de trabajo obtenidos en la sectorización (ver ítem 3.3.1) desde la semana 05 hasta la semana 28.

### 5.1.1. Porcentaje del plan completado – frente 1

Para fines prácticos mostraremos los resultados obtenidos en la Tabla 16, Tabla 17 y Tabla 18 de la semana 05 (inicio), semana 16 (intermedio) y semana 28 (final) respectivamente, revisar Apéndice F. El resumen de los resultados de las 24 semanas se mostrará en la Tabla 19 y *Figura 41*.

- **Semana 05:**

**Tabla 16**

*PPC de la semana 05 – Frente 1*

<b>PPC SEMANA 05 - FRENTE 1</b>	
Actividades al 100 %	1
Actividades que no se completaron	8
Actividades programadas	9
Actividades no programadas	13
% de cumplimiento	11.11 %

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 16:**

**Tabla 17**

*PPC de la semana 16 – Frente 1*

<b>PPC SEMANA 16 - FRENTE 1</b>	
Actividades al 100 %	10
Actividades que no se completaron	5
Actividades programadas	15
Actividades no programadas	12
% de cumplimiento	66.67 %

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 28:**

**Tabla 18**

*PPC de la semana 28 – Frente 1*

<b>PPC SEMANA 28 - FRENTE 1</b>	
Actividades al 100%	11
Actividades que no se completaron	3
Actividades programadas	14
Actividades no programadas	6
% de cumplimiento	78.57 %

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen frente 1:**

**Tabla 19**

*Evolución del PPC – Frente 1*

<b>SEMANAS</b>	<b>ACTIVIDADES PROGRAMADAS</b>	<b>ACTIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS</b>	<b>PPC</b>	<b>PPC ACUM.</b>
5	9	1	8	11 %	11 %
6	13	2	11	15 %	14 %
7	11	7	4	64 %	30 %
8	10	8	2	80 %	42 %
9	12	5	7	42 %	42 %
10	9	6	3	67 %	45 %
11	10	5	5	50 %	46 %
12	10	4	6	40 %	45 %
13	16	11	5	69 %	49 %
14	19	12	7	63 %	51 %
15	10	6	4	60 %	52 %
16	15	10	5	67 %	53 %
17	17	12	5	71 %	55 %
18	14	9	5	64 %	56 %
19	10	7	3	70 %	57 %
20	10	6	4	60 %	57 %
21	15	4	11	27 %	55 %
22	7	3	4	43 %	54 %
23	7	4	3	57 %	54 %
24	15	6	9	40 %	54 %
25	13	5	8	38 %	53 %
26	15	9	6	60 %	53 %
27	13	9	4	69 %	54 %
28	14	11	3	79 %	55 %

Fuente: Elaboración propia

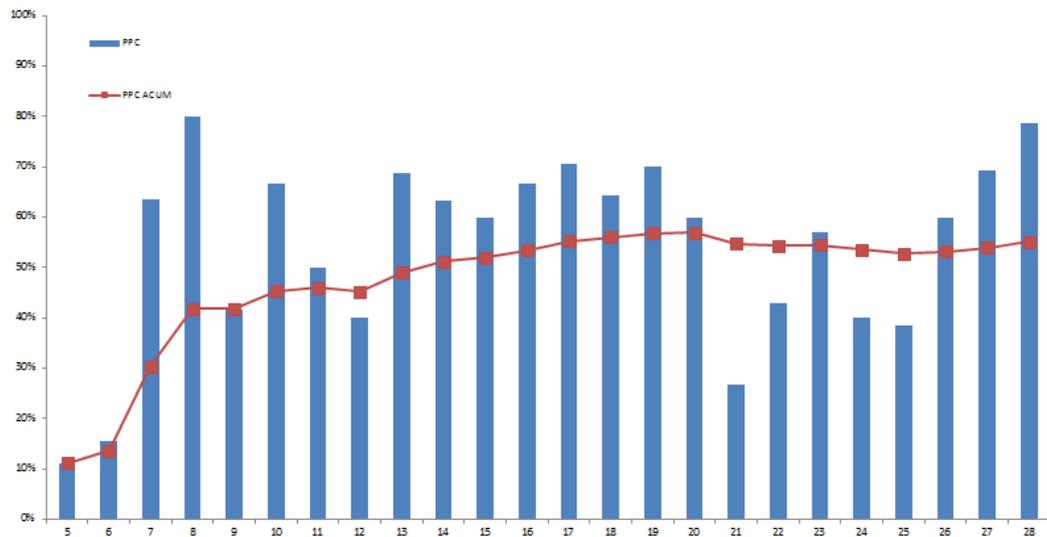


Figura 41. Evolución del PPC – Frente 1

Fuente: Elaboración propia

Desde la semana 05 se llevó un control de los porcentajes de actividades completadas en función al plan semanal correspondiente a la misma semana. De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación en el frente 1 de trabajo podemos observar lo siguiente:

- Durante las semanas 05 y 06, ver *Figura 41*, podemos observar un PPC muy por debajo del esperado debido a que estos representan las semanas de transición entre seguir llevando la planificación del proyecto de manera tradicional a llevar la planificación bajo el enfoque *Lean Construction*. Uno de los factores más importantes dentro de los resultados obtenidos en estas primeras semanas fue las metas elevadas que se establecían al momento de elaborar el plan semanal, los cuales no guardaban relación con los recursos

existentes (personal obrero, materiales, cancha). Esto se refleja en el 11 % y 15 % obtenidos correspondientemente.

- En las semanas posteriores, desde la semana 07 hasta la semana 19, se obtuvieron resultados más favorables debido a que los últimos planificadores presentaban mayor aceptación a la implementación de la filosofía *Lean Construction* y se empezó a llevar la planificación de manera distinta. No obstante dentro de esta etapa se tuvo la necesidad de profundizar en los conceptos que involucra la implementación de las herramientas del *Lean Construction* ya que estos no buscan identificar qué último planificador obtiene el mayor porcentaje completado sino buscan lograr de manera óptima el equilibrio de carga de trabajo entre la capacidad de los recursos existentes, todo esto debido a que durante las semanas siguientes a la 02 las metas semanales fueron disminuidas y esto se reflejó en los elevados porcentajes obtenidos como se muestra en la *Figura 41*.

Durante las semanas 20 a la semana 28 se observa que la curva acumulada se presenta de manera casi lineal, ya en esta etapa se muestra un mayor equilibrio en la carga de trabajo de cada cuadrilla, teniendo metas más coherentes en relación a la realidad del proyecto.

Ya para esta etapa se observó que dentro de cada plan de trabajo semanal se consideraron no solo actividades listas para ejecución, sino que también se empezó a planificar de manera acertada las actividades con

restricciones a punto de ser levantadas lo cual generó una mayor presión por parte del área de producción hacia las diferentes áreas de apoyo (oficina técnica, calidad, seguridad, administración), logrando así involucrar a todo el staff en el cumplimiento de las metas planificadas.

- El PPC semanal y acumulado no necesariamente indican que nuestro desempeño en el frente 1 respecto al tiempo y costo sea óptimo o deficiente, ya que el PPC mide el grado de confiabilidad en el que se está llevando el proyecto. El cálculo del PPC está en función a las actividades completas o mayores al 100 % del metrado propuesto.
- La *Figura 41* nos muestra una curva (línea roja) de aprendizaje positiva, incrementándose un 44 % durante todo el periodo de evaluación.
- El total de actividades planeadas durante las 24 semanas de evaluación fueron 294, de las cuales se dividen en 162 actividades completadas y 132 actividades no completadas dándonos, así como resultado un PPC acumulado de 55 %.
- Como se observa en la *Figura 41*, donde los valores de las coordenadas “x” representan las semanas y las coordenadas “y” el porcentaje completado por semana, la curva de aprendizaje (línea roja) refleja la manera ascendente con la que se llevó la implementación de la filosofía *Lean Construction* dentro del frente 1, todo esto debido al interés presentado por parte de los últimos planificadores.

### 5.1.2. Porcentaje del plan completado – frente 2

Para fines prácticos mostraremos los resultados obtenidos en la Tabla 20, Tabla 21 y Tabla 22 de la semana 06 (inicio), semana 16 (intermedio) y semana 28 (final) respectivamente, revisar Apéndice F. El resumen de los resultados de las 24 semanas se mostrará en la Tabla 23 y *Figura 42*.

- **Semana 06:**

**Tabla 20**

*PPC de la semana 06 – Frente 2*

<b>PPC SEMANA 06 - FRENTE 2</b>	
Actividades al 100 %	5
Actividades que no se completaron	12
Actividades programadas	17
Actividades no programadas	9
% de cumplimiento	29.41 %

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 16:**

**Tabla 21**

*PPC de la semana 16 – Frente 2*

<b>PPC SEMANA 16 - FRENTE 2</b>	
Actividades al 100 %	6
Actividades que no se completaron	9
Actividades programadas	15
Actividades no programadas	10
% de cumplimiento	40.00 %

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 28:**

**Tabla 22**

*PPC de la semana 28 – Frente 2*

<b>PPC SEMANA 28 - FRENTE 2</b>	
Actividades al 100 %	15
Actividades que no se completaron	8
Actividades programadas	23
Actividades no programadas	5
% de cumplimiento	65.22 %

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen frente 2:**

**Tabla 23**

*Evolución del PPC – Frente 2*

<b>SEMANAS</b>	<b>ACTIVIDADES PROGRAMADAS</b>	<b>ACTIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS</b>	<b>PPC</b>	<b>PPC ACUM.</b>
5	0	0	0	0 %	0 %
6	17	5	12	29 %	29 %
7	18	6	12	33 %	31 %
8	15	9	6	60 %	40 %
9	14	9	5	64 %	45 %
10	11	5	6	45 %	45 %
11	19	10	9	53 %	47 %
12	13	3	10	23 %	44 %
13	10	2	8	20 %	42 %
14	13	5	8	38 %	42 %
15	13	5	8	38 %	41 %
16	15	6	9	40 %	41 %
17	15	4	11	27 %	40 %
18	16	5	11	31 %	39 %
19	16	7	9	44 %	40 %
20	17	1	16	6 %	37 %
21	18	11	7	61 %	39 %
22	16	7	9	44 %	39 %
23	15	13	2	87 %	42 %
24	12	5	7	42 %	42 %
25	12	3	9	25 %	41 %
26	12	7	5	58 %	42 %
27	17	12	5	71 %	43 %
28	23	15	8	65 %	45 %

Fuente: Elaboración propia.

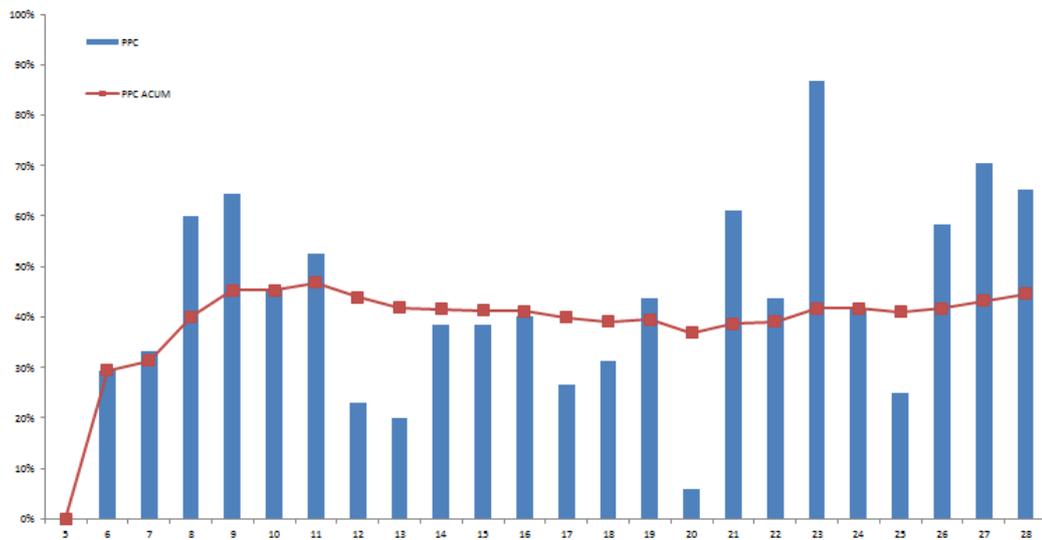


Figura 42. Evolución del PPC – Frente 2

Fuente: Elaboración propia

En el frente 2 se empezó a llevar un control de porcentajes de actividades completadas a partir de la semana 06 debido a que el último planificador responsable del frente no presentó el plan semanal correspondiente a la semana 05, todo esto debido a que al ser una filosofía que nos muestra una manera diferente de llevar el control del proyecto a la tradicional que se venía empleando tiene como principal obstáculo la resistencia al cambio. De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación en el frente 2 podemos observar lo siguiente:

- Durante las semanas 06 y 07, ver *Figura 42*, podemos observar un PPC bajo debido a que estos representan las semanas de transición entre seguir llevando la planificación del proyecto de manera tradicional a llevar la planificación bajo el enfoque *Lean Construction*. El principal factor dentro de los resultados obtenidos en estas primeras semanas fue que el último planificador planeo

todas las actividades listas a ejecutar bajo su punto de vista, pero no se percató de las restricciones (ver ítem 5.2.2 causas de no cumplimiento del frente 2) existentes dentro de las actividades planificadas, de las cuales algunas resultaron imposibles de levantar debido al poco tiempo que presentaban. Otro factor dentro de los resultados obtenidos en estas primeras semanas, 29 % y 33 % respectivamente, fue la reincidencia en planificar las actividades en las cuales se identificó restricciones críticas que llevarían varios días en ser levantadas debido a la complejidad y procesos de los mismos (ejemplo: aprobaciones de planos estructurales por parte de los proyectistas responsables de la supervisión de obra).

- Durante las siguientes semanas se observa picos de hasta 64 % del plan completado y posteriormente se tuvieron caídas de hasta al 6 %, todo esto debido a una fallida interpretación de la finalidad de las herramientas implementadas. La elaboración de un plan semanal tiene como finalidad identificar nuestro ITE (Inventario de Trabajos Ejecutables) libres de restricciones y/o con restricciones próximas a ser levantadas para así poder asegurar el flujo de trabajo en las cuadrillas más no busca realizar un gran inventario de actividades sin considerar las restricciones que pudiesen presentar durante su ejecución lo cual generará tiempos muertos (desperdicios) mientras se busca la forma de levantarlas, interrumpiendo el flujo de trabajo en las cuadrillas. Otro punto que juega un papel muy importante dentro de la implementación de la filosofía *Lean Construction* es que los últimos planificadores crean que los resultados obtenidos serán a favor del proyecto.

Para que esta nueva filosofía y sus herramientas se lleguen a aplicar de manera efectiva es necesario que los responsables de frente sean los encargados de implementarlas.

Durante las semanas posteriores a la semana 20 se observa que los resultados se tornan más satisfactorios, teniendo picos de 87 % de plan completado, debido a la reinducción realizada para fortalecer los conceptos expuestos durante las semanas de preparación. Ya en esta etapa del proyecto se logró conseguir un mayor equilibrio en la carga de trabajo de cada cuadrilla, teniendo mayor consideración a las restricciones y así lograr un mayor flujo de trabajo en las diferentes actividades.

- El PPC semanal y acumulado del frente 2 no necesariamente indica que nuestro desempeño no sea óptimo, ya que el PPC mide el grado de confiabilidad en el que se está llevando el proyecto pudiendo así tener metas muy elevadas que serían imposibles de cumplir debido a que no hubo un balance de carga entre el trabajo y los recursos disponibles, pero obteniendo índices de productividad dentro de lo aceptable en función al plan meta. Todo esto se da debido a que el cálculo del PPC está en función a las actividades completadas o mayores al 100 % del metrado planificado.
- La *Figura 42* nos muestra una curva (línea roja) de aprendizaje positiva, incrementándose un 16 % durante todo el periodo de evaluación.

- El total de actividades planeadas durante las 24 semanas de evaluación fueron 347, de las cuales se dividen en 155 actividades completadas y 192 actividades no completadas dándonos, así como resultado un PPC acumulado de 45 %.
- Como se observa en la *Figura 42*, donde los valores de las coordenadas “x” representan las semanas y las coordenadas “y” el porcentaje completado por semana, la curva de aprendizaje (línea roja) refleja las dificultades presentadas durante la implementación de la filosofía *Lean Construction* en el frente 2, teniendo como principal obstáculo la resistencia al cambio y la adaptación hacia nuevas formas de llevar la planificación y control de un proyecto.

### **5.1.3. Porcentaje del plan completado – frente 3**

Para fines prácticos mostraremos los resultados obtenidos en la Tabla 24, Tabla 25 y Tabla 26 de la semana 05 (inicio), semana 16 (intermedio) y semana 28 (final) respectivamente, revisar Apéndice F. El resumen de los resultados de las 24 semanas se mostrará en la Tabla 27 y *Figura 43*.

