

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“PROPUESTA DE DIGITALIZACIÓN DE DATOS PARA  
MEJORAR EL FLUJO DE INFORMACIÓN EN LA  
EJECUCIÓN DE OBRAS PARA EMPRESAS  
CONSTRUCTORAS”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR**

**GIANPIERRE JUNIORS GAMARRA DIAZ**

**ASESOR**

**ING. LUIS ALFREDO COLONIO GARCÍA**

**Lima - Perú**

**2022**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>6</b>
<b>PRÓLOGO .....</b>	<b>8</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
1.1 Generalidades .....	18
1.2 Descripción del problema de investigación .....	18
1.3 Objetivos del estudio.....	19
1.3.1 Objetivo General .....	19
1.3.2 Objetivos Específicos.....	19
1.4 Antecedentes investigativos.....	20
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....</b>	<b>22</b>
2.1 MARCO TEÓRICO .....	22
2.1.1 El Sistema de Producción de Toyota (TPS) .....	22
2.1.2 De Lean Production a Lean Construction.....	36
2.1.3 Planificación y control de la producción .....	46
2.1.4 Flujo de Información en la ejecución de obras .....	62
2.1.5 Base de Datos, Web Services y Aplicaciones .....	63
2.2 MARCO CONCEPTUAL .....	64
2.2.1 Concepto de Productividad .....	64
2.2.2 Concepto de Digitalización.....	64
2.2.3 Concepto de Transformación Digital .....	65
2.2.4 Concepto de Mejora Continua.....	65
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGIA A DESARROLLAR.....</b>	<b>66</b>
3.1 Metodología de Planificación y control de la producción .....	66
3.1.1 Planeamiento.....	66
3.1.2 Programación .....	75
3.1.3 Ejecución .....	80
3.1.4 Seguimiento y Control.....	81
3.1.5 Mejora Continua .....	87
3.2 Metodología de Digitalización de Datos .....	90
3.2.1 Digitalización en la Etapa del Planeamiento.....	91

---

3.2.2 Digitalización en la Etapa de la Programación .....	93
3.2.3 Digitalización en la Etapa de Ejecución.....	94
3.2.4 Digitalización en la Etapa de Seguimiento y Control .....	94
<b>CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE APLICATIVO Y BASE DE DATOS .....</b>	<b>95</b>
4.1 Desarrollo Base de Datos .....	95
4.2 Desarrollo de Aplicativo Excel VBA.....	104
4.3 Desarrollo de Aplicativo Android .....	117
<b>CAPÍTULO V: SIMULACIÓN DE TOMA DE DATOS DE CAMPO .....</b>	<b>123</b>
5.1 Resultados de la Simulación de Toma de Datos de Campo.....	126
<b>CAPÍTULO VI: IMPLEMENTACIÓN APLICATIVO EN CASO REAL.....</b>	<b>132</b>
6.1 Descripción de la obra a ejecutar .....	132
6.2 Planeamiento.....	133
6.2.1 Cronograma Meta .....	134
6.2.2 Estructura de Control .....	134
6.2.3 Valor Planeado .....	137
6.3 Programación .....	137
6.3.1 Plan Maestro o Plan por Fases .....	138
6.3.2 LookAhead Planning.....	139
6.3.3 Análisis de Restricciones .....	140
6.3.4 Plan Semanal .....	141
6.3.5 Plan Diario .....	142
6.4 Ejecución .....	143
6.4.1 Trabajo Semanal Ejecutado.....	143
6.5 Seguimiento y Control.....	143
6.5.1 Control de Avance y Plazo.....	143
6.5.2 Porcentaje de Plan Completado (PPC) .....	144
6.5.3 Causas de No Cumplimiento .....	145
6.5.4 Control de la Productividad .....	146
<b>CAPÍTULO VII: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>148</b>
7.1 Porcentaje de Plan Completado (PPC) .....	148
7.1 Curva S de avance .....	151
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>154</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>155</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>156</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>159</b>

ANEXO N°01: Cronograma Meta Obra “Instalación de Red y Conexión Domiciliaria de Alcantarillado a beneficio de la Clínica Médica Cayetano Heredia S.A.”

ANEXO N°02: Presupuesto Meta Obra “Instalación de Red y Conexión Domiciliaria de Alcantarillado a beneficio de la Clínica Médica Cayetano Heredia S.A.”

ANEXO N°03: Planos de Obra “Instalación de Red y Conexión Domiciliaria de Alcantarillado a beneficio de la Clínica Médica Cayetano Heredia S.A.”

ANEXO N°04: Cronograma Meta Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

ANEXO N°05: Presupuesto Meta Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

ANEXO N°06: AP-1 Planos de Red Agua Potable Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

ANEXO N°07: LookAhead Semana Numero 01 Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

ANEXO N°08: LookAhead Semana Numero 02 Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

ANEXO N°09: LookAhead Semana Numero 03 Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

ANEXO N°10: LookAhead Semana Numero 04 Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

ANEXO N°11: LookAhead Semana Numero 05 Obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”.

## RESUMEN

La digitalización y transformación digital en la industria de la construcción toma relevancia por el efecto postpandemia del SARS-CoV-2, en el cual para mitigarse los contagios se debe aplicar nuevas estrategias. El digitalizar los datos más importantes de la construcción conlleva a los gestores de proyectos y tomadores de decisiones, sin necesidad de desplazarse continuamente a las obras, a visualizar en tiempo real los principales indicadores del desempeño del proyecto.

La metodología *Last Planner*, actualmente es la más utilizada para la planificación y control de la producción en obras de construcción; sin embargo, esta metodología no utiliza indicadores para conocer el desempeño de la obra respecto al tiempo ni costo, es por ello que debe complementarse con otros métodos tradicionales tales como la técnica del valor ganado, promovida y difundida por el PMI.

En el presente estudio se propone un sistema integrado eficiente que integre las principales metodologías de planificación y control de la producción, para lo cual se elaboró un aplicativo móvil para la toma y digitalización de datos y un aplicativo web services que se encarga de procesar y mostrar indicadores en tiempo real del desempeño de las obras, para así encontrar desviaciones al plan a tiempo y tomar medidas correctivas apropiadas.