- **Semana 05:**

**Tabla 24**

*PPC de la semana 06 – Frente 3*

<b>PPC SEMANA 05 - FRENTE 3</b>	
Actividades al 100 %	5
Actividades que no se completaron	8
Actividades programadas	13
Actividades no programadas	3
% de cumplimiento	38.46 %

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 16:**

**Tabla 25**

*PPC de la semana 16 – Frente 3*

<b>PPC SEMANA 16 - FRENTE 3</b>	
Actividades al 100 %	12
Actividades que no se completaron	3
Actividades programadas	15
Actividades no programadas	9
% de cumplimiento	80.00 %

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 28:**

**Tabla 26**

*PPC de la semana 28 – Frente 3*

<b>PPC SEMANA 28 - FRENTE 3</b>	
Actividades al 100%	13
Actividades que no se completaron	3
Actividades programadas	16
Actividades no programadas	2
% de cumplimiento	81.25%

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen frente 3:**

**Tabla 27**

*Evolución del PPC – Frente 3*

<b>SEMANAS</b>	<b>ACTIVIDADES PROGRAMADAS</b>	<b>ACTIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS</b>	<b>PPC</b>	<b>PPC ACUM.</b>
5	13	5	8	38 %	38 %
6	14	4	10	29 %	33 %
7	12	7	5	58 %	41 %
8	13	2	11	15 %	35 %
9	13	4	9	31 %	34 %
10	20	10	10	50 %	38 %
11	19	11	8	58 %	41 %
12	17	3	14	18 %	38 %
13	16	5	11	31 %	37 %
14	14	12	2	86 %	42 %
15	12	6	6	50 %	42 %
16	15	12	3	80 %	46 %
17	18	9	9	50 %	46 %
18	7	5	2	71 %	47 %
19	16	7	9	44 %	47 %
20	27	13	14	48 %	47 %
21	6	5	1	83 %	48 %
22	5	4	1	80 %	48 %
23	6	6	0	100 %	49 %
24	10	4	6	40 %	49 %
25	11	8	3	73 %	50 %
26	13	8	5	62 %	51 %
27	15	12	3	80 %	52 %
28	16	13	3	81 %	53 %

Fuente: Elaboración propia

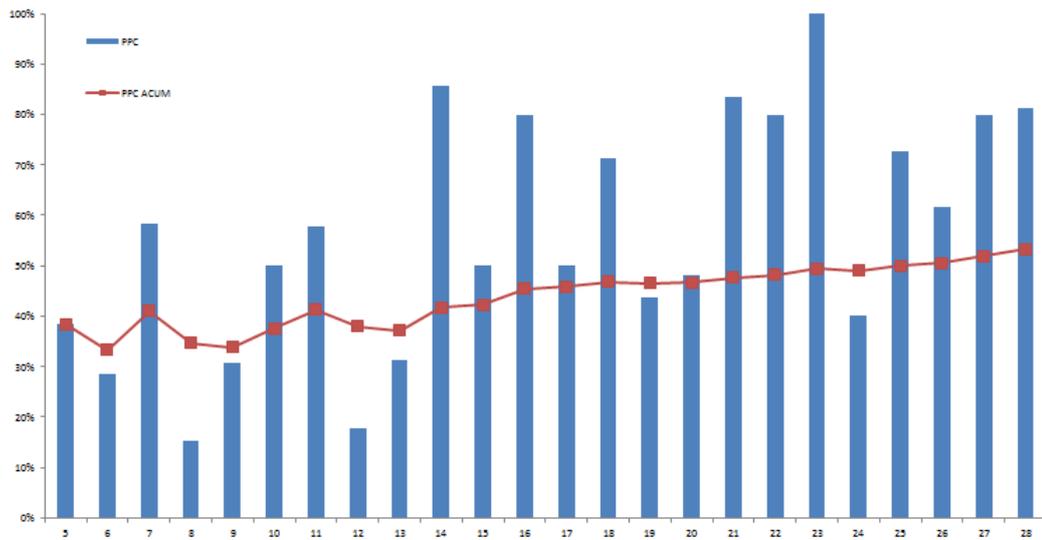


Figura 43. Evolución del PPC – Frente 3

Fuente: Elaboración propia

Desde la semana 05 se llevó un control de los porcentajes de actividades completadas en función al plan semanal correspondiente a la misma semana. De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación en el frente 3 de trabajo podemos observar lo siguiente:

- Durante las semanas 05 y 06, ver *Figura 43*, podemos observar un PPC muy por debajo del esperado debido a que estos representan las semanas de transición entre seguir llevando la planificación del proyecto de manera tradicional a llevar la planificación bajo el enfoque *Lean Construction*. Una de las mayores dificultades con las que nos topamos dentro de la etapa de implementación en el frente 3 fue la resistencia al cambio mostrado por los últimos planificadores. Como se puede observar en la *Figura 59*, donde los valores de las coordenadas “x” representan las semanas y las coordenadas “y”

el porcentaje completado por semana, la curva de aprendizaje (línea roja) se refleja de manera ascendente pero el gráfico de barras por semana presenta semanas con porcentajes elevados seguidos de semanas con porcentajes bajos, esto debido a una fallida interpretación de la finalidad de las herramientas implementadas. La elaboración de un plan semanal tiene como finalidad identificar nuestro ITE (Inventario de Trabajos Ejecutables) libres de restricciones y/o con restricciones próximas a ser levantadas para así poder asegurar el flujo de trabajo en las cuadrillas más no busca realizar un gran inventario de actividades sin considerar las restricciones que pudiesen presentar durante su ejecución lo cual generará tiempos muertos (desperdicios) mientras se busca la forma de levantarlas, interrumpiendo el flujo de trabajo en las cuadrillas.

- Otro factor influyente dentro de los resultados obtenidos en estas primeras semanas fue las metas elevadas que se establecían al momento de elaborar el plan semanal, los cuales no guardaban relación con los recursos existentes (personal obrero, materiales, cancha, ingeniería).

Durante la semana 21 a la semana 28 se observa que la curva acumulada se presenta de manera favorable, ya en esta etapa se muestra un mayor equilibrio entre las actividades del plan semanal y los recursos disponibles, teniendo metas más coherentes con relación a la realidad del proyecto. Ya para esta etapa se observó que dentro de cada plan de trabajo semanal se consideraron no solo actividades listas para ejecución, sino que también se

empezó a planificar de manera acertada las actividades con restricciones a punto de ser levantadas.

- La variabilidad presente en el proyecto está directamente relacionado a los resultados obtenidos dentro del PPC de las diferentes semanas, particularmente en el frente 3 jugó un papel muy importante debido a que este era el responsable de aperturar partidas críticas ( como por ejemplo la partida de aisladores sísmicos que debieron ser importados de EE.UU.) y éstas a su vez dependían de varios factores externos al proyecto (logística de adquisición y pagos, pruebas de calidad, importación, trámites en aduanas, transporte desde EE.UU – Lima y Lima – Moquegua) los cuales influyen directamente en el cumplimiento de partidas sucesoras (como por ejemplo encofrado de losas, vigas y capiteles; acero de refuerzo en losas, vigas y capiteles; concreto en losas, vigas y capiteles).

**Tabla 28**

*Cronograma de llegada a Lima de aisladores sísmicos*

DESCRIPCIÓN		FECHA DE SALIDA DE FÁBRICA - EE. UU.					
		30/03/16	06/04/16	13/04/16	20/04/16	27/04/16	04/05/16
PROPUESTA	N° Aisladores	FECHA DE LLEGADA A LIMA					
		09/05/16	16/05/16	23/05/16	30/05/16	06/06/16	13/06/16
Aisladores y Anclajes Superiores C5		<b>41</b>					
Tipo de Aislador F	12	12					
Tipo de Aislador G	12	12					
Tipo de Aislador I	13	13					
Tipo de Slider L	4	4					
Aisladores y Anclajes Superiores C2		<b>30</b>					
Tipo de Aislador B	10		10				
Tipo de Aislador F	10		10				
Tipo de Aislador G	10		10				
Aisladores y Anclajes Superiores C1		<b>20</b>					
Tipo de Aislador E	6		6				
Tipo de Aislador H	8		8				
Tipo de Aislador J	5			5			
Tipo de Slider L	1			1			
Aisladores y Anclajes Superiores D1-D2		<b>65</b>					
Tipo de Aislador D	34			24	10		
Tipo de Aislador C	31			18	13		
Aisladores y Anclajes Superiores B1-B2		<b>60</b>					
Tipo de Aislador A	54				2	22	30
Tipo de Slider K	6					2	4

Fuente: Elaboración propia

- La *Figura 43* refleja las dificultades presentadas durante la implementación de la filosofía *Lean Construction* en el frente 3, teniendo como principal obstáculo la resistencia al cambio y la adaptación hacia nuevas formas de llevar la planificación y control de un proyecto. Esto se ve reflejado en que el 63 % de las causas por las que no se pudo completar los objetivos planteados en los planes semanales corresponden a un bajo nivel de la programación por parte del último planificador (ver ítem 5.2.3).
- En la *Figura 43* se muestra una curva (línea roja) de aprendizaje positiva, incrementándose un 15 % durante todo el periodo de evaluación.
- El total de actividades planeadas durante las 24 semanas de evaluación fueron 328, de las cuales se dividen en 175 actividades completadas y 153 actividades no completadas dándonos, así como resultado un PPC acumulado de 53 %.

#### **5.1.4. Porcentaje del plan completado general**

Los resultados generales obtenidos de la envolvente generada por los datos de los tres frentes de trabajo se presentan en la Tabla 29 y *Figura 44* a continuación:

**Tabla 29***Evolución del PPC – General*

<b>SEMANAS</b>	<b>ACTIVIDADES PROGRAMADAS</b>	<b>ACTIVIDADES REALIZADAS</b>	<b>ACTIVIDADES NO CUMPLIDAS</b>	<b>PPC</b>	<b>PPC ACUM.</b>
5	22	6	16	27 %	27 %
6	44	11	33	25 %	26 %
7	41	20	21	49 %	35 %
8	38	19	19	50 %	39 %
9	39	18	21	46 %	40 %
10	40	21	19	53 %	42 %
11	48	26	22	54 %	44 %
12	40	10	30	25 %	42 %
13	42	18	24	43 %	42 %
14	46	29	17	63 %	45 %
15	35	17	18	49 %	45 %
16	45	28	17	62 %	46 %
17	50	25	25	50 %	47 %
18	37	19	18	51 %	47 %
19	42	21	21	50 %	47 %
20	54	20	34	37 %	46 %
21	39	20	19	51 %	47 %
22	28	14	14	50 %	47 %
23	28	23	5	82 %	48 %
24	37	15	22	41 %	48 %
25	36	16	20	44 %	48 %
26	40	24	16	60 %	48 %
27	45	33	12	73 %	49 %
28	53	39	14	74 %	51 %

Fuente: Elaboración propia

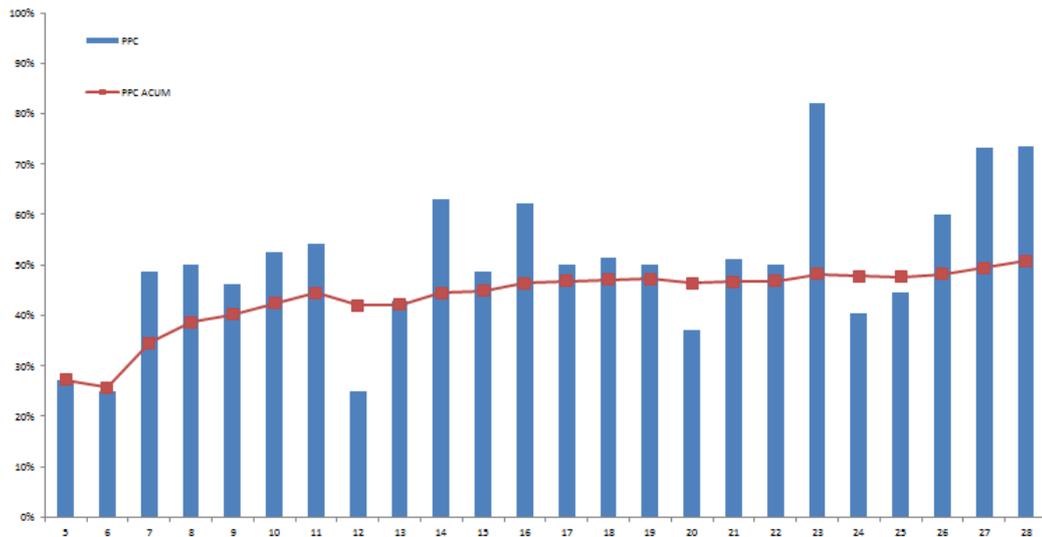


Figura 44. Evolución del PPC – General

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación en los 3 frentes de trabajo, revisar Apéndice G, podemos observar lo siguiente:

- Durante las semanas 05 y 06, ver *Figura 44*, podemos observar un PPC muy bajo debido a que estos representan las semanas de transición entre llevar la planificación del proyecto de manera tradicional a llevar la planificación bajo el enfoque *Lean Construction*.
- El gráfico consolidado nos muestra una curva (línea roja) de aprendizaje positiva, incrementándose un 24 % durante todo el periodo de evaluación.
- La pendiente positiva del PPC ACUMULADO puede dar a entender que se logró implementar, aunque no en un 100 % la metodología del sistema en los

últimos planificadores responsables de cada frente de trabajo ya que los valores del indicador tienden al incremento demostrando así el compromiso y el interés.

- Los valores que se muestran como PPC promedio (PPC ACUM, ver Tabla 29) se calculó mediante la suma de actividades realizadas entre la suma de actividades programadas; por ejemplo, el PPC ACUM a la semana 16 es de 46 %, resultado obtenido de dividir la sumatoria de las actividades realizadas desde la semana 5 hasta la semana 16 entre la sumatoria de las actividades programadas desde la semana 5 hasta la semana 16.
- Botero y Álvarez (2005) citan a Howell (2002) quien sostiene que un buen desempeño del indicador PPC deberá estar por encima del 80 % y un desempeño pobre está por debajo del 60 %. Teniendo, así como resultados la semana 23 como única semana de buen desempeño con 82 % y las semanas 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24 y 25 como semanas de desempeño pobre.
- El total de actividades planeadas durante las 24 semanas de evaluación fueron 969, de las cuales se dividen en 492 actividades completadas y 477 actividades no completadas dándonos, así como resultado un PPC acumulado de 51 %.
- Durante todo el proceso de implementación existieron casos en los que se ejecutaron actividades no planificadas –consideradas como actividades buffer-

las cuales fueron cuantificadas mas no fueron consideradas en la evaluación del PPC semanal, todo esto debido a que el PPC mide el cumplimiento del plan semanal propuesto.

- El indicador es de fácil manipulación, si el 100 % del PPC representa una planificación perfecta sería fácil que para lograr este objetivo se podría ingresar en la planificación semanal pocas actividades o actividades con bajo metrado para así asegurar el cumplimiento de todas las actividades y se obtendría el 100 % anhelado, pero no se sabe si con estas consideraciones se están cumpliendo los objetivos del proyecto y posiblemente se esté demasiado atrasado respecto al plan master. Para esto fue fundamental la revisión de los planes semanales en función del plan intermedio y este a su vez con el plan master del proyecto para de esta forma lograr relacionar el avance general del proyecto con la correcta elaboración del plan semanal.
- Los resultados bajos obtenidos no indican que el desempeño del proyecto sea deficiente, esto debido a que el indicador mide el cumplimiento de las actividades planeadas teniendo como criterio contabilizar como actividad completada aquella que se cumplió al 100 % y como actividad no completada a aquellas que tuvieron un porcentaje de cumplimiento menor al 100 % (actividades con porcentaje de cumplimiento de 95, 97, 99 son consideradas como no completadas).

## 5.2. Causas de no cumplimiento

Llevar un registro de las causas de no cumplimiento identificadas en cada semana de evaluación y aprender de ellas es la base de la mejora continua, si no se logra identificar el origen del problema difícilmente se llegará a tomar las acciones correctivas a tiempo para evitar volver a caer en el mismo error.

La identificación de las CNC involucró el análisis de cada semana evaluada, desde la semana 05 (febrero) hasta la semana 28 (julio). Los resultados se mostrarán de manera individual y en conjunto por los 3 frentes de trabajo obtenidos en la sectorización (ver ítem 3.3.1).

Para crear una base estadística de todas las causas de no cumplimiento dentro del periodo evaluado se empezará creando un catálogo de causas de no cumplimiento para luego asociarlos en grupos que representen el área en el que se originó el problema. Dentro del proyecto manejaremos 9 grupos diferentes, los cuales son:

- **PROG-CONT (Programación Contratista)**

En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Inadecuada utilización de las herramientas de programación.

- Errores y/o cambios realizados durante la etapa de programación.
  - Mala asignación de los recursos existentes.
  - Restricciones no identificadas de manera oportuna.
  - Sobredimensionamientos de metrados en la etapa de programación.
- **LOG-CONT (Logística Contratista)**

En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Falta de materiales en obra.
- Llegada tardía a obra de pedidos realizados por producción.
- Mala interpretación de pedidos realizados por producción: adjudicación de materiales que no cumplen con las especificaciones establecidas.
- Falta de suministro de materiales de proveedores terceros por falta de pagos.

- **EM-CONT (Equipos Contratista)**

En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Averías o fallas en equipos propios y alquilados.
- Mantenimientos no programados de equipos.
- Tardía adjudicación de equipos.

- **LIB-CONT (Liberaciones / Calidad Contratista)**

En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Entrega oportuna de información (procedimientos) a producción.
- Liberación tardía de partidas predecesoras. Falta de responsables de calidad.
- Falta de pruebas para liberación de actividades predecesoras (IISS, IIEE, movimiento de tierras, etc.).

- Atrasos debido a retrabajos<sup>7</sup> en el proceso constructivo, errores de ejecución por lo cual no se pudieron completar otras actividades programadas.

- **ING-CONT (Ingeniería Contratista)**

En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Modificación de planos durante la ejecución. Cambios en la ingeniería.
- Cambio del alcance de las diferentes actividades.
- Falta de compatibilización de planos en especialidades.
- Respuesta pendiente a RFI's planteados a los proyectistas.

- **SUPERV (Supervisión)**

En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Todas las causas que impliquen responsabilidad de la supervisión de obra (falta de información, cambios o errores en la ingeniería, falta de liberación de las diferentes actividades, demora en aprobación de procedimientos, demora en aprobación de materiales, etc.).

- **CLIENTE**

En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Todas las causas que impliquen responsabilidad del cliente (falta de información, cambios en la ingeniería, demora en pago de valorizaciones, demora en definición de materiales, etc.).

- **OTROS**

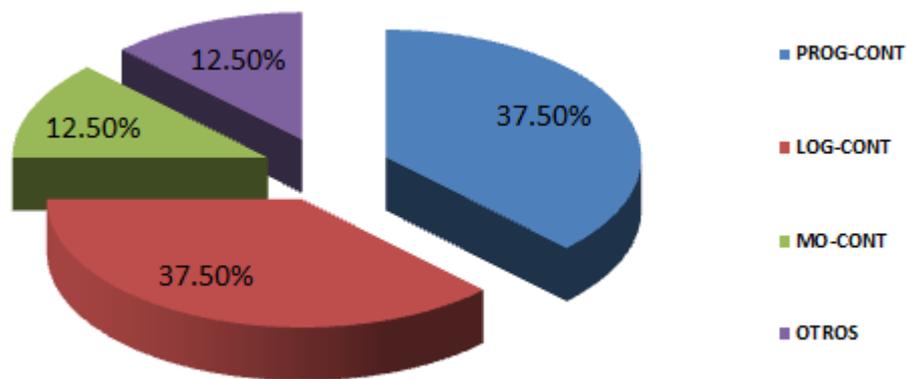
En este grupo asociaremos todas las causas que impliquen:

- Todas las causas ajenas al proyecto (problemas con viviendas colindantes al proyecto, problemas con población, etc.).
- Subcontratistas de obra.
- Retrasos por razones climáticas extraordinarias.
- Marchas sindicales sin previo aviso, huelgas, accidentes dentro de obra, eventos sociales, etc.

### 5.2.1. Causas de no cumplimiento – frente 1

A continuación, se muestran los resultados obtenidos (*Figuras 45, 46 y 47*) en la semana 05 (inicio), semana 16 (intermedio) y semana 28 (final) respectivamente, revisar Apéndice F. El resumen de los resultados de las 24 semanas evaluadas se mostrará en la Tabla 30 y *Figura 48*.

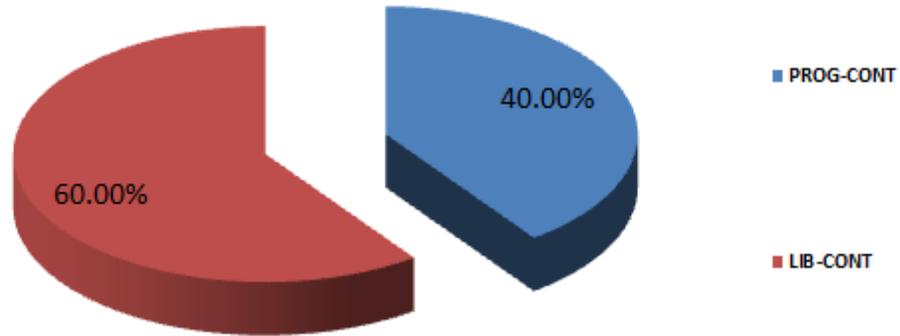
- **Semana 05:**



*Figura 45.* CNC de la semana 05 – Frente 1

Fuente: Elaboración propia

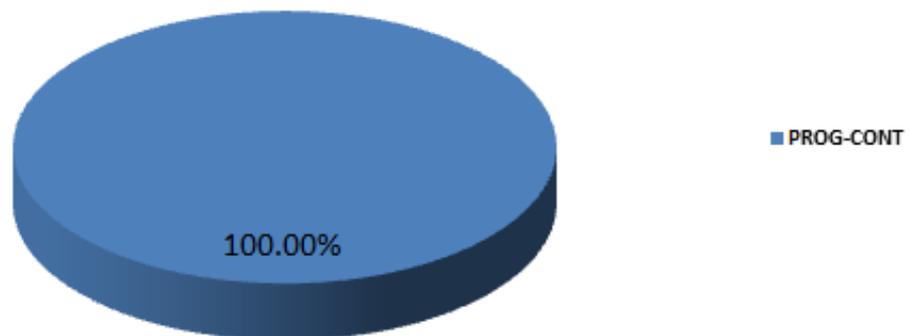
- **Semana 16:**



*Figura 46.* CNC de la semana 16 – Frente 1

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 28:**



*Figura 47.* CNC de la semana 28 – Frente 1

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen frente 1:**

**Tabla 30**

*Causas de No Cumplimiento acumulado – Frente 1*

<b>SEMANAS</b>	<b>PROG- CONT</b>	<b>LOG- CONT</b>	<b>EM- CONT</b>	<b>MO- CONT</b>	<b>LIB- CONT</b>	<b>ING- CONT</b>	<b>SUPERV</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>OTROS</b>
5	3	3	0	1	0	0	0	0	1
6	4	2	0	0	0	5	0	0	0
7	0	0	0	1	1	2	0	0	0
8	0	0	0	0	2	0	0	0	0
9	5	0	0	0	2	0	0	0	0
10	1	0	0	0	1	0	0	0	1
11	4	0	0	0	1	0	0	0	0
12	1	1	0	0	0	3	0	0	1
13	1	0	0	0	3	1	0	0	0
14	5	0	0	0	2	0	0	0	0
15	3	0	0	0	1	0	0	0	0
16	2	0	0	0	3	0	0	0	0
17	3	0	0	0	2	0	0	0	0
18	4	0	0	0	0	1	0	0	0
19	2	0	0	0	1	0	0	0	0
20	0	0	0	2	2	0	0	0	0
21	10	0	0	0	1	0	0	0	0
22	1	0	0	0	1	2	0	0	0
23	0	1	0	0	0	2	0	0	0
24	3	3	0	0	0	3	0	0	0
25	3	2	0	1	0	2	0	0	0
26	3	0	0	1	0	2	0	0	0
27	2	1	0	0	1	0	0	0	0
28	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sub-Total</b>	<b>63</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>6</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3</b>

Fuente: Elaboración propia

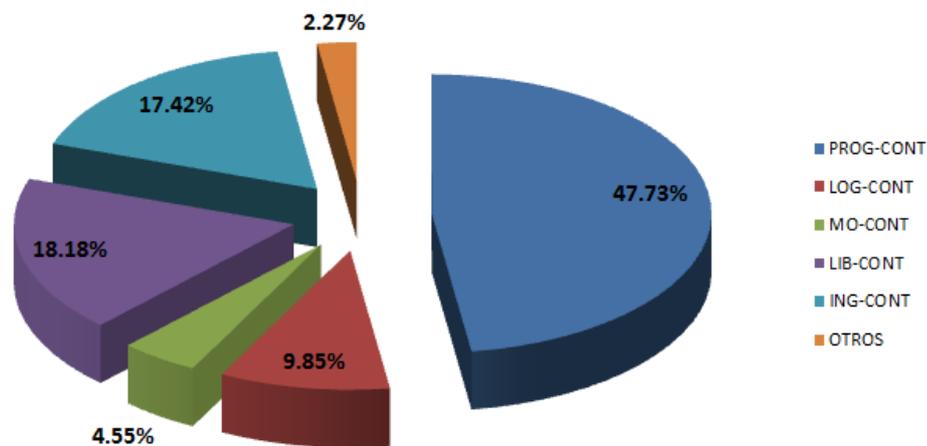


Figura 48. Causas de No Cumplimiento acumulado – Frente 1

Fuente: Elaboración propia

Desde la semana 05 se llevó un control de las causas de no cumplimiento de cada semana evaluada. De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación en el frente 1 de trabajo podemos observar lo siguiente:

- Las causas de no cumplimiento se registraron e identificaron por medio de códigos asignados a grupos de razones establecidas que permitan encontrar las razones que hubo para no poder ejecutar una actividad según lo planeado.
- Durante las 24 semanas de evaluación se obtuvieron un total de 132 actividades no completadas, teniendo así 132 causas de no cumplimiento. Dentro de las actividades evaluadas se identificaron más de una causa de no cumplimiento por actividad de los cuales se consideró solo la de mayor impacto.

- Como se observa en la *Figura 48* el grupo PROG-CONT representa el 47,73 % de las causas de no cumplimiento, dentro de este grupo podemos encontrar causas de no cumplimiento como: Inadecuada utilización de las herramientas de programación - Mala asignación de recursos – Errores o cambios en la programación – Restricciones que no fueron identificadas de manera adecuada. Esto quiere decir que la mayor parte de fallas provienen de errores de programación y administración de recursos.
- El 52,27 % de causas de no cumplimiento se encuentra agrupado en los siguientes grupos: 9,85 % LOG-CONT; 4,55 % MO-CONT; 18,18 % LIB-CONT; 17,42 % ING-CONT y 2,27 % OTROS.
- Como se observa en la *Figura 48* las causas de no cumplimiento de mayor impacto (47,73 %) del frente 1 se encuentra en el grupo Programación, esto quiere decir que la mayor parte de fallas provienen de errores cometidos por el último planificador.

### **5.2.2. Causas de no cumplimiento – frente 2**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos (*Figuras 49, 50 y 51*) en la semana 06 (inicio), semana 16 (intermedio) y semana 28 (final) respectivamente, revisar Apéndice F. El resumen de los resultados de las 24 semanas evaluadas se mostrará en la Tabla 31 y *Figura 52*.

- **Semana 06:**

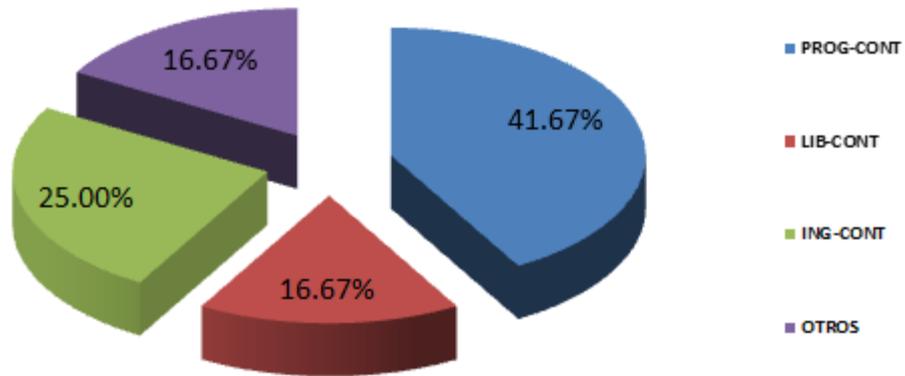


Figura 49. CNC de la semana 06 – Frente 2

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 16:**

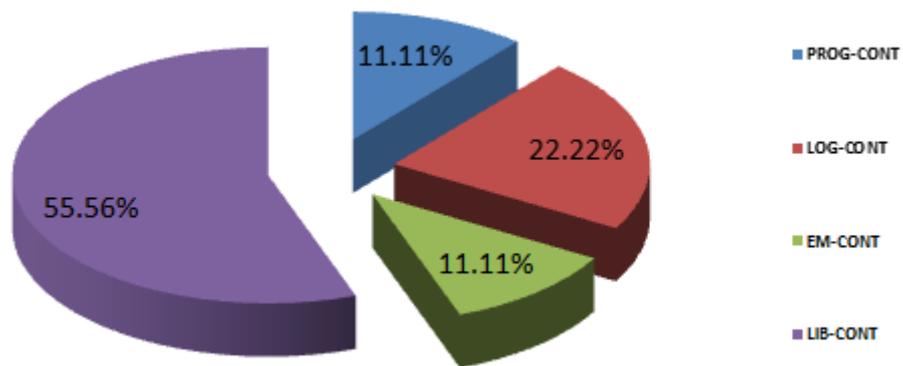
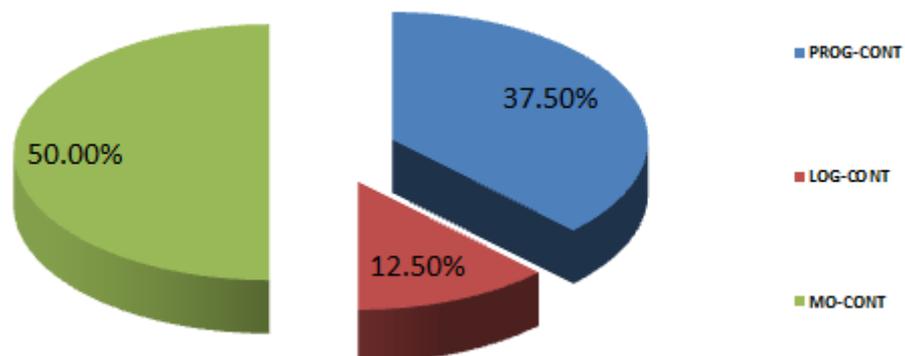


Figura 50. CNC de la semana 16 – Frente 2

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 28:**



*Figura 51.* CNC de la semana 28 – Frente 2

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen frente 2:**

**Tabla 31**

*Causas de No Cumplimiento acumulado – Frente 2.*

<b>SEMANAS</b>	<b>PROG- CONT</b>	<b>LOG- CONT</b>	<b>EM- CONT</b>	<b>MO- CONT</b>	<b>LIB- CONT</b>	<b>ING- CONT</b>	<b>SUPERV</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>OTROS</b>
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	0	0	0	2	3	0	0	2
7	3	0	0	0	7	2	0	0	0
8	3	0	0	0	3	0	0	0	0
9	2	0	0	0	2	0	0	0	1
10	2	0	0	0	4	0	0	0	0
11	6	0	0	0	3	0	0	0	0
12	5	0	0	0	4	0	0	0	1
13	6	0	0	0	1	0	0	0	1
14	7	0	0	0	1	0	0	0	0
15	5	0	0	1	2	0	0	0	0
16	1	2	1	0	5	0	0	0	0
17	7	3	0	0	1	0	0	0	0
18	4	4	0	0	1	2	0	0	0
19	9	0	0	0	0	0	0	0	0
20	4	1	0	2	5	0	0	0	4
21	6	0	0	0	1	0	0	0	0
22	7	0	0	0	2	0	0	0	0
23	2	0	0	0	0	0	0	0	0
24	5	0	0	2	0	0	0	0	0
25	8	0	0	0	1	0	0	0	0
26	5	0	0	0	0	0	0	0	0
27	3	1	0	0	0	0	0	0	1
28	3	1	0	4	0	0	0	0	0
<b>Sub-Total</b>	<b>108</b>	<b>12</b>	<b>1</b>	<b>9</b>	<b>45</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10</b>

Fuente: Elaboración propia

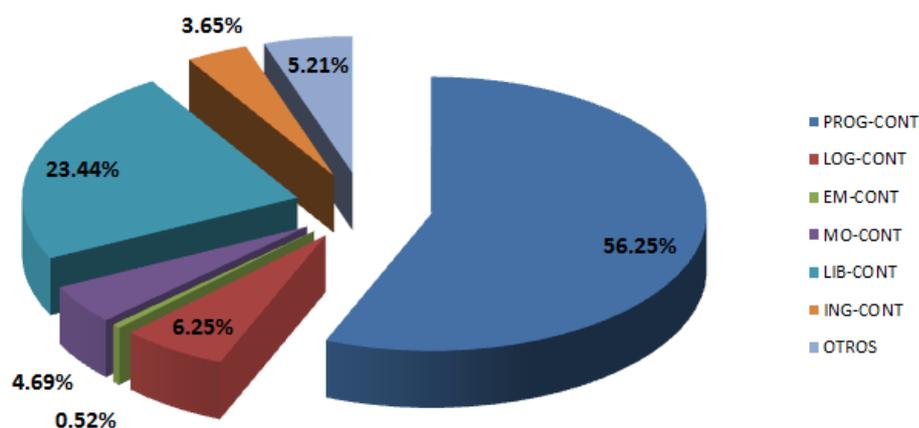


Figura 52. Causas de No Cumplimiento acumulado – Frente 2

Fuente: Elaboración propia

Desde la semana 05 se llevó un control de las causas de no cumplimiento de cada semana evaluada. De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación en el frente 1 de trabajo podemos observar lo siguiente:

- Durante las 23 semanas de evaluación se obtuvieron un total de 192 actividades no completadas, teniendo así 192 causas de no cumplimiento. Dentro de las actividades evaluadas se identificaron más de una causa de no cumplimiento por actividad de los cuales se consideró solo la de mayor impacto.
- Como se observa en la *Figura 52* los grupos de mayor incidencia son PROG-CONT (56,25 %) y LIB-CONT (23,44 %), teniendo como principales causas la malinterpretación de la finalidad de implementar el *Last Planner System* o Sistema del Último Planificador dentro del proyecto, generando así que los objetivos del plan semanal se vean distorsionados y el campo de lo que SE

HARÁ durante la semana en ejecución se convierta en el SE PUEDE del plan intermedio.

Otro de los factores está reflejado en el Inventario de Trabajos Ejecutables, donde se incluían actividades con restricciones críticas (que involucraban mayor tiempo del previsto por el último planificador para poder ser levantados) generando así tener actividades imposibles de ser completas ya que no se contaba con la aprobación por el área de calidad debido al incumplimiento dentro de los procedimientos constructivos.

- El 21 % de causas de no cumplimiento restantes se encuentran en los siguientes grupos: LOG-CONT (6,25 %); EM-CONT (0,52 %); MO-CONT (4,69 %); ING-CONT (3,65 %) y OTROS (5,21 %). Esto quiere decir que la mayor parte de las fallas provienen de errores en programación y liberaciones / calidad, por lo que se necesita poner mayor énfasis en estos grupos y así poder incrementar el nivel de confianza.

### **5.2.3. Causas de no cumplimiento – frente 3**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos (*Figuras 53, 54 y 55*) en la semana 05 (inicio), semana 16 (intermedio) y semana 28 (final) respectivamente, revisar Apéndice F. El resumen de los resultados de las 24 semanas evaluadas se mostrará en la Tabla 32 y *Figura 56*.

- **Semana 05:**

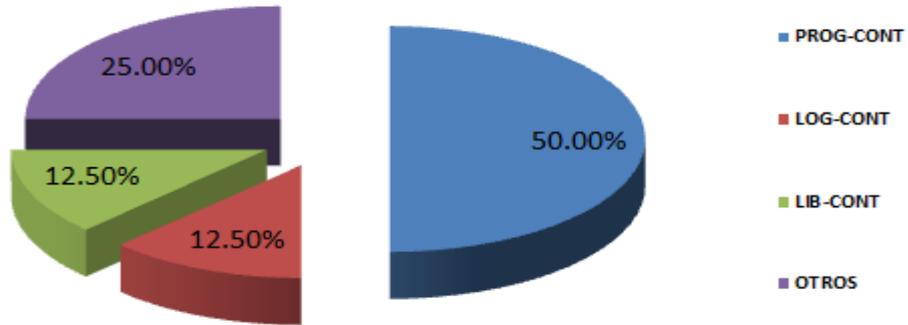


Figura 53. CNC de la semana 05 – Frente 3

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 16:**

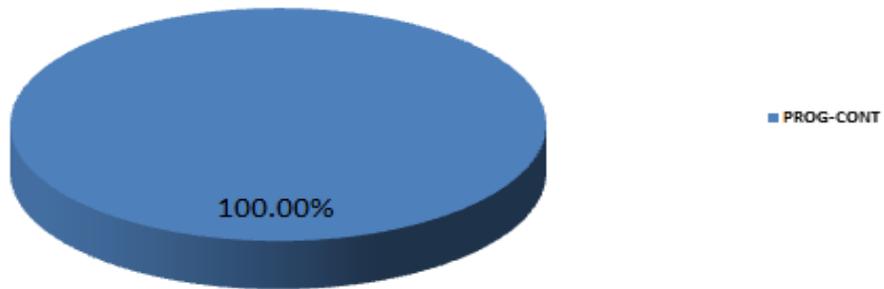
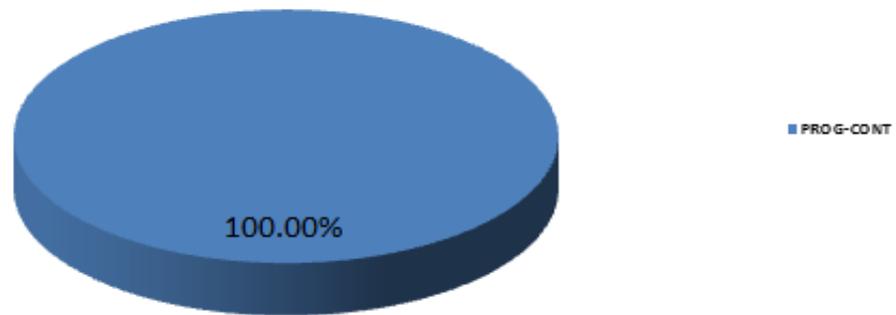


Figura 54. CNC de la semana 16 – Frente 3

Fuente: Elaboración propia

- **Semana 28:**



*Figura 55. CNC de la semana 28 – Frente 3*

Fuente: Elaboración propia

- **Resumen frente 3:**

**Tabla 32**

*Causas de No Cumplimiento acumulado – Frente*

<b>SEMANAS</b>	<b>PROG- CONT</b>	<b>LOG- CONT</b>	<b>EM- CONT</b>	<b>MO- CONT</b>	<b>LIB- CONT</b>	<b>ING- CONT</b>	<b>SUPERV</b>	<b>CLIENTE</b>	<b>OTROS</b>
5	4	1	0	0	1	0	0	0	2
6	8	0	0	0	1	0	0	0	1
7	4	0	0	1	0	0	0	0	0
8	11	0	0	0	0	0	0	0	0
9	5	0	0	0	2	0	0	0	2
10	6	0	0	0	1	0	0	0	3
11	6	2	0	0	0	0	0	0	0
12	10	0	0	0	0	2	0	0	2
13	5	0	0	1	4	0	0	0	1
14	2	0	0	0	0	0	0	0	0
15	5	0	1	0	0	0	0	0	0
16	3	0	0	0	0	0	0	0	0
17	5	2	0	0	2	0	0	0	0
18	1	0	0	0	1	0	0	0	0
19	6	0	0	0	1	0	0	0	2
20	2	3	0	1	1	0	0	0	7
21	1	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	1	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	4	0	0	2	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	3	0	0	0	0
26	2	0	0	3	0	0	0	0	0
27	3	0	0	0	0	0	0	0	0
28	3	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Sub-Total</b>	<b>96</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>8</b>	<b>18</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>20</b>

Fuente: Elaboración propia

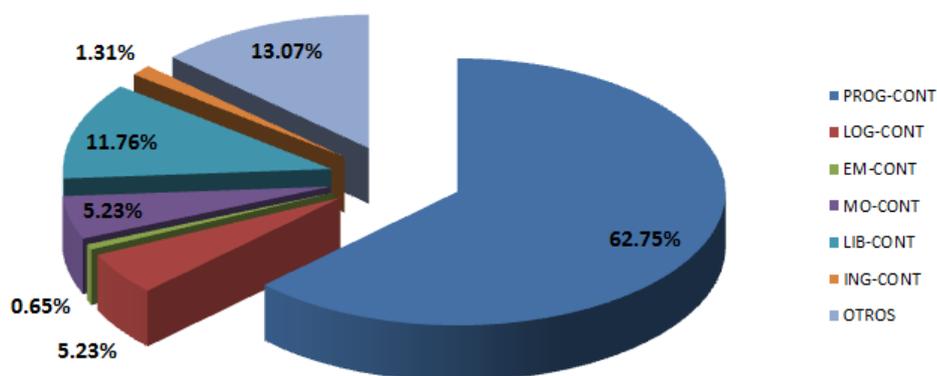


Figura 56. Causas de No Cumplimiento acumulado – Frente 3

Fuente: Elaboración propia

Desde la semana 05 se llevó un control de las causas de no cumplimiento de cada semana evaluada. De los resultados obtenidos durante el periodo de evaluación en el frente 3 de trabajo podemos observar lo siguiente:

- Durante las 24 semanas de evaluación se obtuvieron un total de 153 actividades no completadas, teniendo así 153 causas de no cumplimiento. Dentro de las actividades evaluadas se identificaron más de una causa de no cumplimiento por actividad de los cuales se consideró solo la de mayor impacto.
- Como se observa en la *Figura 56* el grupo PROG-CONT representa el 62,75 % de las causas de no cumplimiento, teniendo, así como principal causa la programación realizada por el último planificador. Si se analiza el *Figura 43* (ver ítem 5.1.3.) se pueden identificar caídas fuertes dentro del cumplimiento en diferentes semanas las cuales tienen origen en la mala programación efectuada por el último planificador responsable del frente de trabajo, si

analizamos la desviación existente en zonas como la semana 11 hasta la semana 12 podemos observar la desviación existente del PPC con una variabilidad de 40 %, desde la semana 23 hasta la semana 24 observamos una desviación del PPC con una variabilidad de 60 %.