Para la validación, análisis e interpretación de los resultados obtenidos se implementó el sistema propuesto en una obra real de saneamiento, donde se pudo demostrar que el aplicativo presentado es viable, ya que permite recolectar, procesar y visualizar en tiempo real los principales datos de campo en obras de construcción. Además, se puede conocer el desempeño de las obras en términos de costo y tiempo, y controlar la productividad de los principales recursos (mano de obra, materiales y equipos).

El capítulo I inicia con la introducción del presente trabajo, se describe brevemente el impacto de la pandemia al sector construcción y cómo este ha logrado impulsar la digitalización y la transformación digital en el sector, seguido de la descripción del problema de investigación, donde se describe la forma obsoleta de recopilación de datos en la industria de la construcción. Asimismo, se muestra que esto conlleva a no poder conocer el desempeño del proyecto en tiempo real, por

lo que, muchas veces, no se pueden tomar medidas correctivas para cumplir con las metas del proyecto. También se comenta los objetivos del presente estudio, siendo el principal el proponer un aplicativo de digitalización de datos y toma de decisiones con el cual se pretende conocer el desempeño de las obras de construcción en tiempo real y así tomar las medidas necesarias de manera temprana. Para finalizar, se comentan algunos antecedentes de la investigación.

En el capítulo II, se presenta un amplio marco teórico y conceptual, describiendo el sistema de producción de Toyota, las teorías de *lean production* y *lean construction*, los métodos más utilizados para la planificación y control de la producción, donde se integra el *last planner system*, el método del valor ganado y los métodos clásicos de control de productividad de los diferentes recursos; así como una descripción breve de ciertos conceptos utilizados en la tesis.

El capítulo III describe la metodología que propone la digitalización del *last planner system*, del método del valor ganado y los métodos clásicos de control de productividad de recursos, la cual permite tener digitalizados los principales datos de campo y así conocer el desempeño del proyecto en tiempo real.

En el capítulo IV, se describe la lógica y el desarrollo del aplicativo propuesto. Inicia con el diseño y la creación de la base de datos hasta el desarrollo del aplicativo programado en lenguaje *visual basic for application Excel* y el aplicativo móvil de *Android studio*.

En el capítulo V y VI, se busca la simulación de la toma de datos y la implementación del aplicativo en un caso real, buscando demostrar su viabilidad y los beneficios logrados. Tal aplicación se ejecutó en una obra de saneamiento, en donde se encontraron resultados alentadores que demostraron los beneficios de la metodología propuesta de digitalización de datos, tales como: conocer en tiempo real los principales indicadores del proyecto, evitar alteraciones de los indicadores del proyecto, promover la implementación del *last planner system*, entre otros.

Para finalizar, el capítulo VII aborda el análisis e interpretación de los resultados encontrados para posteriormente, culminar con las conclusiones y recomendaciones del presente estudio.

## ABSTRACT

Digitization and digital transformation in the construction industry becomes relevant due to the post-pandemic effect of SARS-CoV-2, in which it is necessary to be as productive as possible to mitigate infections. Digitizing the most important construction data allows project managers and decision makers, without the need to travel continuously to the construction site, to visualize in real time the main indicators of project performance.

The Last Planner methodology is currently the most widely used for production planning and control in construction works; however, this methodology does not use indicators to know the performance of the work regarding time and cost, which is why it must be complemented with other traditional methods such as the Earned Value Technique, promoted and disseminated by the PMI.

This study proposes an efficient integrated system that incorporates the main production planning and control methodologies, for which a mobile application was developed for data collection and digitalization, and a web services application that processes and displays real-time performance indicators, in order to find deviations from the plan in time and take appropriate corrective measures.

For the validation, analysis and interpretation of the results obtained, the proposed system was implemented in a real sanitation worksite, where it was possible to demonstrate that the application presented is viable, since it allows the collection, processing and visualization in real time of the main field data in construction works. In addition, it is possible to know the performance of the projects in terms of cost and time, and to control the productivity of the main resources (labor, materials and equipment).

Chapter I begins with the introduction of this work, briefly describing the impact of the pandemic on the construction sector and how it has managed to drive digitization and digital transformation in this sector, followed by the description of the research problem, where the obsolete form of data collection in the construction industry is described. It is also shown that this leads to not being able to know the performance of the project in real time, so that, many times, corrective actions cannot be taken to meet the project goals. The objectives of this study are also discussed, the main one being to propose an application for data digitalization and

decision making with which it is intended to know the performance of the construction works in real time and thus take the necessary measures in an early manner. Finally, some background information on the research is discussed.

Chapter II presents a wide theoretical and conceptual framework, describing the Toyota production system, the lean production and lean construction theories, the most used methods for production planning and control, where the last planner system, the Earned Value Method and the classic productivity control methods of the different resources are integrated, as well as a brief description of certain concepts used in the thesis.

Chapter III describes the methodology that proposes the digitization of the last planner system, the Earned Value Method and the classic methods of resource productivity control, which allows having the main field data digitized and thus knowing the project performance in real time.

In Chapter V and VI, the aim is to simulate the data collection and implementation of the application in a real case, seeking to demonstrate its viability and the benefits achieved. Such application was executed in a sanitation project, where encouraging results were found to demonstrate the benefits of the proposed methodology of data digitalization, such as: knowing in real time the main indicators of the project, avoiding alterations of the project indicators, promoting the implementation of the last planner system, among others.

Finally, Chapter VII discusses the analysis and interpretation of the results found and subsequently culminates with the conclusions and recommendations of this study.

## PRÓLOGO

Actualmente, los países desarrollados llevan a cabo planes estratégicos para impulsar la construcción 4.0, término derivado de la industria 4.0 referente a la cuarta revolución industrial, el cual comprende a las tecnologías de inteligencia artificial, internet de las cosas, el *big data*, la realidad virtual, entre otros. Sin embargo, antes de pensar en dar este gran salto en Perú, debemos preguntarnos si hemos desarrollado la construcción 3.0 en el país, que comprende el tener como mínimo procesos estandarizados y digitalizados.

La digitalización, es un paso previo para la transformación digital en la industria de la construcción. Al tener digitalizado los principales datos de obra, se puede obtener múltiples beneficios tales como: un menor tiempo en la recopilación de datos, disminución de errores, obtención de datos en tiempo real, automatización para la elaboración de reportes en tiempo real, etc.