- El 37,25 % de causas de no cumplimiento restante se encuentra en los siguientes grupos: LOG-CONT (5,23 %); EM-CONT (0,65 %); MO-CONT (5,23 %); LIB-CONT (11,76 %), ING-CONT (1,31 %) y OTROS (13,07 %).
- Como se observa en la Tabla 27 (ver ítem 5.1.3.) la semana 08 y 12 presentan un total de 11 y 14 actividades no completadas respectivamente, y en la Tabla 32 podemos observar que en el 100 % y 71 % respectivamente de las causas de no cumplimiento pertenecen al grupo PROG-CONT, representando el 22 % del total de causas identificadas en este grupo.

#### **5.2.4. Causas de no cumplimiento – general**

Las causas de no cumplimiento buscan minimizar aún más los efectos negativos de la variabilidad obtenida de los análisis efectuados remitiéndose a la forma en que esta actúa contra nuestras programaciones o en otras palabras al motivo de porque una actividad no fue completada con éxito. Tener conocimiento de las causas de no cumplimiento de cada actividad sirvió para obtener datos estadísticos y así revelar los principales problemas que existen en el proyecto.

Después de clasificar todas las causas de no cumplimientos para cada actividad dentro del formato del PPC se obtuvo automáticamente la cantidad de causas de no cumplimiento correspondientes a cada grupo (ver ítem 5.2.) y a partir de estos un cuadro estadístico por cada semana evaluada y un acumulado del total como se muestra en la Tabla 33.

**Tabla 33**

*Causas de No Cumplimiento acumulado – General*

SEMANAS	PROG- CONT	LOG- CONT	EM- CONT	MO- CONT	LIB- CONT	ING- CONT	SUPERV	CLIENTE	OTROS
5	7	4	0	1	1	0	0	0	3
6	17	2	0	0	3	8	0	0	3
7	7	0	0	2	8	4	0	0	0
8	14	0	0	0	5	0	0	0	0
9	12	0	0	0	6	0	0	0	3
10	9	0	0	0	6	0	0	0	4
11	16	2	0	0	4	0	0	0	0
12	16	1	0	0	4	5	0	0	4
13	12	0	0	1	8	1	0	0	2
14	14	0	0	0	3	0	0	0	0
15	13	0	1	1	3	0	0	0	0
16	6	2	1	0	8	0	0	0	0
17	15	5	0	0	5	0	0	0	0
18	9	4	0	0	2	3	0	0	0
19	17	0	0	0	2	0	0	0	2
20	6	4	0	5	8	0	0	0	11
21	17	0	0	0	2	0	0	0	0
22	8	0	0	0	4	2	0	0	0
23	2	1	0	0	0	2	0	0	0
24	12	3	0	4	0	3	0	0	0
25	11	2	0	1	4	2	0	0	0
26	10	0	0	4	0	2	0	0	0
27	8	2	0	0	1	0	0	0	1
28	9	1	0	4	0	0	0	0	0
Sub-Total	267	33	2	23	87	32	0	0	33

Fuente: Elaboración propia

Las causas de no cumplimiento de cada actividad no completada fueron anotadas dentro del formato del PPC y con ellos posibles acciones correctivas a tomar en cuenta, esto permitía adelantarse e identificar posibles problemas en las semanas futuras.

Los resultados obtenidos semana a semana no necesariamente reflejan el estado situacional del proyecto, sino el de una programación en particular. Como podemos observar en las *Figuras 45, 49 y 53* correspondientes a los resultados obtenidos en la primera semana de implementación de cada frente de trabajo las causas de no cumplimiento pertenecen a más de un grupo, 4 grupos diferentes en cada frente. Sin embargo, en la última semana de evaluación, como se observan en las *Figuras 47, 51 y 55*, las causas de no cumplimiento fueron totalmente distintas.

Es importante mencionar que la cantidad que represente un grupo respecto al resto no está directamente ligada al impacto que se tenga en el proyecto, pueden existir causas de no cumplimiento únicos que afecten de gran manera ya sea en tiempo o costo al proyecto. Como se observa en la *Figura 57* la causa de no cumplimiento de mayor porcentaje pertenece al grupo PROG-CONT (56 %) que representan fallas en la propia programación interna de obra (sobredimensionamiento de cuadrillas, errores en el empleo de los recursos, errores en programación) y no podrían representar pérdidas de mayor impacto a la obra las cuales podrían ser recuperadas de manera más sencilla por tratarse de fallas internas, mientras que el grupo OTROS (7 %) que representa las causas ajenas al proyecto (problemas con subcontratistas, retrasos por razones climáticas, marchas

sindicales, huelgas, accidentes dentro de obra) podrían generar un gran impacto lo cual involucraría la utilización de mayores recursos de los previstos afectando directamente a los tiempos y costos establecidos por tratarse de fallas externas.

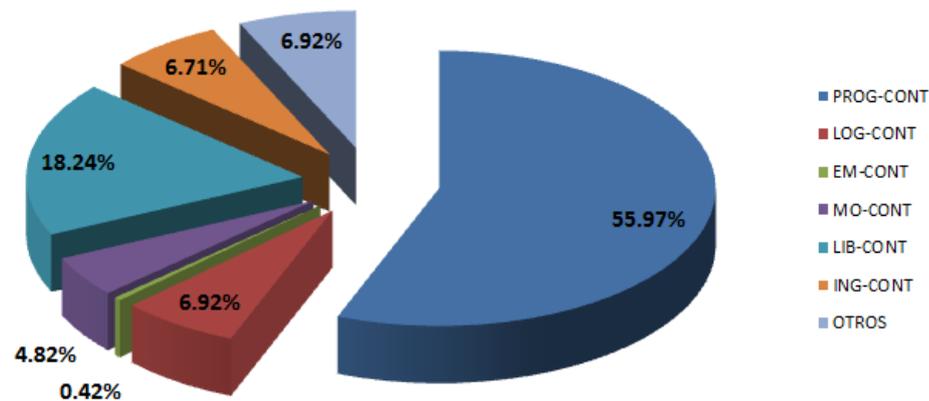


Figura 57. Causas de No Cumplimiento acumulado – General

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la *Figura 57* resulta evidente ver cuáles son las causas de no cumplimiento más frecuentes, PROG-CONT y LIB-CONT. Estos 2 grupos representan el 74,21 %, de tal forma podemos decir que la mayor parte de los problemas identificados por lo cual no se logró completar todas las actividades planeadas pertenecen a estos 2 grupos de manera que si se busca métodos o herramientas que las reduzcan o eliminen lograríamos desaparecer la mayor parte de los problemas y así poder incrementar el nivel de confianza en la programación que se calcula con el PPC. Existen 2 grupos que no tuvieron participación en las causas de no cumplimiento los cuales son SUPERV y CLIENTE, lo cual nos indica

que se llevaron de manera adecuada las restricciones que involucraran a la supervisión de obra y al cliente.

Dentro de los 9 grupos de causas de no cumplimiento identificados podemos asociarlos en causas internas (PROG-CONT, LOG-CONT, EM-CONT, MO-CONT, LIB-CONT, ING-CONT) y causas externas (SUPERV, CLIENTE, OTROS), donde podemos determinar que del total de causas de no cumplimiento el 93,08 % corresponden a causas internas controlables por la empresa y únicamente el 6,92 % corresponden a causas externas las cuales no son de responsabilidad directa de la empresa.

### **5.3. Carta balance**

Se realizó el estudio de las diferentes actividades, a continuación, se mostrarán las más relevantes ejecutadas durante el periodo de implementación como son:

- Vestidura de derrames.
- Tarrajeo frotachado en muros interiores 1:4.
- Relleno con material de préstamo.
- Concreto en muros de sostenimiento.

### **5.3.1. Vestidura de derrames**

Las cuadrillas que conformaban las muestras se distribuían por 02 operarios albañiles y 01 ayudante. Al inicio de la actividad se tiene se tienen los derrames a nivel de columnetas y viguetas, la finalidad de la actividad es dar un acabado de revoque frotachado al derrame. Dentro de esta actividad podemos identificar como:

- **Trabajo productivo:**
  - Colocación de mezcla.
  - Acabado.
  - Preparación de mezcla.
  - Colocación de puntos.
- **Trabajo Contributorio:**
  - Armado de andamio.
  - Preparación / Mojado de derrame.
  - Limpieza derrame / Picado.

- Traslado de material.
  
- **Trabajo No Contributorio:**
  - Limpieza de herramientas.
  
  - Tiempo de espera.
  
  - Viajes / Herramientas.
  
  - Trabajo rehecho.
  
  - Descanso.
  
  - Limpieza de desperdicios.

Identificados los diferentes tipos de trabajos procedemos a asignar una codificación a cada integrante de la cuadrilla y a cada tipo de trabajo identificado, todo esto con el fin de agilizar la toma de datos como se explicó en el ítem 3.3.6.1.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las dos muestras realizadas.

### 5.3.1.1. Primera muestra

A continuación, se muestran los resultados por cada trabajador que conforma la cuadrilla:

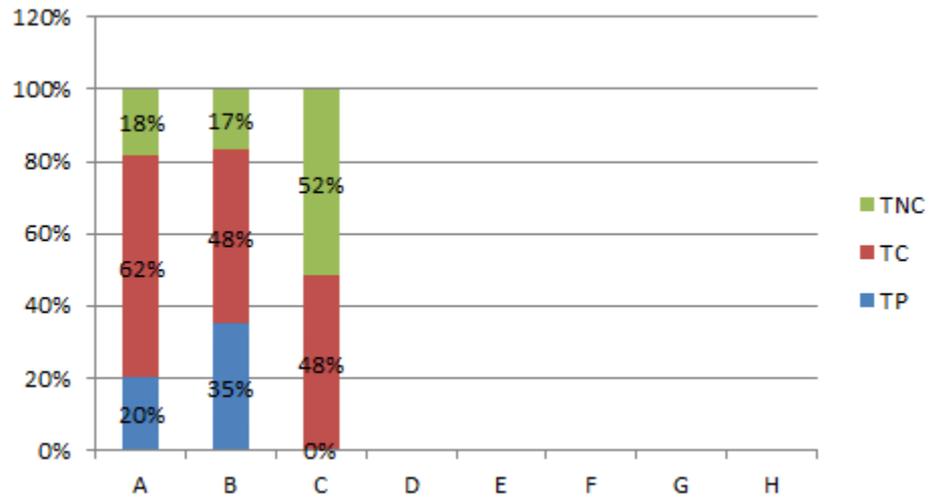


Figura 58. Resultados por cada trabajador de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

Resultados generales de la cuadrilla:

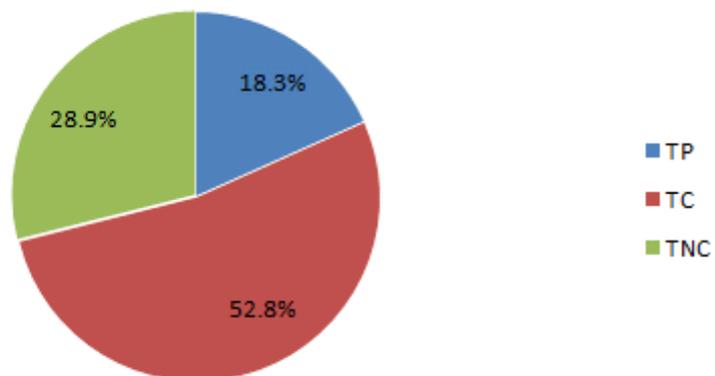


Figura 59. Resultados de cuadrilla de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributorios y no contributorios:

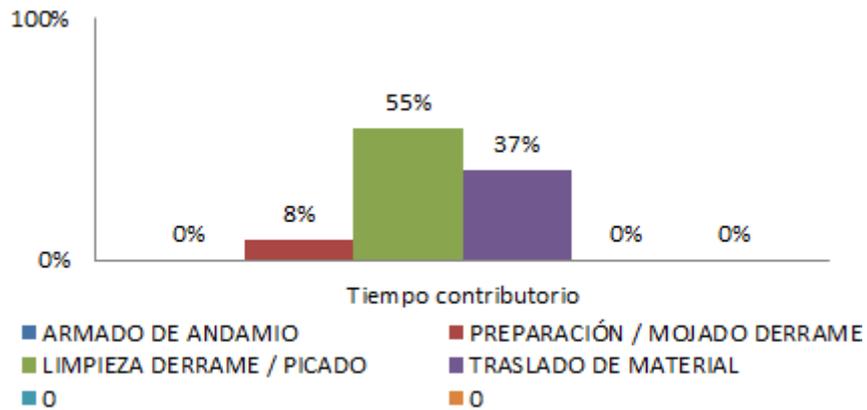


Figura 60. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

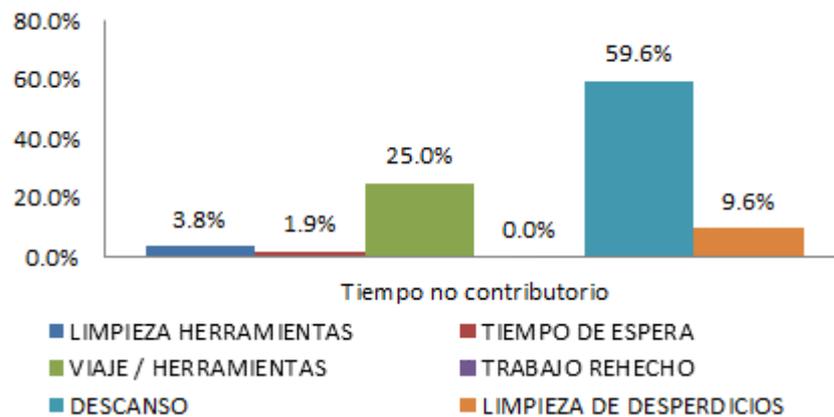


Figura 61. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos.

- La actividad analizada muestra un 18,3 % de tiempos productivos, 52,8 % de tiempos contributorios y 28,9 % de tiempos no contributorios. Teniendo como principal actividad contributorio la limpieza y picado de derrames (55 % del total de tiempos contributorios) y como principal actividad no contributorio el descanso (59,6 % del total de tiempos no contributorios).
- La actividad limpieza y picado de derrames tiene gran incidencia debido al mal estado en el que se encontraban los derrames a ejecutar, esto por el bajo control en las partidas predecesoras lo que demando mayor concentración del tiempo en habilitar la cancha. Como se observa en la *Figura 60* otra actividad con gran incidencia fue el traslado de material (37 % del total de tiempos contributorios), esto debido a que la actividad evaluada se encontraba en un segundo nivel y el cual solo contaba con una vía de acceso que se conglomeraba por la gran cantidad de trabajadores.
- Las actividades Descanso y Viaje / herramientas representan el 84,6 % del total de tiempos no contributorios, los cuales se generaron por el bajo control del personal en campo.
- La cuadrilla se encuentra muy por debajo del rango aceptable (TP>50 %). Solo el 18,3 % del tiempo empleado en la ejecución de la actividad Vestidura de Derrames agregan valor al proyecto.

### 5.3.1.2. Segunda muestra

Resultados por cada trabajador perteneciente a la cuadrilla:

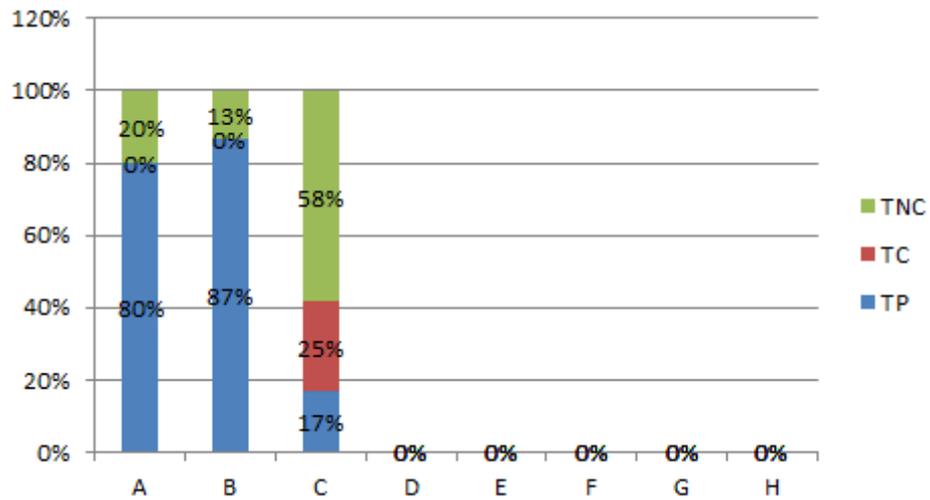


Figura 62. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

Resultados generales de la cuadrilla:

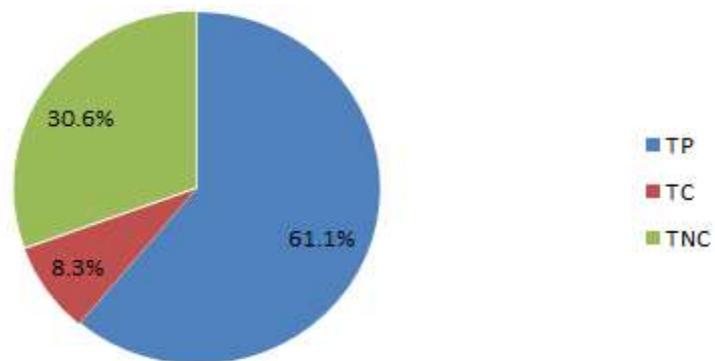


Figura 63. Resultados de cuadrilla de la segunda muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributivos y no contributivos:

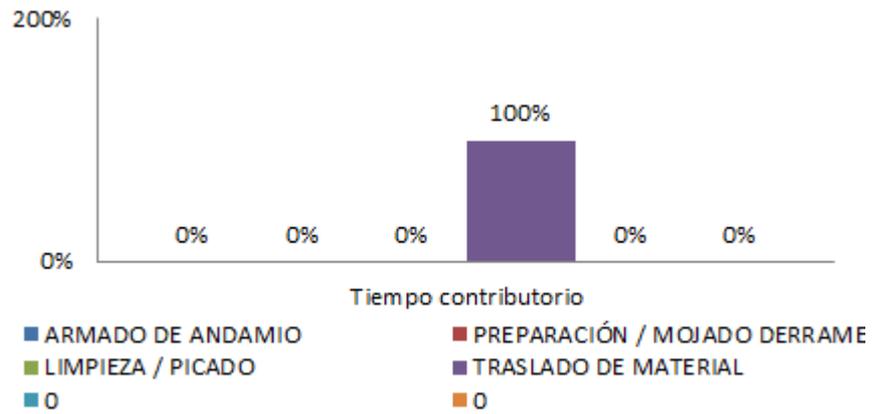


Figura 64. Tiempos contributivos de la segunda muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

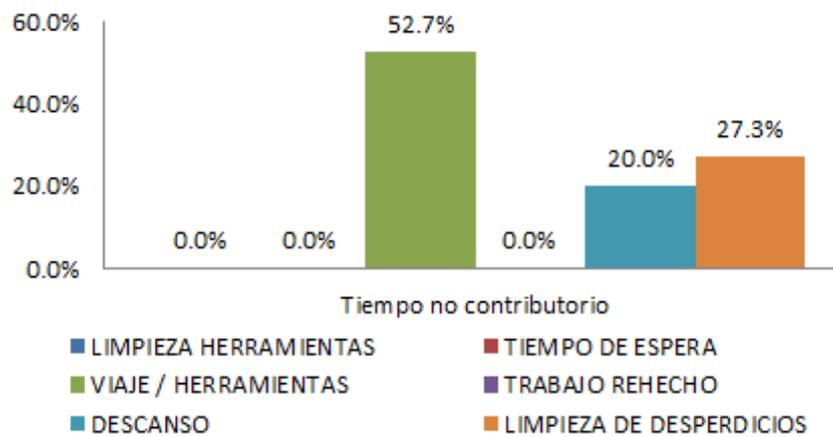


Figura 65. Tiempos no contributivos de la segunda muestra, partida Vestidura de Derrames.