Asimismo, uno de los principales problemas encontrados en la industria de la construcción es que los proyectos culminan de manera tardía y con sobrecostos. Esto generalmente se debe a que no se desarrolla un buen planeamiento de obra ni se lleva a cabo un buen control, por ello es necesario conocer el desempeño de los proyectos para poder tomar acciones correctivas a tiempo y así cumplir con los objetivos planteados. He ahí donde surge la necesidad de tener digitalizado el proceso de toma de datos de campo para poder conocer en tiempo real el desempeño de los proyectos.

Por otro lado, la metodología del last planner system, es muy utilizada en las obras de construcción para la planificación y control de la producción, sin embargo, se debe complementar con los métodos tradicionales de control de avance y productividad, para poder tener un control integral del proyecto. De esta manera podríamos obtener indicadores de confiabilidad de la planificación, indicadores de avance y productividad de los principales recursos a controlar.

El presente estudio propone la digitalización de las principales metodologías empleadas para la planificación y control de la producción en obras de construcción, obteniendo múltiples beneficios y siendo un gran paso hacia estudios posteriores de aplicación de inteligencia artificial en la ejecución de obras de construcción.

Ing. Luis Alfredo Colonio García

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla N° 2.1 Principios claves de la conducta de los empleados de Toyota ...	24
Tabla N° 2.2 Cantidad de mediciones correspondiente a cada obrero .....	45
Tabla N° 2.3 Relación entre él se debe, se puede, se hará y se hizo .....	53
Tabla 3.1 Datos necesarios de cada operación obtenidos del cronograma meta para obtener el valor planeado del proyecto .....	73
Tabla 3.2 Ejemplo de SPI para conocer el status de la obra respecto al avance . .....	83
Tabla 5.1 Metrado de Tubería, Conexiones y Buzones de Alcantarillado Instalados .....	123
Tabla 5.2 Porcentaje de Incidencia de Costo de los Principales Procesos de la obra Clínica Cayetano Heredia .....	124
Tabla 5.3 Tabla Procesos de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenados en la base de datos .....	126
Tabla 5.4 Tabla Operaciones de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenados en la base de datos, donde se muestra solo algunas operaciones .....	127
Tabla 5.5 Tabla Detalle de Operaciones de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenados en la base de datos, donde se muestra solo algunas operaciones .....	127
Tabla 5.6 Tabla Plan Diario de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenado en la base de datos, donde se muestra solo algunos planes creados .....	128
Tabla 5.7 Tabla Detalle de Plan Diario de la Obra Clínica Médica Cayetano Heredia almacenada en la base de datos .....	129
Tabla 5.8 Tabla Detalle de Operaciones del LookAhead de la obra Clínica Cayetano Heredia almacenadas en la base de datos, solo se muestra algunas operaciones .....	130
Tabla 6.1 Tabla de Causas de No Cumplimiento de la Obra Villa Convivium .....	146

<b>LISTA DE FIGURAS</b>	<b>Pág.</b>
Figura N° 2.1 Principios del Modelo de Toyota .....	25
Figura N° 2.2 Sistema de Producción de Toyota .....	26
Figura N° 2.3 Modelo de conversión o transformación .....	39
Figura N° 2.4 Modelo de flujo de procesos .....	39
Figura N° 2.5 Tiempo de ciclo por jornada.....	40
Figura N° 2.6 Productividad de los procesos .....	40
Figura N° 2.7 Ejemplo de distribución de obreros en el edificio.....	44
Figura N° 2.8 Ciclo de mejora continua para el control de la producción .....	47
Figura N° 2.9 Ciclo de procesos para la ejecución de obras de construcción. ....	48
Figura N° 2.10 Paso N°01 Sistema de Producción Lean en la construcción .....	50
Figura N° 2.11 Paso N°02 Sistema de Producción Lean en la construcción .....	50
Figura N° 2.12 Paso N°03 Sistema de Producción Lean en la construcción .....	51
Figura N° 2.13 Esquema del Se debe – Se hará y Se puede.....	53
Figura N° 2.14 Cronograma maestro por hitos de un proyecto típico de edificaciones.....	54
Figura N° 2.15 Cronograma por fases de un proyecto típico de edificaciones .....	56
Figura N° 2.16 Relación entre el cronograma maestro, planificación por fases y el Look Ahead Planning.....	57
Figura N° 2.17 Causas de no cumplimiento de procesos de construcción en 51 proyectos de construcción medido en 2001 .....	59
Figura N° 2.18 Estructura de Desglose de trabajo de un Proyecto de Edificación Típico.....	60
Figura N° 2.19 Esquema de funcionamiento de una base de datos.....	63
Figura N° 2.20 Esquema Cliente – Servidor que utiliza MySQL.....	64
Figura N° 3.1 Principales procesos del ciclo de mejora continua para el control de la producción .....	66
Figura N° 3.2 Definición del alcance: Entradas, Herramientas y Salidas.....	68

Figura N° 3.3 Definir responsables del Área de Producción: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas .....	68
Figura N° 3.4 Definir Estrategia de Construcción: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas.....	69
Figura N° 3.5 Definir procesos y métodos constructivos: Entrada, Herramientas y Técnicas, y Salidas.....	69
Figura N° 3.6 Elaboración del Cronograma Meta.....	70
Figura N° 3.7 Criterios para definir la Estructura de Control en el Control de la producción .....	72
Figura N° 3.8 Estructura de Control para el control de la producción propuesta para la digitalización de datos en la construcción .....	72
Figura N° 3.9 Porcentaje de avance diario de cada operación del proyecto .....	74
Figura N° 3.10 Ejemplo de grafico de Curva S.....	74
Figura N° 3.11 Calculo del porcentaje de avance del proyecto .....	75
Figura N° 3.12 Proceso del Last Planner System .....	76
Figura N° 3.13 Procesos LookAhead Planning en las reuniones semanales ...	77
Figura N° 3.14 Ventana Asignar Restricción de la Metodología Propuesta.....	79
Figura N° 3.15 Programación Semanal Típica .....	80
Figura N° 3.16 Formato Plan Diario .....	80
Figura N° 3.17 Ejemplo de Trabajo Semanal Ejecutado parte 1 .....	81
Figura N° 3.18 Ejemplo de Trabajo Semanal Ejecutado parte 2 .....	81
Figura N° 3.19 Ejemplo de Grafica de Curva S para el cálculo del SPI.....	82
Figura N° 3.20 Ejemplo de indicador PPC, donde no se controla la variabilidad correctamente.....	83
Figura N° 3.21 Ejemplo de indicador PPC, donde se tiene un plan confiable... 84	
Figura N° 3.22 Ejemplo de Causas de No Cumplimiento .....	85
Figura N° 3.23 Ejemplo de Control de Mano de Obra de cierta actividad.....	86
Figura N° 3.24 Gráfica de productividad de mano de obra de cierta actividad .....	86
Figura N° 3.25 Ciclo de Deming (PDCA) .....	87
Figura N° 3.26 Ejemplo de Grafica de Productividad de Encofrado de Verticales .....	88
Figura N° 3.27 Ejemplo de Tablero PDCA de Encofrado de Verticales.....	88
Figura N° 3.28 Ejemplo de Metodología de los 5 Porques .....	89

Figura N° 3.29 Ejemplo de Tablero PDCA de Causas de No Cumplimiento ....	90
Figura N° 3.30 Interacción del App Móvil y Excel VBA con la base de datos .....	91
Figura N° 3.31 Procedimientos que se puede realizar con el aplicativo en Excel VBA y en Android Studio .....	92
Figura N° 3.32 Digitalización de datos en la etapa de Planeamiento .....	93
Figura N° 3.33 Digitalización de datos en la etapa de Programación .....	93
Figura N° 3.34 Digitalización de datos en la etapa de Ejecución.....	94
Figura N° 3.35 Digitalización de datos en la etapa de Seguimiento y Control .....	94
Figura N° 4.1 Modelo Físico de la Estructura de Trabajo típicas en obras de construcción (Paquete Proyectos, proyectos, frentes Trabajo y fases Proyecto) .	97
Figura N° 4.2 Modelo Físico de los principales ítems obtenidos en el proceso de Planeamiento.....	98
Figura N° 4.3 Modelo Físico de los principales ítems del Last Planner System (Plan Maestro, LookAhead, Plan Semanal y Plan Diario) .....	99
Figura N° 4.4 Modelo Físico que muestra la relación entre operación del Proyecto, LookAhead y las restricciones que pueden asignarse .....	100
Figura N° 4.5 Modelo Físico que muestra las tablas utilizadas para controlar la mano de obra .....	101
Figura N° 4.6 Modelo Físico que muestra las tablas utilizadas para controlar equipos.....	102
Figura N° 4.7 Modelo Físico que muestra las tablas utilizadas para controlar materiales .....	103
Figura N° 4.8 Atributos de la tabla Paquete de Proyectos.....	104
Figura N° 4.9 Atributos de la tabla Proyectos.....	105
Figura N° 4.10 Atributos de la tabla Frentes .....	105
Figura N° 4.11 Atributos de la tabla Fases.....	106
Figura N° 4.12 Atributos de la tabla Procesos.....	106
Figura N° 4.13 Atributos de la tabla Operaciones .....	107
Figura N° 4.14 Atributos de la tabla Materiales .....	107
Figura N° 4.15 Atributos de la tabla Equipos.....	108
Figura N° 4.16 Atributos de la tabla Frentes del Proyecto.....	108
Figura N° 4.17 Atributos de la tabla Operaciones del Proyecto.....	109

Figura N° 4.18 Atributos de la tabla Control Mano de Obra del Proyecto.....	109
Figura N° 4.19 Atributos de la tabla Control Materiales del Proyecto .....	110
Figura N° 4.20 Atributos de la tabla Control Equipos del Proyecto.....	111
Figura N° 4.21 Atributos de la tabla Plan Maestro y Detalle del Plan Maestro .....	112
Figura N° 4.22 Atributos de la tabla LookAhead y Detalle LookAhead del Proyecto .....	112
Figura N° 4.23 Atributos de la tabla Plan Semanal y Detalle Plan Semanal del Proyecto .....	113
Figura N° 4.24 Atributos de la tabla Plan Diario y Detalle Plan Diario del Proyecto .....	113
Figura N° 4.25 Principales Procedimientos para el control diario de productividad .....	114
Figura N° 4.26 Detalle del Plan Semanal a obtenerse .....	114
Figura N° 4.27 Detalle del LookAhead a obtenerse .....	114
Figura N° 4.28 Atributos de la Tabla Restricciones .....	115
Figura N° 4.29 Detalle de la Tabla Avance Real, en el cual se puede obtener el avance en tiempo real de la obra.....	115
Figura N° 4.30 Principales Procedimientos empleados en la hoja Control de Avance del Libro Control de Proyectos .....	116
Figura N° 4.31 Ejemplo de Encabezado generado en la hoja Control de Avance del Libro Control de Proyectos.....	116
Figura N° 4.32 Procedimientos a emplear en la hoja Control de Materiales del libro Control de Proyectos para obtener los reportes de consumos de materiales críticos .....	116
Figura N° 4.33 Página de Inicio y Pagina principal con los principales procedimientos que se pueden realizar en el aplicativo móvil.....	118
Figura N° 4.34 Página Subir Cumplimiento y Subir Control Mano de Obra....	119
Figura N° 4.35 Página Subir Cumplimiento y Subir Control Materiales y Equipos .....	120
Figura N° 4.36 Página Tareas del LookAhead y Detalle de Tareas del LookAhead .....	121
Figura N° 4.37 Página Detalle de Restricción a asignar.....	121
Figura N° 4.38 Página Restricciones del Proyecto y Detalle de Restricciones de cierta Operación .....	122

Figura N° 5.1 Esquema de diagrama de flujo de Red de Alcantarillado a instalar .....	124
Figura N° 5.2 Grafica de barras del Costo Directo de los Principales Procesos de la Obra Clínica Cayetano Heredia .....	125
Figura N° 5.3 Ejemplo de Plan Diario de la Obra Clínica Cayetano Heredia ..	128
Figura N° 5.4 Detalle de Cumplimiento/No cumplimiento de las operaciones del Plan Diario del 02 de marzo del 2021 de la Obra Clínica Cayetano Heredia.....	129
Figura N° 5.5 Detalle de Operaciones del LookAhead Semana Numero 1 – CCH, donde solo se muestra algunas operaciones .....	129
Figura N° 5.6 Grafico de Curva S al término de la semana número 1 de la obra Clínica Cayetano Heredia .....	130
Figura N° 5.7 Histograma del Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) en la planificación de la obra Clínica Médica Cayetano Heredia.....	131
Figura N° 6.1 Fotografía del Condominio Villa Convivium.....	132
Figura N° 6.2 Ubicación del inmueble que se beneficiara de la obra de Rehabilitación .....	133
Figura N° 6.3 Secuencia de Ejecución de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium”.....	134
Figura N° 6.4 Cronograma Por Hitos de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium” .....	134
Figura N° 6.5 Estructura de Control del Tramo 1 y 2 de Obra de Rehabilitación de Red y Conexiones de Agua Potable .....	135
Figura N° 6.6 Estructura de Control del Tramo 3 de Obra de Rehabilitación de Red y Conexiones de Agua Potable .....	136
Figura N° 6.7 Valor Planeado de la Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium” .....	137
Figura N° 6.8 Plan Maestro de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium” .....	138