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos. Se realizó al día siguiente realizado la primera muestra, en el mismo horario.

- La actividad analizada muestra un 61,1 % de tiempos productivos, 8,3 % de tiempos contributorios y 30,6 % de tiempos no contributorios. Teniendo como única actividad contributorio el traslado de materiales y como principal actividad no contributorio el viaje / herramientas (52,7 % del total de tiempos no contributorios).
- La actividad traslado de materiales se generó debido a que el desarrollo de la actividad se dio en un segundo nivel. A diferencia de la primera muestra, ya no se presentan tiempos contributorios en limpieza / picado de derrames.
- Como se observa en la *Figura 62*, se eliminaron los tiempos contributorios en los trabajadores A y B (operarios albañiles) debido a que se asignó una cuadrilla de ayudantes a la habilitación de derrames.
- Se sigue manteniendo el porcentaje por encima del 50 % (en la primera muestra presenta 52 % y en la segunda muestra 58 %) de tiempo no contributorios en el trabajador C (peón), debido a que sus actividades están asociadas netamente a la limpieza de desperdicios.
- La cuadrilla se encuentra por encima del rango aceptable (TP>50 %), todo esto debido a las mejoras adoptadas a partir de los resultados de la primera muestra. Ahora el 61,1 % del tiempo empleado en la ejecución de la actividad Vestidura de Derrames agregan valor al proyecto.

### **5.3.2. Tarrajeo frotachado en muros interiores**

Las cuadrillas que conformaban las muestras se distribuían por 02 operarios albañiles y 01 ayudante. Al inicio de la actividad se tiene se tienen los muros interiores a nivel de mampostería, la finalidad de la actividad es dar un acabado de revoque frotachado a los muros interiores. Dentro de esta actividad podemos identificar como:

- **Trabajo productivo:**
  - Colocación de puntos.
  - Preparación de mezcla.
  - Colocación de mezcla.
  - Acabado.
- **Trabajo Contributorio:**
  - Armado de andamio.
  - Picado / Limpieza.
  - Traslado de material.

- Pañeteo preliminar.
  
- Zarandeo arena.
  
- **Trabajo No Contributorio:**
  - Limpieza de herramientas.
  
  - Viajes / Herramientas.
  
  - Descanso.
  
  - Limpieza de desperdicios.
  
  - Tiempo de espera.
  
  - Trabajo rehecho.

Identificados los diferentes tipos de trabajos procedemos a asignar una codificación a cada integrante de la cuadrilla y a cada tipo de trabajo identificado, todo esto con el fin de agilizar la toma de datos como se explicó en el ítem 3.3.6.1. A continuación se presentan los resultados obtenidos en las dos muestras realizadas.

### 5.3.2.1. Primera muestra

Resultados por cada trabajador perteneciente a la cuadrilla:

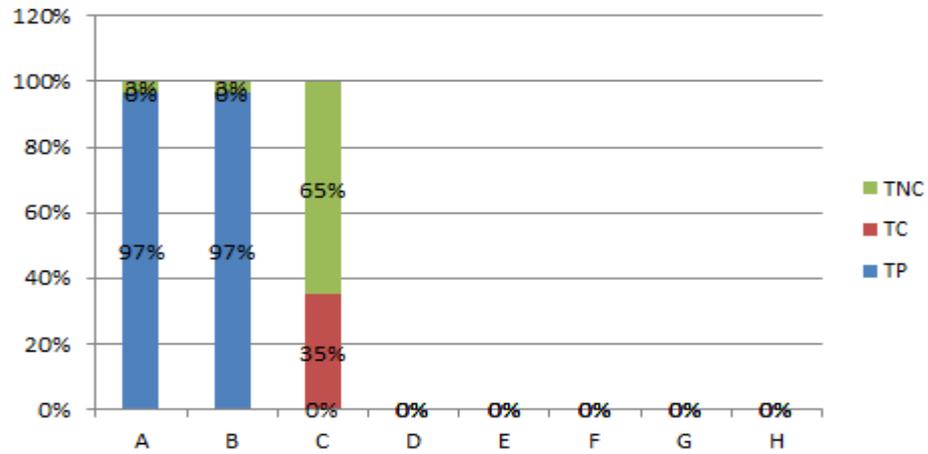


Figura 66. Resultados por cada trabajador de la primera muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia

Resultados generales de la cuadrilla:

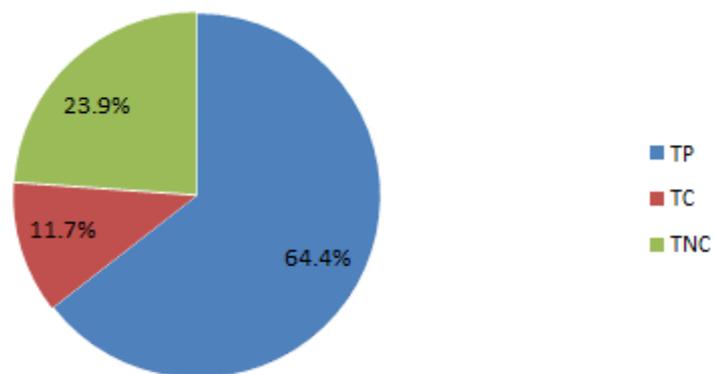


Figura 67. Resultados de cuadrilla de la primera muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores.

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributorios y no contributorios:

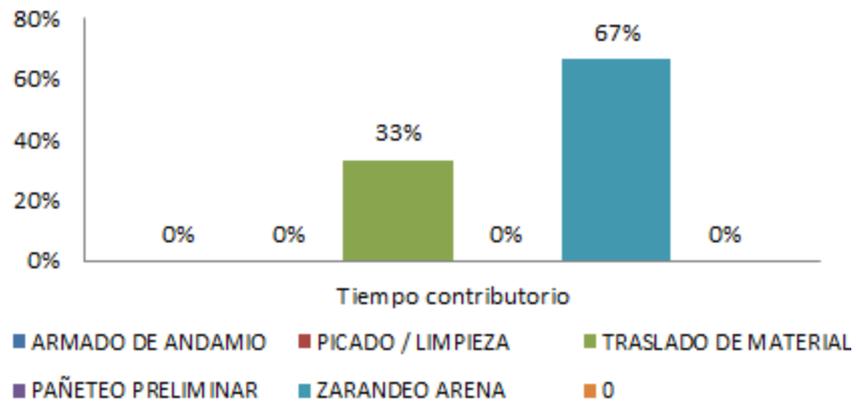


Figura 68. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores.

Fuente: Elaboración propia

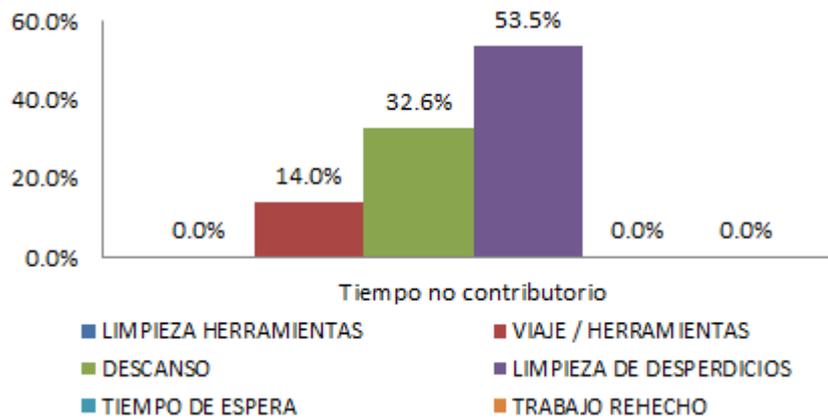


Figura 69. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia.

#### Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos.
- La actividad analizada –ver *Figura 67*- muestra un 64,4 % de tiempos productivos, 11,7 % de tiempos contributorios y 23,9% de tiempos no contributorios. Teniendo como principal actividad contributorio el zarandeo de arena (67 % del total de tiempos contributorios) y como principal actividad no contributorio la limpieza de desperdicios (53,5 % del total de tiempos no contributorios).
- La actividad zarandeo de arena tiene gran incidencia debido a la baja calidad que presentaba el material, esto generó que el ayudante de la cuadrilla dedique su gran parte de su tiempo a actividades contributorias como se observa en la *Figura 66*. El porcentaje de trabajos no contributorios se ve afectado por el tiempo que le toma al ayudante realizar la labor de limpieza e desperdicios provenientes de la actividad realizada y del bajo control hacia el ayudante en su tiempo de descanso.
- El porcentaje individual de los operarios (A y B) está por encima del rango aceptable (TP>50 %) teniendo ambos un 97 % de tiempos productivos y un 3 % de tiempos no productivos generados por los pequeños descansos realizados.

- La cuadrilla en su conjunto se encuentra por arriba del rango aceptable (TP>50 %). Se deberá tener mayor control de cuadrillas para poder reducir o eliminar el porcentaje de tiempos no contributivos.

### 5.3.2.2. Segunda muestra

Resultados por cada trabajador perteneciente a la cuadrilla:

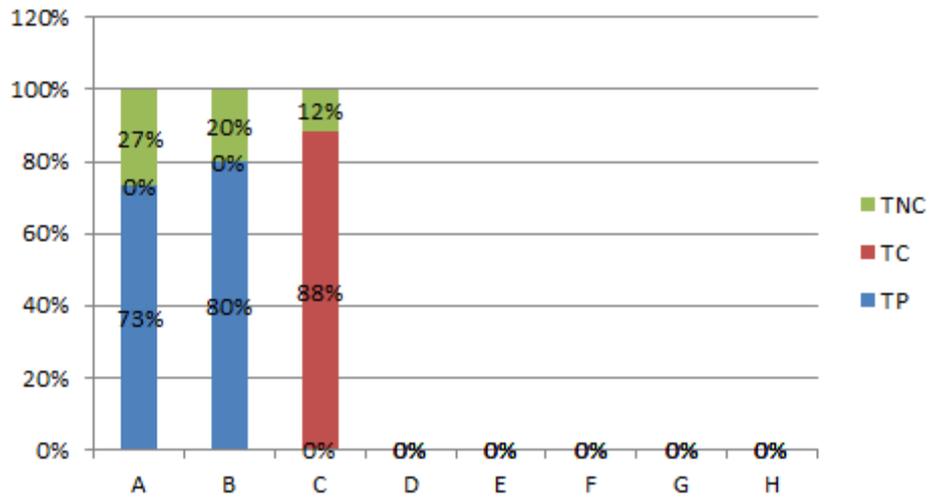


Figura 70. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia

Resultados generales de la cuadrilla:

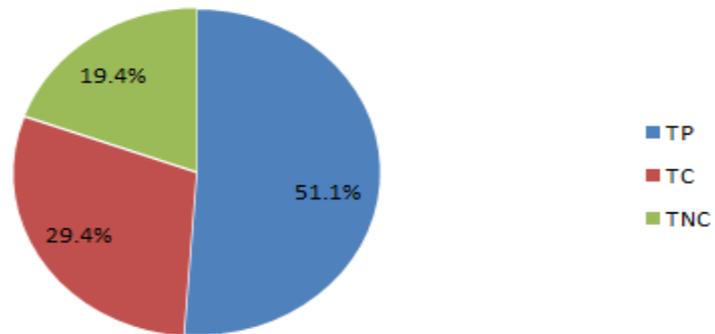


Figura 71. Resultados de cuadrilla de la segunda muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributorios y no contributorios:

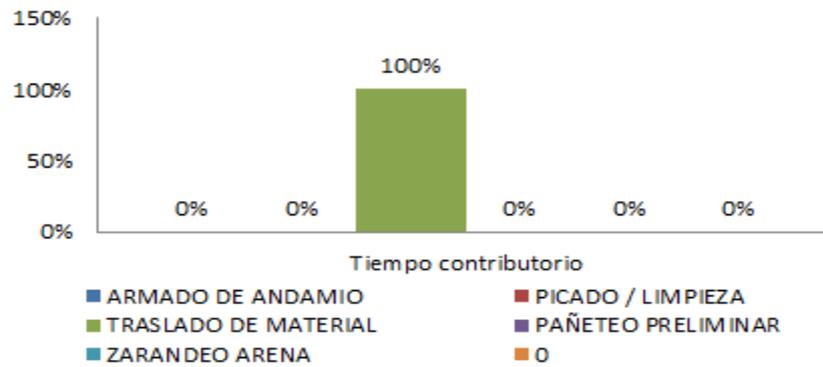


Figura 72. Tiempos contributorios de la segunda muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia

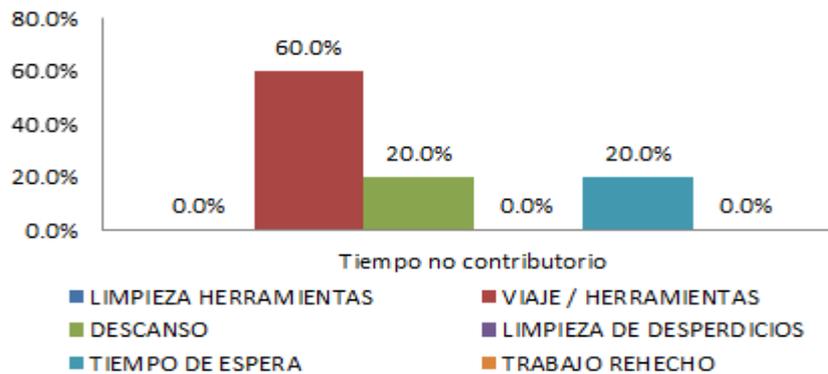


Figura 73. Tiempos no contributorios de la segunda muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia

#### Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos. Se realizó al día siguiente realizado la primera muestra, en el mismo horario.
- La actividad analizada muestra un 51,1 % de tiempos productivos, 29,4 % de tiempos contributorios y 19,4 % de tiempos no contributorios. Teniendo como única actividad contributorio el traslado de materiales y como principal actividad no contributorio el viaje / herramientas (60 % del total de tiempos no contributorios).
- La actividad traslado de materiales se generó debido a que el desarrollo de la actividad se dio en un segundo nivel, teniendo como principal problema la gran distancia entre el centro de acopio de los materiales (agregados, cemento, agua) y el punto donde se ejecutó la actividad. Se necesita reajustar los centros de

acopio de materiales hacia zonas más cercanas a las áreas de trabajo e implementar un sistema de traslado vertical (instalación de winches, plataformas).

- Como se observa en la *Figura 70*, a comparación de la primera muestra los operarios (A y B) muestran mayor cantidad de tiempos no contributorios debido al cambio repentino en el plan de trabajo generando así un retrabajo en el traslado de sus herramientas hacia el nuevo punto de trabajo. No obstante, su porcentaje individual sigue superando el rango aceptable (TP>50 %).
- Se sigue manteniendo el porcentaje por encima del 50% (en la primera muestra presenta 52 % y en la segunda muestra 58 %) de tiempo no contributorios en el trabajador C (peón), debido a que sus actividades están asociadas netamente a la limpieza de desperdicios.
- La cuadrilla en conjunto se encuentra por encima del rango aceptable (TP>50 %), pero muestra una caída del 10 % a comparación de la primera muestra. La disminución en los tiempos no contributorios muestra una mejora significativa la cual pudo haberse reducido aún más si no se presentaba la variación en el plan de trabajo.
- La cuadrilla presenta resultados favorables a las mediciones realizadas.

### **5.3.3. Relleno con material de préstamo**

Las cuadrillas que conformaban las muestras se distribuían por 01 operario albañil y 02 ayudantes. Al inicio de la actividad se tiene se tiene el terreno a nivel de excavación, la finalidad de la actividad es llegar al nivel inferior al piso terminado aplicando capas de relleno de 20 centímetros de espesor empleando equipos vibro apisonadores. Dentro de esta actividad podemos identificar como:

- **Trabajo productivo:**
  - Colocación de afirmado.
  - Compactación de afirmado.
  
- **Trabajo Contributorio:**
  - Traslado de materiales.
  - Adición de agua.
  - Rastrillado.

- **Trabajo No Contributivo:**
  - Limpieza de herramientas.
  - Viajes / Herramientas.
  - Descanso.
  - Limpieza de desperdicios.
  - Tiempo de espera.
  - Trabajo rehecho.

Identificados los diferentes tipos de trabajos procedemos a asignar una codificación a cada integrante de la cuadrilla y a cada tipo de trabajo identificado, todo esto con el fin de agilizar la toma de datos como se explicó en el ítem 3.3.6.1. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las dos muestras realizadas.