Figura N° 6.9 Algunas Operaciones del Plan Maestro de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium” .....	138
Figura N° 6.10 Algunas Operaciones del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium.....	139
Figura N° 6.11 Operaciones del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium almacenadas en la base de datos .....	140
Figura N° 6.12 Ejemplo de Asignación de Restricción del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium con el Libro Tareas propuesto .....	140
Figura N° 6.13 Lista de Operaciones con Restricciones del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium con el Libro Tareas propuesto.....	141
Figura N° 6.14 Lista de Operaciones con Restricciones del LookAhead Semana 2 – Obra Villa Convivium con el Libro Tareas propuesto.....	141
Figura N° 6.15 Tablero de Operaciones del Plan Semanal 1 – Obra Villa Convivium generados a partir del Libro Tareas propuesto .....	142
Figura N° 6.16 Tablero de Operaciones del Plan Diario 1 – Obra Villa Convivium generados a partir del Libro Tareas propuesto .....	142
Figura N° 6.17 Tablero de Operaciones ejecutadas en la Semana 01 – Obra Villa Convivium generados a partir del Libro Tareas propuesto .....	143
Figura N° 6.18 Gráfico de Curva S de la Semana 01 – Obra Villa Convivium .....	144
Figura N° 6.19 Gráfico de PPC´s Diarios de la Semana 01– Obra Villa Convivium .....	145
Figura N° 6.20 Ejemplo de consulta a la base de datos para obtener los no cumplimientos totales .....	145
Figura N° 6.21 Grafica de Torta de las Causas de No Cumplimiento de la Obra Villa Convivium .....	146
Figura N° 6.22 Productividad de la Retroexcavadora obtenida en Obra Villa Convivium.....	147
Figura N° 6.23 Productividad del Concreto en Pavimento Rígido obtenida en Obra Villa Convivium .....	147
Figura N° 6.24 Productividad de Eliminación de Material Excedente obtenida en Obra Villa Convivium .....	147
Figura N° 7.1 Tablero Semanal de la semana 01 obtenido en Obra Villa Convivium.....	148

---

Figura N° 7.2 Tablero Semanal de la semana 02 obtenido en Obra Villa Convivium.....	149
Figura N° 7.3 Tablero Semanal de la semana 03 obtenido en Obra Villa Convivium.....	149
Figura N° 7.4 Tablero Semanal de la semana 04 obtenido en Obra Villa Convivium.....	150
Figura N° 7.5 Tablero Semanal de la semana 05 obtenido en Obra Villa Convivium.....	150
Figura N° 7.6 Histograma de PPC (%) Semanal obtenido en Obra Villa Convivium.....	151
Figura N° 7.7 Histograma de PPC (%) Diario obtenido en Obra Villa Convivium . .....	151
Figura N° 7.8 Relación de SPI y PPC obtenidos en la Obra Villa Convivium .....	152

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- CNC : Causas de No Cumplimiento.
- DN : Diámetro Nominal.
- EDT : Estructura de Desglose de Trabajo.
- EVM : Earned Value Management (Gestión del Valor Ganado).
- HH : Horas Hombre.
- HM : Horas Maquina.
- ISO : International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización)
- ITE : Inventario de Trabajo Ejecutable.
- JIT : Just in Time (Justo a Tiempo).
- LPS : Last Planner System (Sistema Last Planner).
- MO : Mano de Obra.
- PDCA : Plan – Do – Check – Act (Planificar – Hacer – Verificar – Actuar).
- PEAD : Polietileno de Alta Densidad.
- PMBOK: Project Management Body Of Knowledge (Guía de los fundamentos de gestión de proyectos).
- PPC : Percent Plan Complete (Porcentaje Plan Cumplido).
- PVC-U: Policloruro de Vinilo no plastificado.
- PMI : Project Management Institute (Instituto de Gestión de Proyectos).
- RAE : Real Académica Española.
- SGBD : Sistema de Gestión de Bases de Datos.
- TPS : Toyota Production System (Sistema de Producción Toyota)
- TIC : Tecnología de la Información y Comunicación.
- TP : Trabajo Productivo.
- TC : Trabajo Contributorio.
- TNC : Trabajo No Contributorio.
- TFV : Transformation – Flow – Value (Transformación – Flujo – Valor).
- VBA : Visual Basic for Application

## **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

### **1.1 Generalidades**

La pandemia debido al virus SARS-COV 2, ha impulsado la digitalización y la transformación digital en el sector de la construcción. Ello comprende desde utilizar plataformas colaborativas para llevar a cabo reuniones semanales entre los últimos planificadores hasta la posibilidad de controlar la obra sin necesidad de desplazarse físicamente mediante herramientas digitales que permitan la visualización en tiempo real de los principales datos a controlar.

La digitalización se lleva a cabo mediante sistemas integrados de recolección, almacenamiento y transformación de datos en tiempo real. El cual tiene los siguientes beneficios: datos coherentes, sin duplicidad, mejora del flujo de trabajo entre el equipo y datos disponibles en tiempo real para la toma de decisiones. Donde generalmente se utiliza un aplicativo móvil para la toma de datos y sistemas web para el análisis y reportes de indicadores.

Teniendo automatizado la toma de datos de campo, el análisis y la obtención de reportes de indicadores nos permitirán abordar uno de los principales problemas en la industria de la construcción el cual es identificar las desviaciones de tiempo y costo de manera temprana para tomar medidas correctivas confiables.

### **1.2 Descripción del problema de investigación**

El objetivo de toda constructora es culminar los proyectos dentro del plazo, costo y calidad ofrecida al cliente, sin embargo, a nivel internacional, la literatura demuestra que las desviaciones en tiempo y costo es muy frecuente tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo. Por ejemplo, como demuestra Aljohani, Ahiaga-Dagbui y Moore (2017), el exceso de costo en los proyectos de construcción es muy común debido a la gran variabilidad, nueve de cada diez proyectos normalmente experimentan costos excesivos y las principales causas son las siguientes: cambio de diseño frecuente, financiamiento de las contratistas, demora en el pago del trabajo completado al contratista, falta de experiencia del contratista, estimación de costos deficientes, deficiente seguimiento del proyecto, entre otros. Abd El-Razek, Bassioni y Mobarak (2008), mencionan que el retraso en los proyectos de construcción es uno de los problemas más comunes, es por ello que investigan sus principales causas, entre los cuales tenemos:

financiamiento por parte del contratista, demoras en el pago del contratista por parte del cliente, cambios de diseños, mala programación y control de obra, entre otros.

Al ser la problemática principal que los proyectos culminan de manera tardía y con sobrecostos, es necesario poder identificar las desviaciones a tiempo, para poder tomar decisiones y enrumbar el proyecto, sin embargo, se necesita conocer indicadores que midan el desempeño del proyecto para poder tomar dichas decisiones, dichos indicadores deben estar basados en datos confiables del proyecto. Sin embargo, como menciona Chen y Kamara (2008) la recopilación de información en las obras de construcción se sigue dando de manera tradicional, lo cual dificulta la confiabilidad de dicha información, ya que esta puede ser alterada fácilmente para beneficio de terceros, lo cual dificulta conocer el desempeño del proyecto, se necesita conocer información relevante en tiempo real del proyecto, para obtener indicadores para la toma de decisiones oportunas y así no tomar decisiones de manera tardía.

### **1.3 Objetivos del estudio**

#### **1.3.1 Objetivo General**

El objetivo principal del presente trabajo es proponer un aplicativo de digitalización de datos y toma de decisiones con lo cual se pretende conocer el desempeño de las obras de construcción en tiempo real para poder tomar medidas correctivas de manera temprano con el fin de evitar terminar la obra de manera tardía y/o con sobrecostos.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Implementar un aplicativo que ayudara a la implementación del LPS para obtener mejores resultados en los proyectos de construcción.
- Implementar herramientas para controlar el desempeño mediante EVM en tiempo real para obtener mejores resultados en los proyectos de construcción.
- Implementar herramientas para el control de materiales, mano de obra y equipos para obtener mejores resultados en los proyectos de construcción.
- Simular la toma de datos en el aplicativo propuesto para verificar la viabilidad del producto basado en toma de datos de campo.

#### 1.4 Antecedentes investigativos

Actualmente es popular la utilización del Sistema de Ultimo Planificador (LPS) para la planificación y control de obras. Respecto a la planificación se ha demostrado grandes beneficios como menciona Rodríguez, Alarcón y Pellicer (2011), la planificación tradicional identifica las actividades que deben realizarse para cumplir con los objetivos del proyecto, mas no se realiza un análisis de lo que puede realizarse generando gran incertidumbre al no identificar restricciones que pueden perjudicar la realización de las actividades planeadas, utilizando el LPS se programa únicamente actividades sin restricciones aumentando la confiabilidad de la planificación y tener un flujo de trabajo continuo.

En el artículo “Aplicación de las TICS en el Ámbito de la Construcción “(Martínez, Marín y Vila, 2013) mencionan que el principal objetivo de una empresa constructora es culminar sus proyectos en el menor plazo, coste y con la calidad prometida al cliente, para lo cual es necesario tener un control exhaustivo en todo momento, sin embargo, con la tecnología que se utiliza, es muy complicado realizarlo en poco tiempo, ya que la información no se encuentra almacenada correctamente. Por lo cual se propone la utilización de los sistemas de información que ayudaran no solo al fácil acceso de la información de los distintos proyectos, además, de sistemas de apoyo a la toma de decisiones (DSS) que ayuden a tomar decisiones correctivas del proyecto en el menor tiempo posible.

En el ámbito del control de la producción, en el artículo “Tecnologías de la Información y Comunicación en la Construcción: Una Propuesta para el Control de la Producción “(Orihuela, Orihuela, Pacheco, 2016) proponen un sistema de información y comunicación para recolectar los datos directamente del sitio de trabajo y procesarlos vía web, con lo cual podemos controlar una obra de construcción de manera continua y en tiempo real. Dicho sistema captura la información de los tres recursos de la producción (Mano de Obra, Materiales y Equipos) a través de dispositivos electrónicos y los procesa mediante un software en línea.

Dave, Boddy y Koskela (2010) afirman que la eficiencia de la planificación y control de la producción depende significativamente en la confiabilidad y disponibilidad oportuna de la información de los recursos, es decir, se debe enfocar en tener un buen flujo de información para llevar a cabo la planificación de la producción.

Tradicionalmente los últimos planificadores pierden tiempo recolectando información en campo acerca de la disponibilidad de recurso, tareas completadas, levantamiento de restricciones, etc.; datos que se necesitan semanalmente para las reuniones con los interesados, para lo cual los autores proponen un sistema de gestión de información que es flexible y dinámico mediante sistemas web, para integrar y mejorar el flujo de la información en proyectos de construcción, proporcionando información correcta y en tiempo real para mejorar la planificación y control dentro del sistema de producción.

Chen y Kamara (2008) realizaron una encuesta que tenía como objetivo investigar el mecanismo de transferencia de información en las obras de construcción, de la cual se obtuvo que la recolección de información necesaria para el control de producción (materiales, mano de obra, equipos y avance) se hace en un 65% usando formatos en papel, un 28% en la memoria de quien recoge la información, y solo en un 7% a través de dispositivos móviles. Además, la transferencia de dicha información se realiza principalmente cara a cara (42%), por email (31%) y por teléfono (20%) y solo en un 7% por medio de una intranet o extranet.