#### **5.3.3.1. Primera muestra**

Resultados por cada trabajador perteneciente a la cuadrilla:

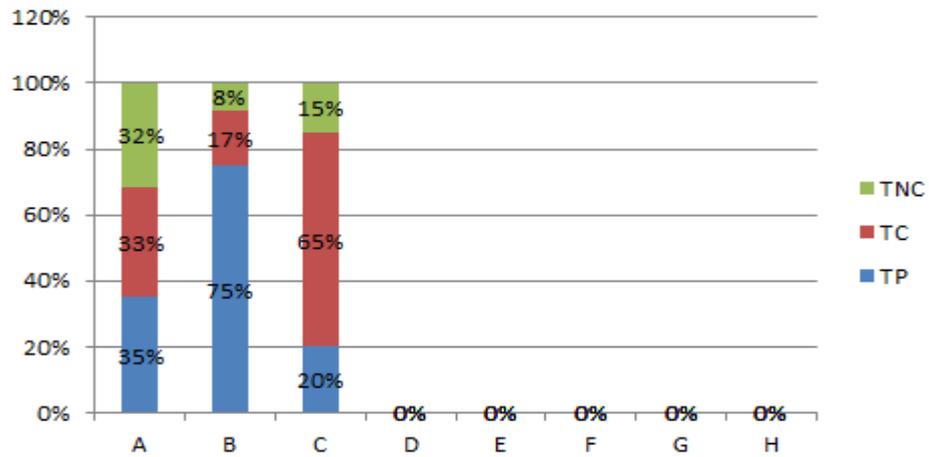


Figura 74. Resultados por cada trabajador de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo

Fuente: Elaboración propia

#### Resultados generales de la cuadrilla:

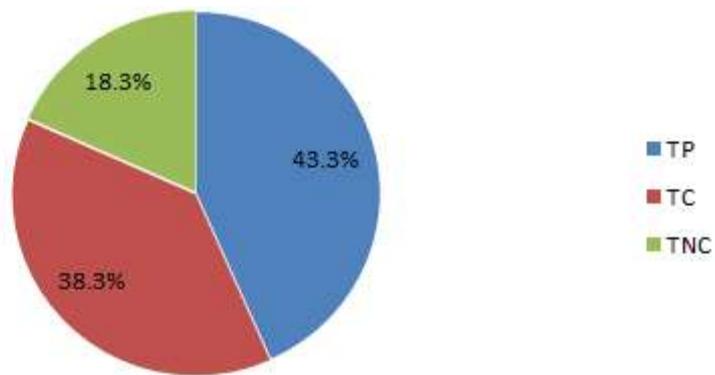


Figura 75. Resultados de cuadrilla de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributorios y no contributorios:

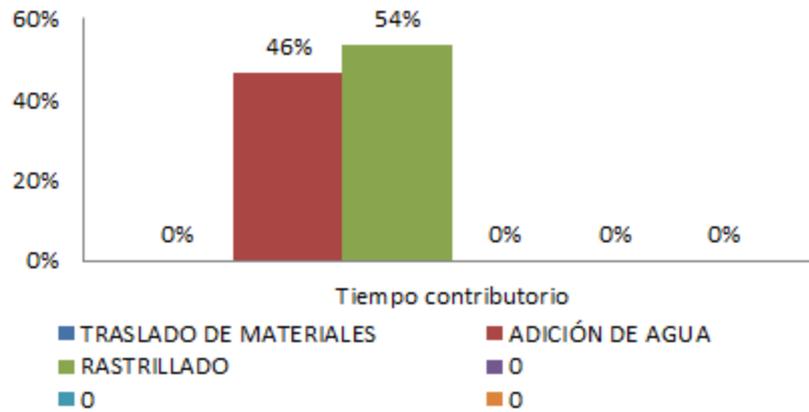


Figura 76. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo

Fuente: Elaboración propia

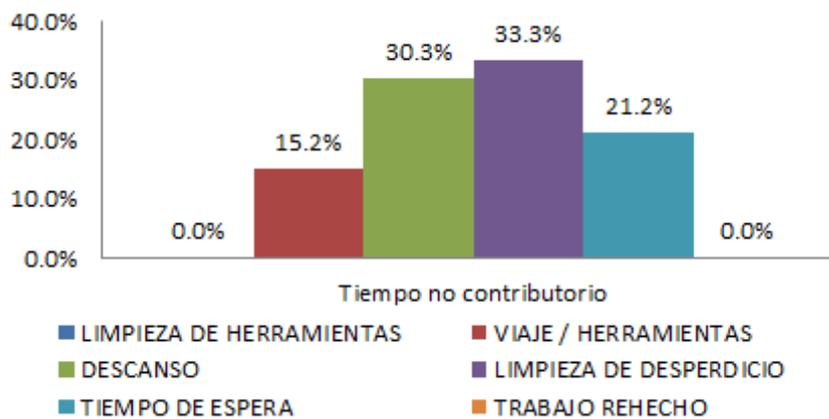


Figura 77. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Relleno con material de préstamo

Fuente: Elaboración propia

#### Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos. Donde A representa al operario, B y C a los ayudantes siendo los operadores de los vibro apisonadores A y B.
- La actividad analizada -ver *Figura 85*- muestra un 43,3 % de tiempos productivos, 38,3 % de tiempos contributorios y 18,3 % de tiempos no contributorios. Teniendo como principales actividades contributorias el rastrillado y adición de agua (54 % y 46 % del total de tiempos contributorios respectivamente) y como principales actividades no contributorias la limpieza de desperdicios y descansos (33,3 % y 30,3 % del total de tiempos no contributorios respectivamente).
- Como se observa en la *Figura 74* la diferencia de tiempos productivos entre B y A (operadores de vibro apisonadores) es de 2,15 veces, esto debido a que solo se contaba con un ayudante (C) que abastecía de afirmado y preparaba la cancha para ambos el cual brindó mayor asistencia hacia B. Esto generó tiempos no contributorios en A por encima de B y C en conjunto.
- La cuadrilla en su conjunto se encuentra por debajo del rango aceptable (TP>50 %). Solo el 43,3 % del tiempo empleado en la ejecución de la actividad Relleno con material de préstamo agregan valor al proyecto.

- Se deberá implementar un ayudante para cubrir el abastecimiento constante de A y B.

### 5.3.3.2. Segunda muestra

Resultados por cada trabajador perteneciente a la cuadrilla:

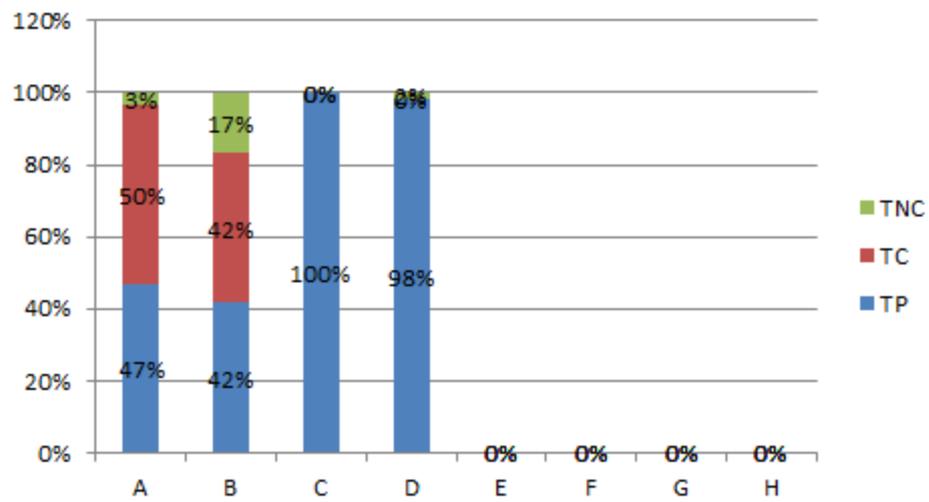


Figura 78. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida Relleno con material de préstamo

Fuente: Elaboración propia

Resultados generales de la cuadrilla:

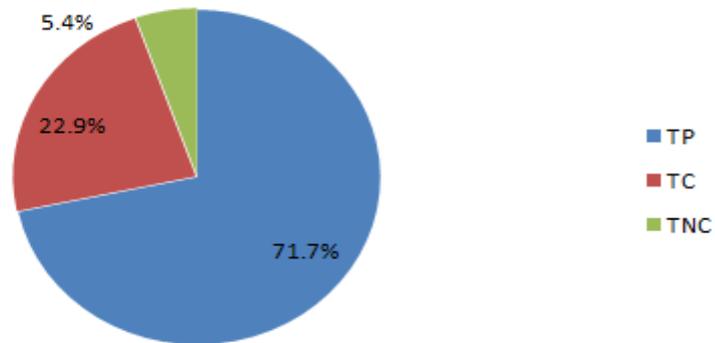


Figura 79. Resultados de cuadrilla de la segunda muestra, partida Tarrajeo frotachado en muros interiores

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributorios y no contributorios:

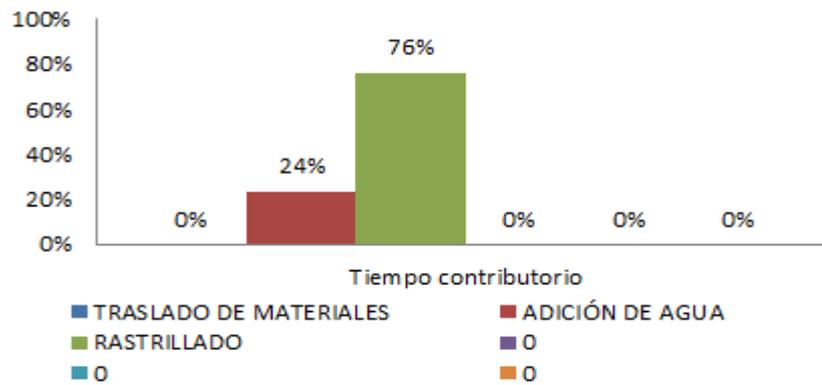


Figura 80. Tiempos contributorios de la segunda muestra, partida Relleno con material de préstamo

Fuente: Elaboración propia

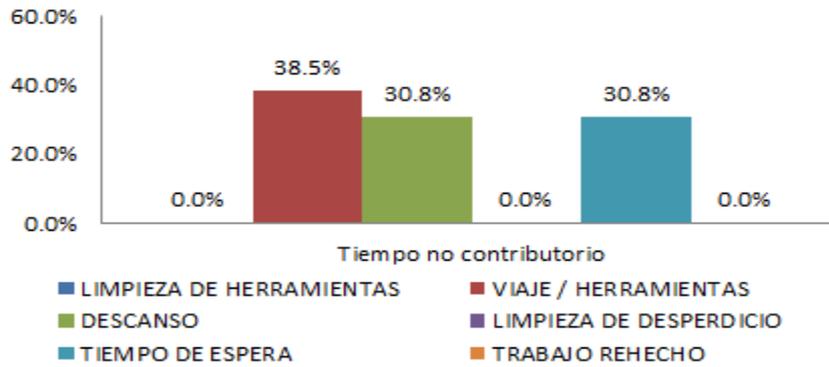


Figura 81. Tiempos no contributorios de la segunda muestra, partida Relleno con material de préstamo

Fuente: Elaboración propia

#### Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos. Se realizó al día siguiente realizado la primera muestra, se adicionó un ayudante a la cuadrilla la cual contaba con dos encargados de los vibro apisonadores y dos abastecedores.
- La actividad analizada muestra un 71,7 % de tiempos productivos, 22,9 % de tiempos contributorios y 5,4 % de tiempos no contributorios. Teniendo como principal actividad contributorio el rastrillado.
- El incremento del 28,4 % en los tiempos productivos se debió a que ambos equipos trabajaron de manera constante por la fluidez en el abastecimiento de materiales.

- Como se observa en la *Figura 78* a comparación de la primera muestra A y B muestran mayor equilibrio en sus resultados, C y D muestran en su totalidad tiempos productivos ya que su única actividad designada fue el abastecimiento y colocación del afirmado. El porcentaje de la cuadrilla en conjunto supera el rango aceptable (TP>50 %) teniendo como resultado que el 71,7 % de los tiempos empleados en la ejecución de la actividad relleno con material de préstamo agregan valor al proyecto.
- La creación y difusión del plan de trabajo a emplear como mejora en la actividad generó la reducción de los resultados desfavorables obtenidos en la primera muestra. Se continuó trabajando con el mismo plan en los diferentes sectores.
- La cuadrilla presenta resultados favorables a las mediciones realizadas.

#### **5.3.4. Concreto en muros de sostenimiento**

Las cuadrillas que conformaban las muestras se distribuían por 03 operarios albañiles y 02 oficiales albañiles. Al inicio de la actividad se tiene los muros a nivel de acero de refuerzo y encofrado, la finalidad de la actividad es colocar el concreto según el procedimiento establecido y cumplir con los estándares de calidad esperados. Dentro de esta actividad podemos identificar como:

- **Trabajo productivo:**
  - Colocación de concreto con bomba telescópica.
  - Regleado.
  - Vibrado.
  
- **Trabajo Contributorio:**
  - Traslado horizontal.
  - Movimiento o control de vibradora.
  - Traslado vertical.
  
- **Trabajo No Contributorio:**
  - Limpieza de herramientas.
  - Viajes / Herramientas.
  - Descanso.
  - Limpieza de desperdicios.

- Tiempo de espera.
- Trabajo rehecho.

Identificados los diferentes tipos de trabajos procedemos a asignar una codificación a cada integrante de la cuadrilla y a cada tipo de trabajo identificado, todo esto con el fin de agilizar la toma de datos como se explicó en el ítem 3.3.6.1. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en las dos muestras realizadas.

#### 5.3.4.1. Primera muestra

Resultados por cada trabajador perteneciente a la cuadrilla:

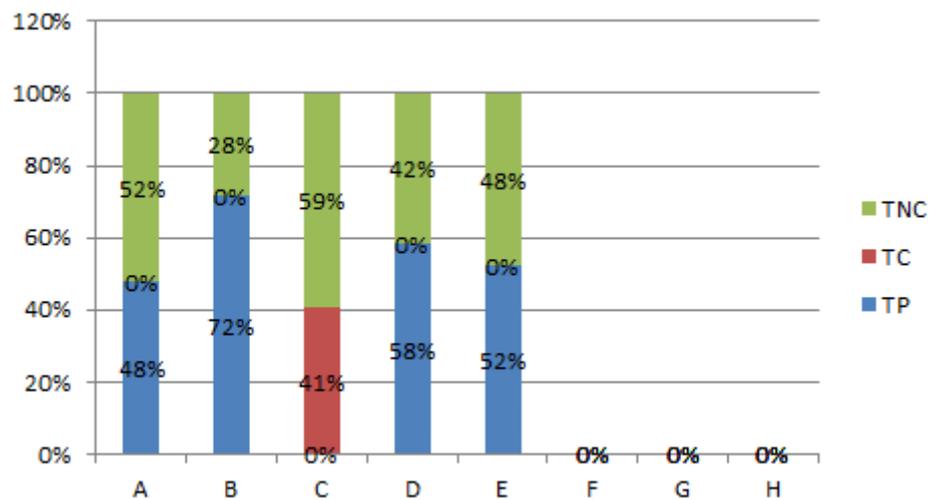


Figura 82. Resultados por cada trabajador de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

Resultados generales de la cuadrilla:

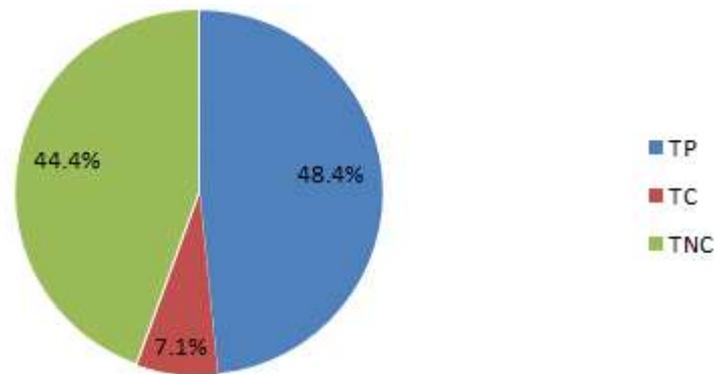


Figura 83. Resultados de cuadrilla de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributorios y no contributorios:

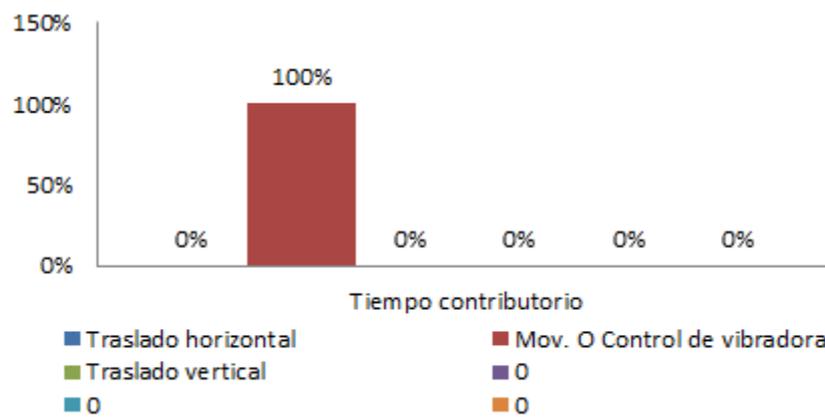


Figura 84. Tiempos contributorios de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

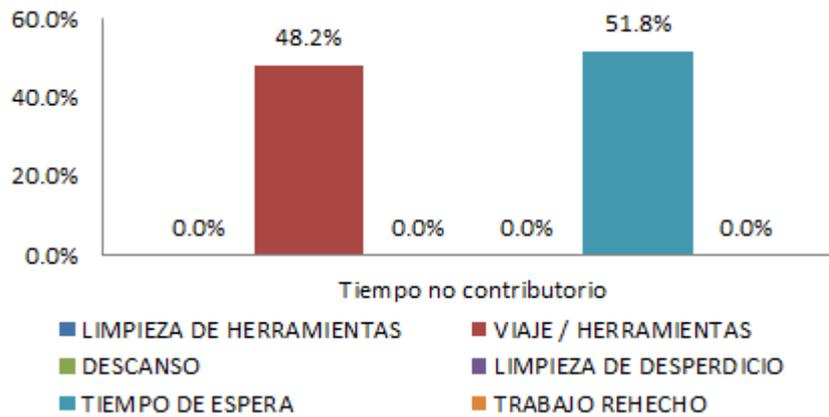


Figura 85. Tiempos no contributorios de la primera muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

#### Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos. Donde A, B y D representan a los operarios, C y E a los oficiales.
- La actividad analizada muestra un 48,4 % de tiempos productivos, 7,1 % de tiempos contributorios y 44,4 % de tiempos no contributorios. Teniendo como única actividad contributorio el mov. o control de vibradora y como principales actividades no contributorias los tiempos de espera y viaje / herramientas (51,8 % y 48,2 % del total de tiempos no contributorios respectivamente).
- Como se observa en la *Figura 82* el único miembro de la cuadrilla que no presenta tiempos productivos corresponde a C quien es responsable del traslado de la vibradora de concreto. El 44,4 % del total de tiempos empleados en la ejecución de la actividad no agrega valor al proyecto, teniendo como principal

restricción los tiempos de espera generados por el proveedor de concreto premezclado (proveedor tercero) siendo así una restricción externa al proyecto. Otro factor importante que agrega a la generación de tiempos no contributorios fue el espacio generado por la actividad de vibrado, solo se contaba con una vibradora de concreto y el trabajo era controlado y minucioso para evitar segregaciones y cangrejas en los muros.

- No se generaron tiempos contributorios en traslados horizontales y verticales debido al empleo de bombas telescópicas, los cuales suministraban el concreto de manera directa hacia el elemento a vaciar.
- La cuadrilla en su conjunto se encuentra por debajo del rango aceptable (TP>50 %).