Como mencionan Abudayyeh, Temel, Tabtabai y Hurley (2001) la gestión efectiva de los proyectos de construcción depende de un buen acceso y control de la información, se necesita un sistema de control del proyecto para facilitar la recolección y además generar bases de datos históricos para la planificación futura de proyectos, las empresas necesitan conocer rendimientos históricos del personal, Análisis de precios unitarios (APUS) de proyectos pasados, lecciones aprendidas, etc., con lo cual aumentara la probabilidades de éxito de la empresa en referente a tiempo, costo y calidad en múltiples proyectos. Los autores implementan el control de costos basados en el sistema Intranet, donde los datos y la información se almacenarán y procesarán por un sistema de base de datos, además que la entrada de datos y la generación de informes se controla proporcionando acceso de seguridad para personas autorizadas mediante un usuario y una clave.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **2.1 MARCO TEÓRICO**

#### **2.1.1 El Sistema de Producción de Toyota (TPS)**

El TPS actualmente es conocido como Lean Management, denominación dada por James Womack y Daniel Jones en 1990 con la publicación de “La máquina que cambio el mundo” y la fundación del Lean Enterprise Institute en Estados Unidos, para poder ayudar a las empresas estadounidenses a implementar este modelo de producción.

Para entender el TPS, debemos primero entender la historia y todos los problemas que tuvieron que pasar la familia Toyoda para poder pulir y convertirse en uno de los mejores fabricantes de automóviles del mundo.

##### **2.1.1.1 Historia del Sistema de Producción de Toyota**

La historia de la familia Toyoda empezó con Sakichi Toyoda, un artesano e inventor, que fabrico unos telares automáticos (el cual paraba automáticamente cuando los hilos se rompieran). En 1929 negocio la venta de los derechos de la patente a Platt Brothers y con ese dinero en 1930, le dio la misión a su hijo Kiichiro Toyoda de fundar la Toyota Motor Corporation (Liker,2006).

Durante los años 30, el gobierno militar prácticamente les obligo a enfocarse en la fabricación de camiones para uso militar, la compañía producía vehículos de baja calidad con tecnología primitiva y tuvo poco éxito. Durante estos años, los directivos de Toyota visitaron la fábrica de Ford, estudiando las ideas de cintas transportadoras, máquina – herramientas de precisión y economías de escala propio de la producción en masa norteamericana. Toyota se dio cuenta que el mercado Japonés era demasiado pequeño para soportar los altos volúmenes propios de una producción en masa, por lo tanto, si querían sobrevivir y competir a largo plazo deberían adaptar la fabricación en masa al mercado Japonés. (Womack, Jones, Roos,2017).

Hacia finales de 1949, debido a la inflación y falta de liquidez, para evitar la bancarrota, Toyota tuvo que implementar medidas muy severas de reducción de costes, incluyendo el despido masivo de sus empleados, lo cual genero huelgas y manifestaciones. Kiichiro Toyoda asumió la responsabilidad del fracaso de la empresa y renuncio, posteriormente asumió Eiji Toyoda. (Womack *et al.*,2017).

Luego de la segunda guerra mundial, en 1950, Toyota no tenía liquidez y operaba en un pequeño país, con pocos recursos y capital, los directivos en sus semanas de visitas a la fabricas de Ford se dieron cuenta que se utilizaban métodos ineficientes de producción por lotes, donde habían grandes equipos produciendo grandes cantidades de productos que eran guardados en almacenes y ahí esperaban a que sean procesado en otro departamento y así sucesivamente, se dieron cuenta que se producían grandes cantidades de piezas y se preocupaban por mantener ocupadas las máquinas y trabajadores todo el día, teniendo como resultado sobreproducción, defectos que podían pasar desapercibidos en estos grandes lotes y un flujo poco consistentes. Luego de la visita y al reflexionar en como adaptar la producción en masa de Ford al mercado Japones, se dieron cuenta que no se podían dar el lujo de crear desperdicio, carecía de almacenes, espacio en planta y dinero, y no producía grandes volúmenes de un solo tipo de vehículo, pero determino que podía usar la idea original de Ford de flujo de material continuo para desarrollar un sistema de flujo pieza a pieza que podía ser cambiado de manera flexible según la demanda del cliente y que fuera eficiente al mismo tiempo (Liker,2006).

Ohno(1988) en su libro, Toyota Production System, menciona que los dos pilares del TPS es el Just in Time el cual requiere fabricar las unidades necesarias para producir las cantidades requeridas y en el momento requerido, sin desperdiciar ni materia prima ni tiempo y Jidoka , el cual Liker(2006) menciona que significa nunca dejar que un defecto pase a la siguiente estación , donde si era necesario se debía parar el proceso para resolver el problema , así evitamos productos defectuosos y la calidad a la primera.

### **2.1.1.2 Modelo del sistema Toyota**

El documento interno del modelo Toyota para sus propósitos de formación, describe los cinco principios claves de la conducta de los empleados de Toyota, cuyas directrices están basadas en los pilares duales de “Mejora continua” y “Respeto por Personas” (Gao y Low ,2014). [Véase figura adaptada de Toyota Motor Corporation (2003)].

Tabla N° 2. 1 Principios claves de la conducta de los empleados de Toyota  
(Fuente: Gao y Low,2014)

<b>Mejora Continua</b>	<b>Respeto por la gente</b>
<p><b>Desafío</b> Formamos una visión a largo plazo, enfrentando desafíos con coraje y creatividad para realizar nuestros sueños</p>	<p><b>El respeto</b>  Respetamos a los demás, hacemos todo lo posible para entender los unos a los otros, asumir la responsabilidad y haremos nuestro mayor esfuerzo para generar confianza mutua</p>
<p><b>Genchi Genbutsu</b> Vamos a la fuente para encontrar los errores y tomar decisiones correctas, construir consensos y alcanzar nuestros objetivos</p>	
<p><b>Kaizen</b>  Mejoramos nuestras operaciones comerciales continuamente, siempre impulsando la innovación y la evolución</p>	<p><b>Trabajo en equipo</b> Estimulamos al personal para su crecimiento profesional, compartimos oportunidades de desarrollo y maximizamos las experiencias individuales y de equipo</p>

Liker (2016) incorporo y correlaciono los principios del documento interno de Toyota con su modelo (modelo de 4P). Utilizando un modelo piramidal, que comprende 14 principios y se agrupan en 4 categorías.