#### **5.3.4.2. Segunda muestra**

Resultados por cada trabajador perteneciente a la cuadrilla:

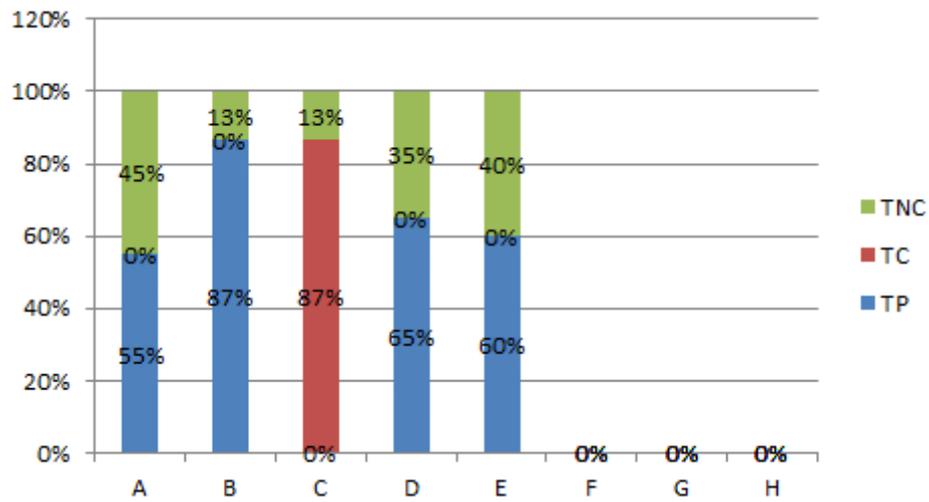


Figura 86. Resultados por cada trabajador de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

#### Resultados generales de la cuadrilla:

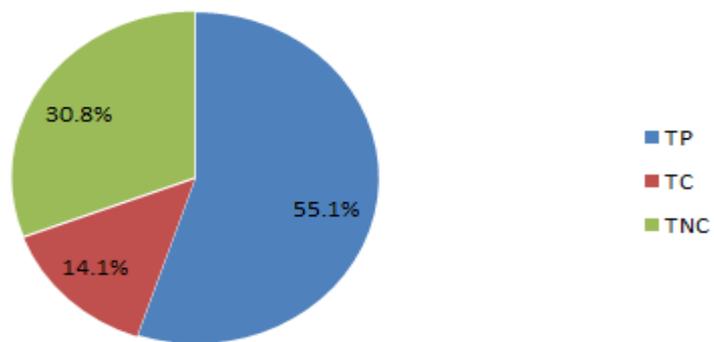


Figura 87. Resultados de cuadrilla de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

Distribución de trabajos contributivos y no contributivos:

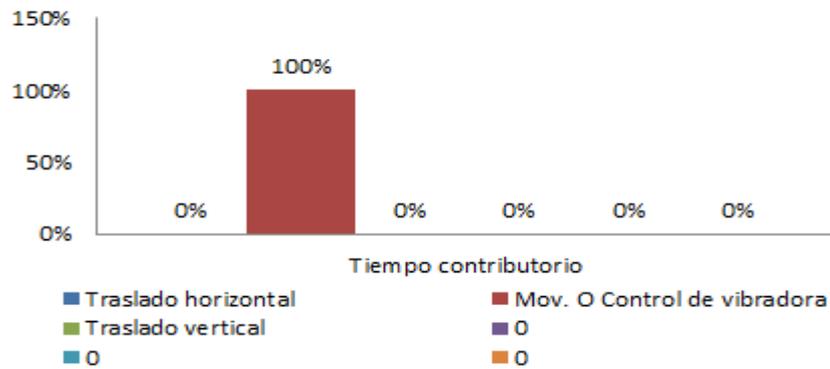


Figura 88. Tiempos contributivos de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

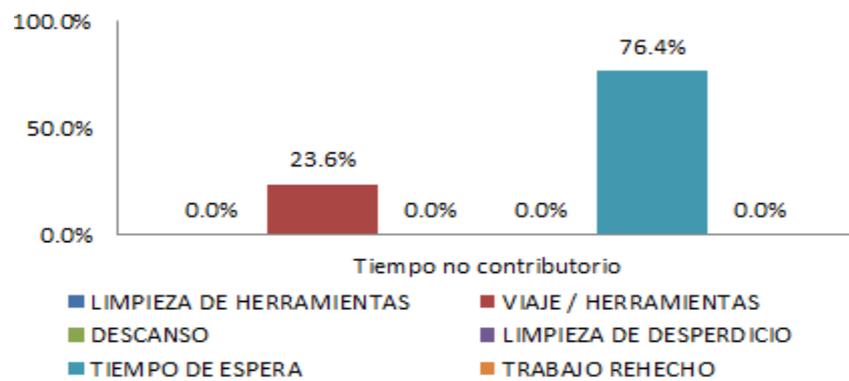


Figura 89. Tiempos no contributivos de la segunda muestra, partida Concreto en muros de sostenimiento

Fuente: Elaboración propia

#### Evaluación de resultados:

- La medición de la actividad se dio durante el rango de 60 minutos. Se realizó al día siguiente realizado la primera muestra, se redujeron los tiempos entre mixers de concreto para así poder asegurar un trabajo más fluido.
- La actividad analizada muestra un 55,1 % de tiempos productivos, 14,1 % de tiempos contributorios y 30,8 % de tiempos no contributorios. Teniendo como única actividad contributorio el mov. o control de vibradora y como principal actividad no contributorio los tiempos de espera generados por los tiempos de espera en la rotación de los mixers, la fluidez fue mejorada pero el poco espacio de maniobras generó dificultades a la hora de suministrar el concreto a la bomba telescópica. Este control generó que se reduzca un 13,6 % de tiempos no contributorios.
- Como se observa en el *Figura 86* los trabajadores A, B, D y E presentan un porcentaje por encima del rango aceptable (TP>50 %), C presenta casi en su totalidad tiempos contributorios debido a que el trabajador tenía como única responsabilidad realizar el traslado y control de la vibradora de concreto el cuál presenta una mejora del 46 %.
- El porcentaje de la cuadrilla en conjunto supera el rango aceptable (TP>50 %) teniendo como resultado que el 55,1 % de los tiempos empleados en la

ejecución de la actividad concreto en muros de sostenimiento agregan valor al proyecto.

- La cuadrilla presenta resultados favorables a las mediciones realizadas.
- La variabilidad está presente en gran parte de la ejecución de la partida debido a que esta se ve ligada al cumplimiento del programa por parte de un proveedor tercero.

#### **5.4. Informe semanal de producción**

A continuación, mostraremos los resultados obtenidos luego de implementar el Informe Semanal de Producción (ISP) en el proyecto en mención. A diferencia de los demás indicadores mostrados la implementación del ISP se llevó a cabo durante 28 semanas, esto debido a que para la obtención de los presentes resultados no se necesitó capacitar a los últimos planificadores en el correcto llenado del formato más solo el correcto llenado de los partes diarios de producción (ver ítem 3.3.10.) y el procesamiento de la información estaría a cargo del área de Oficina Técnica.

Se mostrará los resultados obtenidos durante la semana 28 (el periodo de evaluación corresponde desde enero del 2016 hasta julio del mismo año), se mostrará los resultados obtenidos en las partidas de Concreto Armado (acero de refuerzo, encofrado y concreto).

Se opta este criterio debido a que las partidas mencionadas representan la mayor cantidad de horas hombre empleadas durante el periodo de implementación (34.6% del total de horas hombre empleadas hasta la semana 28).

Dentro del formato empleado se procedió a agrupar las partidas con el mismo rendimiento, esto con la finalidad de agilizar y facilitar la obtención de resultados en los tiempos coherentes para poder actuar ante una escena desfavorable y lograr revertir los resultados.

### 5.4.1. Presupuesto Meta

**Tabla 34**

*Presupuesto Meta, partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto)*

PARTIDA DE CONTROL	UND	PREVISION PPTO META (1)		
		METRADO	HH	REND.
<b>ACERO</b>			<b>85 386.87</b>	
Acero de refuerzo	kg	1'522 047.51	85 386.87	0,056
<b>ENCOFRADO</b>			<b>169,957.14</b>	
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinell, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	32 130,53	47 980,52	1,493
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas, sobre cimientos, aisladores vigas, aisladores capiteles.	m <sup>2</sup>	29 335.49	54 760,56	1.867
Encofrado y desencofrado de losa de piso.	ml	1 457,99	349,92	0,240
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	9 640,13	10 796,95	1,120
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	12 891,14	11 550,46	0,896
Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	15 899,55	44 518,74	2,800
<b>CONCRETO</b>			<b>23 020,61</b>	
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	1 715,22	1 595,15	0,930
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	485,00	902,10	1,860
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	1 512,50	2 137,62	1,413
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	3 266,00	3 510,95	1,075
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	535,00	4 793,60	8,960
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.	m <sup>3</sup>	6 336,85	5 259,59	0,830
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	6 900,25	3 734,25	0,541
Concreto escalera 210 280, sardinell.	m <sup>3</sup>	193,54	479,98	2,480
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	274,04	589,19	2,150
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	8,22	18,19	2,213

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la Tabla 34 (Ver Apéndice A) las diferentes partidas evaluadas tienen un total de 287 364,62 HH previstas para su ejecución las cuales representan el 35 % del total de HH previstas (786 974,62 HH) para las partidas que serán ejecutadas por casa (especialidades de estructuras y arquitectura). No se están considerando dentro del análisis las HH previstas para las partidas de las especialidades de instalaciones eléctricas, instalaciones sanitarias, instalaciones mecánicas y comunicaciones los cuales serán ejecutados por subcontratistas con contratos a todo costo (suministro e instalación).

#### **5.4.2. Presente Semana**

Mediante la recopilación de datos por medio de los partes diarios de trabajo en los 3 frentes se genera un consolidado de obra. Los datos mostrados en la Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37 y Tabla 38 se detallan los resultados obtenidos durante cada día de la semana para las diferentes partidas evaluadas y en la Tabla 39 se detalla el consolidado de la presente semana.

**Tabla 35**

*Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto) - I*

PARTIDA DE CONTROL	UND	LUNES 04/07/2016			MARTES 05/07/2016		
		METRADO	HH	REND.	METRADO	HH	REND.
<b>ACERO</b>			<b>407,00</b>			<b>625,25</b>	
Acero de refuerzo	kg	5 431,40	407,00	0,075	12 453,39	625,25	0,050
<b>ENCOFRADO</b>			<b>581,50</b>			<b>607,25</b>	
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinel, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	172,51	134,75	0,781	55,55	143,50	2,583
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas, sobre cimiento, aisladores vigas, aisladores capiteles.	m <sup>2</sup>	230,25	430,25	1,869	208,62	430,25	2,062
Encofrado y desencofrado de losa de piso.	ml	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	7,42	16,50	2,224	7,75	33,50	4,323
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
<b>CONCRETO</b>			<b>139,25</b>			<b>0,00</b>	
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	8,92	10,00	1,121	0,00	0,00	0,000
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.	m <sup>3</sup>	209,00	125,75	0,602	0,00	0,00	0,000
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	2,88	3,50	1,215	0,00	0,00	0,000
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 36**

*Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto) - II*

PARTIDA DE CONTROL	UND	MIERCOLES 06/07/2016			JUEVES 07/07/2016		
		METRADO	HH	REND.	METRADO	HH	REND.
<b>ACERO</b>			<b>600,25</b>			<b>585,75</b>	
Acero de refuerzo	kg	16 229,73	600,25	0,37	11 946,66	585,75	0,049
<b>ENCOFRADO</b>			<b>582,25</b>			<b>613,25</b>	
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinel, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	162,35	208,25	1,283	225,17	226,50	1,006
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas, sobrecimiento, aisladores vigas, aisladores capiteles.	m <sup>2</sup>	151,28	356,50	2,357	183,32	351,75	1,919

Encofrado y desencofrado de losa de piso.	ml	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	6,66	17,50	2,628	18,79	35,00	1,863
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
<b>CONCRETO</b>			<b>43,00</b>			<b>142,50</b>	
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	13,80	8,00	0,580	10,19	12,50	1,227
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.	m <sup>3</sup>	71,00	35,00	0,493	173,24	130,00	0,750
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 37**

*Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto) - III*

PARTIDA DE CONTROL	UND	VIERNES 08/07/2016			SÁBADO 09/07/2016		
		METRADO	HH	REND.	METRADO	HH	REND.
<b>ACERO</b>			<b>578,25</b>			<b>517,50</b>	
Acero de refuerzo	kg	10 803,09	578,25	0,054	11 618,54	517,50	0,045
<b>ENCOFRADO</b>			<b>561,00</b>			<b>568,00</b>	
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinel, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	331,15	198,75	0,600	268,72	185,00	0,688
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas, sobre cimiento, aisladores vigas, aisladores capiteles.	m <sup>2</sup>	162,10	346,00	2,135	189,60	351,50	1,854
Encofrado y desencofrado de losa de piso.	MI	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	10,00	16,25	1,625	0,00	31,50	0,000
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
<b>CONCRETO</b>			<b>58,98</b>			<b>5,00</b>	
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	15,50	10,56	0,681	2,92	5,00	1,712
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	7,00	48,42	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,000

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 38**

*Informe Semanal de Producción – Semana 28, partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto) - IV*

PARTIDA DE CONTROL	UND	DOMINGO		
		METRADO	HH	REND.
			<b>95,00</b>	
			<b>14,25</b>	
<b>ACERO</b>				
Acero de refuerzo	kg	3 607,31	95,00	0,026
<b>ENCOFRADO</b>				
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinel, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	0,00	14,25	0,000
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas, sobre cimientto, aisladores vigas, aisladores capiteles.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000
Encofrado y desencofrado de losa de piso.	ml	0,00	0,00	0,000
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000
Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000
<b>CONCRETO</b>				
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 39**

*Informe Semanal de Producción – Semana 28, CPI partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto)*

PARTIDA DE CONTROL	UND	TOTAL PRESENTE SEMANA HH			META	VAR.	CPI ACT.
		METRADO	HH	REND.	P.S.	P.S.	(3/1)
<b>ACERO</b>			<b>3 409,00</b>		<b>4 044,26</b>	<b>635,26</b>	<b>119 %</b>
Acero de refuerzo	kg	72 090,12	3 409,00	0,047	4 044,26	635,26	119 %
<b>ENCOFRADO</b>			<b>3 527,50</b>		<b>3 972</b>	<b>444,57</b>	<b>113 %</b>
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinell, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	1 215,45	1 111,00	0,914	1 815,03	704,03	163 %
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas, sobrecimiento, aisladores vigas, aisladores capiteles.	m <sup>2</sup>	1 125,16	2 266,25	2,014	2 100,34	-165,91	93 %
Encofrado y desencofrado de losa de piso.	ml	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0 %
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	50,62	150,25	2,968	56,69	-93,56	38 %
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %
Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %
<b>CONCRETO</b>			<b>388,73</b>		<b>460</b>	<b>70,93</b>	<b>118 %</b>
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	51,33	46,06	0,897	72,54	26,48	158 %
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto,	m <sup>3</sup>	453,24	290,75	0,641	376,19	85,44	129 %

vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.								
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	7,00	48,42	6,917	3,79	-44,63	8 %	
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	2,88	3,50	1,215	7,14	3,64	204 %	
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %	
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %	

Fuente: Elaboración propia

El CPI de la semana 28 para las partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto) se encuentra por encima del 100 % dando rendimientos por debajo del planeado (presupuesto meta, ver Tabla 34), por ejemplo la partida de Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada presenta un rendimiento de 0,91 HH/m<sup>2</sup> y en el presupuesto meta se tiene como rendimiento planificado 1,49 HH/m<sup>2</sup> generando un ahorro de 704,03 HH. Por otro lado, en la partida de Encofrado de placas, escaleras presenta un rendimiento de 2,97 HH/m<sup>2</sup> muy por encima del rendimiento planificado 1,12 HH/m<sup>2</sup> generando una pérdida de 93,56 HH.

Durante la semana 28 las partidas de concreto armado conformadas por las partidas de acero, encofrado y concreto presentan un CPI de 119 %, 113 y 118% respectivamente lo que representa que las cuadrillas que conforman la ejecución de las partidas mencionadas se encuentran trabajando de manera conjunta en forma óptima generando resultados positivos en función a los resultados planificados. Durante la presente semana se ahorraron 1 150,76 HH en las partidas evaluadas.

### 5.4.3. Acumulado hasta la semana 28

Obtenidos los resultados de la semana 28 se procede a generar datos acumulados durante las 28 semanas de implementación y así poder obtener el comportamiento de las cuadrillas encargadas de ejecutar las partidas evaluadas.

En la Tabla 32 se muestran los resultados acumulados y se procede a calcular el CPI ACUMULADO.

**Tabla 40**

*Informe Semanal de Producción – Acumulado a la Semana 28, CPI partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto).*

PARTIDA DE CONTROL	UND	TOTAL, HH ACUMULADO AL:			META	VAR.	CPI
		10/07/2017 (4) = (2+3)			ACUM.	ACT.	(4/1)
		METRADO	HH	REND.	HH	HH	%
<b>ACERO</b>			<b>45 439,35</b>		<b>44 598,65</b>	<b>-840,69</b>	<b>98 %</b>
Acero de refuerzo	kg	794 984,92	45 439,35	0,057	44 598,65	-840,69	98 %
<b>ENCOFRADO</b>			<b>82 105,04</b>		<b>81 652</b>	<b>-453,05</b>	<b>99 %</b>
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinell, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	25 093,19	37 124,64	1,479	37 471,67	347,03	101 %
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas, sobre cimiento, aisladores vigas, aisladores capiteles.	m <sup>2</sup>	12 702,72	23 155,35	1,823	23 712,17	556,82	102 %
Encofrado y desencofrado de losa de piso.	Ml	3 417,09	1 435,49	0,420	820,10	-615,39	57 %
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	2 772,39	3 388,95	1,222	3 105,08	-283,87	92 %
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	6 951,80	6 253,19	0,900	6 228,82	-24,38	100 %

Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	3 683,63	10 747,42	2,918	10 314,15	-433,27	96 %
<b>CONCRETO</b>			<b>10 903,34</b>		<b>11,085</b>	<b>181,92</b>	<b>102 %</b>
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	2 056,99	1 445,01	0,702	1 913,00	467,99	132 %
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	379,44	465,28	1,226	705,75	240,47	152 %
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	538,86	804,60	1,493	761,57	-43,03	95 %
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	1 230,71	1 280,27	1,040	1 323,01	42,74	103 %
Concreto columneta.	m <sup>3</sup>	119,59	1 277,53	10,683	1 071,50	-206,03	84 %
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.	m <sup>3</sup>	2 615,14	2 332,36	0,892	2 170,57	-161,79	93 %
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	5 173,22	2 561,71	0,495	2 799,62	237,91	109 %
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	69,34	412,07	5,943	171,96	-240,11	42 %
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	78,26	324,50	4,146	168,26	-156,24	52 %
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	100 %

Fuente: Elaboración propia

A diferencia de los resultados obtenidos durante la evaluación de la semana 28, la única partida que presenta un CPI por encima del 100 % es concreto, dando como resultado un CPI ligeramente superior al esperado de 102 % lo que representa que a la fecha de corte se ahorró 181,92 HH en la ejecución del metrado mostrado.

Las partidas de acero y encofrado presentan un 98 % y 99 % respectivamente generando así la pérdida de 1 293,75 HH, el comportamiento de las cuadrillas a lo largo de las 28 semanas evaluadas se considera aceptable ya que la variación negativa de HH respecto a lo planificado en el presupuesto meta representa el 0,8 %.

#### 5.4.4. Estimado al término

Obtenidos los resultados acumulados se procede a generar una proyección estimada de cuantas HH se requerirán para ejecutar el saldo de metrado en función al estado actual obtenido (CPI acumulado a la semana 28).

**Tabla 41**

*Informe Semanal de Producción – Estimado al término, CPI partidas de concreto armado (acero – encofrado – concreto)*

PARTIDA DE CONTROL	UND	ESTIMADO AL TÉRMINO			META	VAR.	CPI
		(6) = (4+5)		TOTAL	META	(6/1)	
		METRADO	HH	REND.	HH	HH	%
<b>ACERO</b>			<b>86 996,42</b>		<b>85 386,87</b>	<b>-1 609,56</b>	<b>98 %</b>
Acero de refuerzo	kg	1'522 047,51	86 996,42	0,057	85 386,87	-1 609,56	98 %
<b>ENCOFRADO</b>			<b>171,391,82</b>		<b>169 957,0</b>	<b>-1 434,67</b>	<b>99 %</b>
Encofrado de cimentación corrida, falsa zapata, zapatas, pedestales, losa maciza, losa aligerada, cisterna, gradas, plateas, sardinel, columna corta, aisladores losa maciza, aisladores losa aligerada @40 @70.	m <sup>2</sup>	32 130,53	47 536,17	1,479	47 980,52	444,35	101 %
Encofrado de viga de cimentación, columnas, vigas,	m <sup>2</sup>	29 335,49	53 474,65	1,823	54 760,56	1 285,91	102 %

sobre cimiento, aisladores vigas, aisladores capiteles. Encofrado y desencofrado de losa de piso.	ml	1 457,99	612,49	0,420	349,92	-262,57	57 %
Encofrado de placas, escaleras.	m <sup>2</sup>	9 640,13	11 784,00	1,222	10 796,95	-987,06	92 %
Encofrado de muros de sostenimiento.	m <sup>2</sup>	12 891,14	11 595,66	0,900	11 550,46	-45,20	100 %
Encofrado de columnetas, parapeto, viguetas.	m <sup>2</sup>	15 899,55	46 388,85	2,918	44 518,74	-1 870,11	96 %
<b>CONCRETO</b>			<b>24 544,09</b>		<b>23,021</b>	<b>-1 523,48</b>	<b>94 %</b>
Concreto zapatas, sobre cimientos reforzados, aisladores losa maciza 210, aisladores losa aligerada 1 sentido @40 210.	m <sup>3</sup>	1 715,22	1 204,92	0,702	1 595,15	390,23	132 %
Concreto viga de cimentación.	m <sup>3</sup>	485,00	594,72	1,226	902,10	307,38	152 %
Concreto pedestales, columnas 210 280, columna corta.	m <sup>3</sup>	1 512,50	2 258,40	1,493	2 137,62	-120,78	95 %
Concreto muro sostenimiento, placa 210 280, cisterna.	m <sup>3</sup>	3 266,00	3 397,52	1,040	3 510,95	113,43	103 %
Concreta columneta.	m <sup>3</sup>	535,00	5 715,34	10,683	4 793,60	-921,74	84 %
Concreto vigas, losa maciza 210 280, losa aligerada 210 280, gradas, plateas, parapeto, vigas 280, aisladores vigas 210 280, aisladores capiteles 210 280, aisladores losa maciza 280, aisladores losa aligerada 210 280 @70, 210 @40, losa aligerada 1 sentido @40 280, aisladores corte 210 280.	m <sup>3</sup>	6 336,85	5 651,63	0,892	5 259,59	-392,05	93 %
Losa de piso incluido acabado.	m <sup>2</sup>	6 900,25	3 416,91	0,495	3 734,25	317,34	109 %
Concreto escalera 210 280, sardinel.	m <sup>3</sup>	193,54	1 150,17	5,943	479,98	-670,19	42 %
Concreto viguetas 210 280.	m <sup>3</sup>	274,04	1 136,29	4,146	589,19	-547,10	52 %
Concreto vigas 350.	m <sup>3</sup>	8,22	18,19	2,213	18,19	0,00	100 %

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 41 las 3 partidas se encuentran por debajo del CPI esperado (acero 98 %, encofrado 99 % y concreto 94 %), a diferencia de los resultados obtenidos en el análisis realizado al corte de la semana 28 se estima que las HH pérdidas se duplicarían hasta un 1,6 % del total de HH previstas, todo esto debido a que se realiza el estimado por cada partida (con comportamientos diferentes) y se toma como base el estado actual presentado durante la semana 28 lo que significa que el resultado puede variar según las condiciones que se presenten en las semanas siguientes.

### **5.5. Curva “S” de avance físico**

El desempeño del proyecto se mide mediante la curva “S” de avance físico. Esta curva representa en un proyecto el avance real respecto al avance planificado en un periodo de tiempo determinado, es una gran herramienta para el seguimiento y monitoreo del proyecto, ya que sabemos por cada unidad de tiempo definido si lo que se aplicó del gasto es lo que debió ser. En la *Figura 100* se muestran los datos correspondientes a los meses de implementación de la filosofía *Lean Construction* en el proyecto, el periodo evaluado corresponde a los meses de enero 2016 a julio 2016.

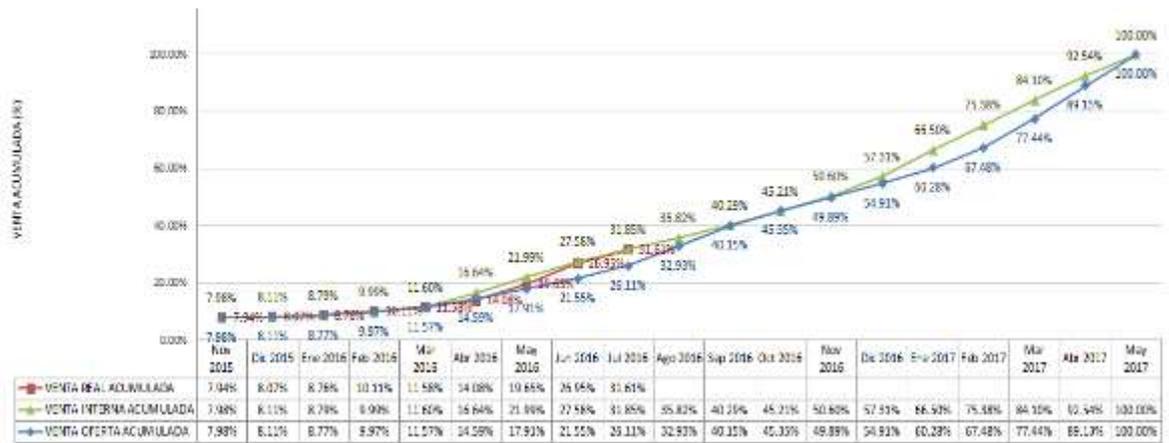


Figura 90. Curva “S” de avance físico correspondiente al periodo de implementación

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la *Figura 100* se presentan los resultados a partir de noviembre 2015 – mes correspondiente a la paralización del proyecto - con 3 curvas diferentes. Se mide el avance real en función al presupuesto venta oferta del proyecto (curva S pactada con el cliente) y al presupuesto venta interno del proyecto (curva S pactada con las gerencias internas del consorcio).

Hasta el mes de marzo 2016, las metas internas y oferta presentan casi el mismo porcentaje planeado teniendo así los meses siguientes metas internas con expectativas superiores.

Para la semana 28 (mes de julio 2016) se tiene un avance oferta planificado del 26,11 % y un avance interno planificado del 31,85 %, contra un avance real del 31,61 % teniendo una variación de 5,5 % a favor respecto al avance oferta planificado y 0,24 % en contra comparado con el avance interno planificado. Se puede calificar como eficiente la gestión realizada en el proyecto.

## **5.6. Contrastación de hipótesis**

De lo desarrollado a lo largo de la presente investigación, con la información estadística presentada en los capítulos anteriores en función a los resultados obtenidos de implementar la filosofía *Lean Construction* en el proyecto Ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2 cuyos formatos aplicados se presentan como anexos; hemos podido demostrar las hipótesis planteadas al inicio del presente trabajo como respuesta tentativa a la investigación.

### **5.6.1. Contrastación de la hipótesis general**

El análisis y contrastación de la hipótesis general objeto de la presente tesis, nos permitió determinar lo siguiente:

De lo investigado pudimos verificar que existe una influencia significativa entre el mejoramiento de la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía *Lean Construction* y los resultados del proyecto ampliación y mejoramiento del hospital de Moquegua nivel II-2. Por lo cual se considera que actualmente implementar un nuevo sistema de gestión mediante la filosofía *Lean Construction* en diferentes proyectos traería mejoras favorables.

También se pudo evidenciar - curva S de avance físico - que los resultados obtenidos con corte a la semana 28 (mes de julio 2016) muestran una gestión

eficiente, llegando a cumplir con las metas planificadas tanto como venta oferta (cliente) y venta interno (gerencias del consorcio).

## **5.6.2. Contrastación de las hipótesis específicas**

### **5.6.2.1. Hipótesis específica 1**

Del estudio y análisis de la información obtenido de los últimos planificadores (área de producción) por frente de trabajo, se determinó que el nivel de conocimientos sobre la filosofía *Lean Construction* y sus beneficios al ponerlos en práctica fue bajo, esto se ve reflejado en el tiempo de capacitación y los resultados obtenidos en las primeras semanas.

Algunos integrantes del equipo de dirección del proyecto, como lo son las áreas de residencia y gerencia tenían conocimientos a grandes rasgos de la aplicación de la filosofía *Lean Construction* y sus diferentes herramientas, pero veían su implementación más como un formalismo que como una herramienta de gestión que agregue valor al proyecto.

A su vez, se comprobó que el interés mostrado durante las semanas posteriores y la involucración del personal obrero (capataces, jefes de grupo, maestros) fueron de gran incidencia en la obtención de mejores resultados, siendo un factor muy importante la involucración del personal operacional en la toma de decisiones y la idea del formalismo va cambiando generando así la aceptación de la

filosofía *Lean Construction* como un sistema de gestión dentro de la dirección del proyecto.

#### **5.6.2.2. Hipótesis específica 2**

Se pudo evidenciar que la complejidad del proyecto, hospital de nivel II-2, fue un factor interviniente en los resultados mostrados. Partidas como aisladores sísmicos, equipos de aire acondicionado (importados), sistema scada (comunicaciones), paneles solares (instalaciones sanitarias), ascensores (importados), acabado en fachada de piedra pizarra (importado), importación de equipos de gases medicinales, juntas de aislamiento sísmico (arquitectura), juntas de instalaciones (instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, comunicaciones) y demás, marcaron hitos importantes en el proyecto y a su vez generó incertidumbre por el cumplimiento de los plazos (adjudicaciones, importaciones) lo cual demandó un nivel de planificación más a detalle y ajustado que al mínimo desfase generaría pérdidas en todas las partidas involucradas.

La intervención del cliente (gobierno regional y minsa) en la toma de decisiones en partidas de arquitectura (acabados) como son pintura de muros interiores y exteriores, tipo de acabado en zócalos y pisos, elección de protectores de camillas, ubicación y medidas de puertas y ventanas generaron dependencia en la toma de decisiones, y a su vez retrasos en las adjudicaciones y temas logísticos. Esto con el fin de cumplir con los requerimientos del cliente y evitar retrabajos futuros.

La gran cantidad de incompatibilidades encontradas en el proyecto (presenta 4 revisiones) entre las diferentes especialidades, las cuales la mayoría afectaba a partidas de estructuras y arquitectura, se ven reflejados en la gran cantidad de RFI's (*Request For Information* por sus siglas en inglés o solicitud de información en español) solicitados a los proyectistas generaron un gran índice de variabilidad, ya que estos requirieron que se apliquen las actividades *buffers* para suplir los espacios generando así pérdidas por los cambios generados en los planes de trabajo.

### **5.6.2.3. Hipótesis específica 3**

Se pudo evidenciar que una de las herramientas de la filosofía Lean Construction (sectorización) aplicada previa a la ejecución del proyecto permitió obtener mayor información de restricciones potenciales. Asimismo, se pudo observar que el indicador general del PPC muestra una curva de aprendizaje creciente –del 27 % inicial hasta un 51 % final- y realizando una proyección hasta la semana de cierre anual (semana 53) con las mismas características obtendríamos un PPC del 75 % considerado como desempeño aceptable ( $60 \% < x < 80 \%$ ).

Durante el proceso de ejecución del proyecto se pudo observar que todo el equipo de dirección del proyecto (residencia, gerencia, oficina técnica, calidad) y los responsables operacionales (jefes de producción, capataces, jefes de grupo, maestros) estaban familiarizados con los formatos empleados y se apreció un incremento de compromiso hacia el cumplimiento de las metas planificadas,

logrando así tener la capacidad de gestionar y dirigir la construcción del mismo con un enfoque Lean en las diferentes actividades.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

**Primera.** Se logró obtener mejoras en la planificación operacional mediante la implementación de la filosofía *Lean Construction* en el proyecto, esto se ve reflejado en la pendiente positiva de los resultados obtenidos en el PPC en forma general, el cual va desde un 27 % que se presentaba en la primera semana de evaluación hasta un 51 % en la última semana, esto significó que mientras transcurrían las semanas de implementación los últimos planificadores fueron adquiriendo un mejor conocimiento sobre la metodología del nuevo sistema de gestión. Se logró convertir en un entregable obligatorio la creación y aplicación de la planificación intermedia y plan semanal por cada último planificador, esto permitió obtener mejoras en los resultados. Se identificaron y categorizaron las causas de no cumplimiento, esto nos permitió investigar y crear estrategias para evitar repetir las, generando así una mejora continua (lecciones aprendidas) dentro de todos los involucrados.

**Segunda.** Se logró identificar, categorizar y cuantificar los diferentes tipos de trabajo existentes en las partidas ejecutadas durante el periodo de implementación, logrando así mejorar la productividad en las cuadrillas. Como se muestra en los resultados, durante las primeras muestras se presentan tiempos productivos menores al 50 % lo cual es considerado como no aceptable; realizada las observaciones y en coordinación con los últimos planificadores se procedió a corregir y optimizar los procesos dentro de la ejecución de las actividades logrando así obtener resultados por encima del 50 % de tiempos productivos que agreguen valor al producto final. El sistema de gestión implementado ayudó a incrementar el rendimiento de las cuadrillas en diferentes partidas ejecutadas, lo que significa que si se continuara llevando el control de la misma forma se reducirán los tiempos de ejecución de las partidas lo que se traduciría a un ahorro de mano de obra, esto sin duda alguna representaría una reducción de costos, consiguiendo así incrementar el margen de utilidad del proyecto. En este estudio el sistema de planificación Last Planner System (*LookAhead* - planificación intermedia) muestra ser una excelente herramienta para mejorar el cumplimiento de plazos establecidos, permitiéndonos adelantarnos a las posibles restricciones que interfieran con el cumplimiento de los objetivos y levantarlas según las fechas pactadas.

**Tercera.** El sistema de gestión con el que se venía llevando la ejecución del proyecto era de forma tradicional, solo presentaba el primer nivel de planificación (plan maestro), teniendo así solo una idea global de lo que se tenía que realizar para cumplir los objetivos. Los planes de trabajo eran coordinados solo entre los responsables de producción y la residencia del proyecto, no se difundía e

involucraba a las áreas de soporte generando así que las restricciones se difundieran momentos antes de la ejecución de la actividad.

**Cuarta.** Se logró controlar la ejecución de las actividades planificadas dentro del plan maestro del proyecto, esto a través del control de los objetivos trazados mensualmente, identificando de manera temprana (antes de) y levantando las restricciones mediante la implementación de la planificación intermedia (*LookAhead*), a la vez se realizó un seguimiento a mayor detalle por medio de los planes semanales para así lograr el aseguramiento completo de la ejecución y cumplimiento de las objetivos sin problema alguno. Esto generó una reducción de variabilidad existente en el proyecto, el cuál va a estar presente durante todo el plazo restante de ejecución por la complejidad que presenta.

## **6.2. Recomendaciones**

**Primera.** Se recomienda promover la comprensión y el uso de estrategias de mejoramiento a través de herramientas formales y uso de indicadores como lo es la filosofía *Lean Construction*. Desarrollar un esquema de mejoramiento continuo del proceso de planificación y control del proyecto, aumentando la confiabilidad y logrando un impacto positivo en los resultados finales.

**Segunda.** Se recomienda que durante la etapa de implementación (capacitación) sería recomendable mostrar a los involucrados ejemplos de implementaciones realizadas en otros proyectos nacionales como internacionales, mostrando así las

diferentes formas en las que se gestionan los proyectos y así lograr aumentar las ganas por experimentar el nuevo sistema de gestión, con esto se buscará una forma más fácil de interiorizar en los involucrados los fundamentos básicos que posee el sistema.

**Tercera.** La variabilidad existente en este tipo de proyectos tiene un impacto negativo sobre los sistemas de planificación a emplearse y puede generar frustración hacia el equipo de dirección del proyecto. Por lo que se recomienda implementar la filosofía *Lean Construction* desde la etapa de elaboración del proyecto y complementarlo con herramientas tecnológicas (BIM, 3D) que faciliten el entendimiento y visualización del alcance e identificación de técnicas más certeras para la ejecución del mismo.

**Cuarta.** Se recomienda mantener en la planificación semanal un número de actividades considerable capaz de que se obtenga un poco más de esfuerzo por parte de las cuadrillas, así el valor del indicador PPC estaría más acercado a la realidad.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, L. F. (2003). Planificación y control de producción para la construcción, guía para la implementación. Santiago, Chile.
- Alarcón, L. F. (2008). *Guía para la implementación del Sistema del Último Planificador*. Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.
- Alarcón, L. F. & González, V. (2003). *Buffers de programación: Una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción*. Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 18 N°2, 109-119.
- Baccarini, D. (1996). *The concept of project complexity – a review*. International Journal of Project Management.
- Ballard, G. (2000). *The Last Planner System of Production Control*. (A thesis submitted for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY). University of Birmingham. United Kingdom.
- Ballard, G. & Zabelle, T. (2000). *Project Definition*. Birmingham, United Kingdom.
- Botero, L. F. (2006). *Construcción sin pérdidas: análisis de procesos y filosofía Lean Construction*. Bogotá: Legis.
- Botero, L. F. & Álvarez, M. E. (2005). *Last Planner, un avance en la planificación y control de proyectos de construcción. Estudio del caso de la ciudad de Medellín*. Ingeniería y Desarrollo. 17.
- Botero Toro, P. (2014). *Un proyecto en marcha con Last Planner System*. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad de los Andes. Bogotá.

- Cisterna, D., A. (2013). *Desarrollo y evaluación de indicadores de control para implementación de software de planificación y control de proyectos basado en metodología Last Planner*. (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Cuatrocasas, L. (2002). *Design of a rapid response and high efficiency service by Lean production principles: Methodology and evaluation of variability of performance*. International of Journal of Production Economics. Vol. 80.
- Flores, R., Salizar, C. & Torres, O. (2000). *Diagnóstico y evaluación de la productividad en la construcción de obras civiles a nivel de Lima Metropolitana*. (Tesis de grado para optar el Título de Ingeniero Civil). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.
- Ghio Castillo, V. (2001). *Productividad en obras de construcción: Diagnóstico, Crítica y Propuestas*. 1ra Edición. Perú: Fondo editorial PUCP.
- Gómez Botero, P. A. (2010). *Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad*. Gestión & Sociedad. Recuperado de <https://revistas.lasalle.edu.co/index.php/gs/article/view/946>
- Koskela, L. (1992). *Application of the new Production philosophy to Construction*. PhD Dissertation. Stanford University. EEUU.
- Mondragón Véliz, F. J. (2003). *Efectos de la variabilidad de producción en la construcción*. (Tesis de grado para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ohno, T. (1988). *Toyota Production System: beyond large-scale production*. Cambrigde.

- Orihuela, P.& Orihuela, J. (2013). *Aplicaciones del lean Design a proyectos inmobiliarios de vivienda*. Recuperado de.
- Pellicer, E. (2012). *Lean Construction*. Valencia.
- Picchi, F. A. (1993). *Sistemas de qualidade: Uso em empresas de construação de edificios*. (Tesis para optar el grado de Doctor en Ingeniería). Universidad Estatal de Campinas. Sao Paulo, Brasil.
- Pons Achell, J. F. (2014). *Introducción a Lean Construction*. Madrid, España: Fundación Laboral de la Construcción.
- Tercero Martínez Ribón, J. G. (2011). *Propuesta de Metodología para la implementación de la filosofía Lean (Construcción Esbelta) en proyectos de Construcción*. (Tesis para optar el Título de Magister en administración). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Womack, J. & Jones, D. (1996). *Lean Thinking: Como utilizar el pensamiento Lean para eliminar los desperdicios y crear valor en la empresa*. Gestión 2000.
- Womack, J. & Jones, D., & Ross, D. (1991). *La máquina que cambió el Mundo*. 1ra Edición. España: McGraw-Hill.