1. Filosofía a largo plazo (filosofía)
2. El proceso correcto producirá los resultados correctos (proceso)
3. Añada valor a la organización mediante el desarrollo de su persona y de sus socios (Personas / Socios)
4. La resolución continua de los problemas fundamentales impulsa el aprendizaje organizativo

La base de la pirámide es la filosofía, en la cual impulsa basar las decisiones de gestión en una filosofía a largo plazo, incluso a expensas de los objetivos financieros a corto plazo. El siguiente nivel en la pirámide trata con los procesos, en los cuales, si se tiene un flujo de producción que tira, se nivela, se estandariza y utiliza controles visuales para que pueda aflorar el problema. El siguiente nivel es el respeto a las personas y socios, desafiándolos y haciéndolos crecer y el último paso de la pirámide es la filosofía de resolución de problemas mediante el uso de diversas herramientas de mejora continua y aprendizaje como el kaizen, genchi genbutsu (Gao *et al.*,2014).



Figura N° 2.1 Principios del Modelo de Toyota (Fuente: Liker,2016)

Otra forma de representar el Sistema de Producción de Toyota es mediante el diagrama de la casa del TPS que fue desarrollada por Fujio Cho.

Como menciona Liker (2016), véase figura N°2.2, se representa mediante una casa es un sistema estructural y la casa será solida solo si el techo, las columnas y los cimientos son fuertes, Unas uniones débiles debilitaran el sistema. El sistema empezara con los objetivos de la mejora de calidad, el coste más bajo y el lead time más corto (el techo). Luego hay dos columnas: el just in time y el jidoka; en el centro del sistema está la gente, porque solo ellos podrán llevar la mejora continua en los procesos. Finalmente, hay varios elementos en los cimientos, como la necesidad de una producción nivelada (heijunka), procesos estandarizados y estables, gestión visual y la filosofía del modelo de Toyota.

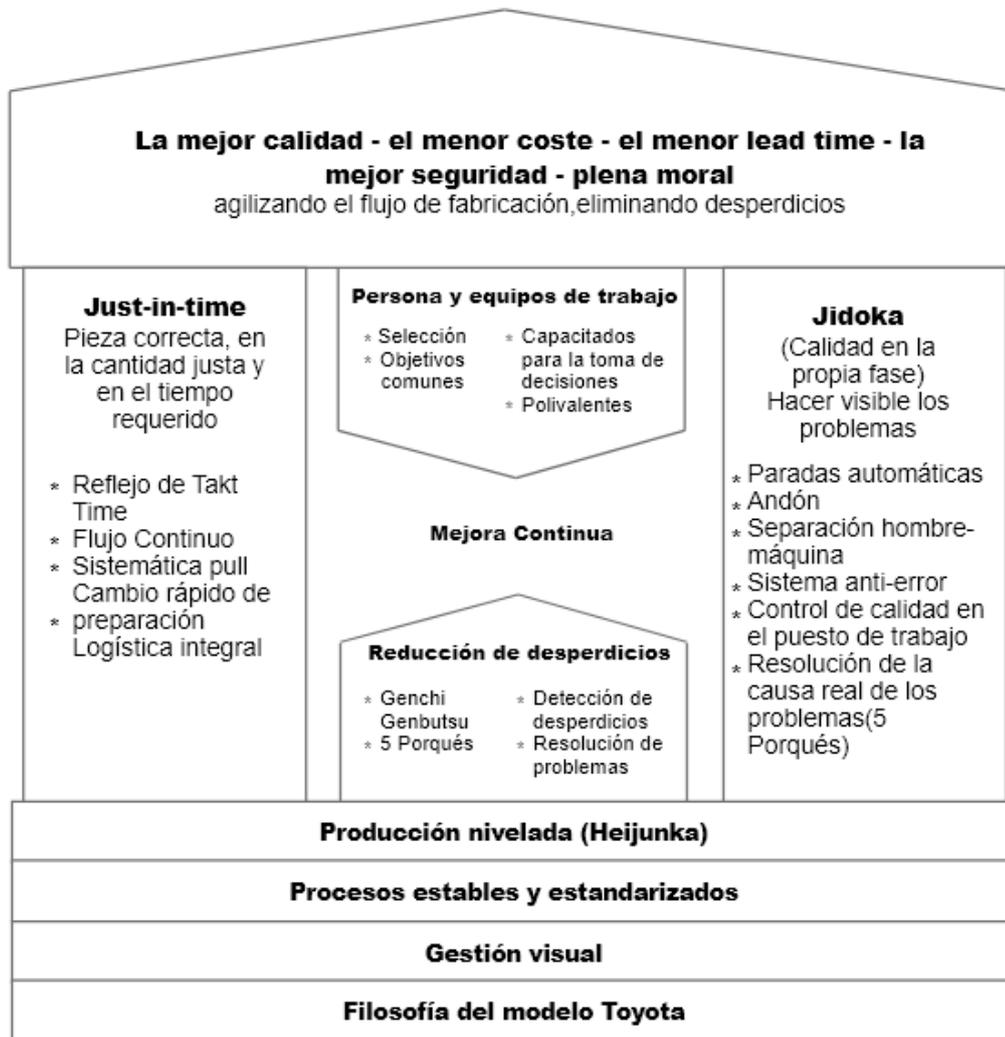


Figura N° 2.2 Sistema de Producción de Toyota (Fuente: Liker,2016)

### 2.1.1.3 Principios del Sistema de Producción de Toyota

#### 2.1.1.3.1 Principio 1: Base sus decisiones de gestión en una filosofía a largo plazo, a expensas de lo que suceda con los objetivos financieros a corto plazo

Gao *et al.* (2014) divide este principio en 4 subprincipios que tienen una influencia muy fuerte en el sentido de misión y compromiso de Toyota con sus empleados, clientes y la sociedad.

#### 1. Sentido de propósito

Liker (2016) mencionaba que los empleados de Toyota tenían un propósito mayor que ganar un sueldo, pues el propósito de Toyota es contribuir al crecimiento económico de la sociedad cuidando a sus empleados y a la

comunidad, los empleados comprendían que debían hacer lo correcto para cumplir dicha misión, ellos sabían que ante un recesión no iban a perder su empleo, como lo hubieran hecho en otras compañías, es así que todos trabajan bajo un mismo propósito hacer lo correcto para la compañía, empleados, cliente y la sociedad tratándolo como un conjunto, lo cual es la base para otros principios.

## 2. Perspectiva a largo plazo

Toyota sabía que debía enfocarse en sobrevivir, ellos evaluaban cualquier decisión que tomaran y si es que esta decisión afectaría en la supervivencia a largo plazo de la empresa, pensaban más allá de los beneficios a corto plazo.

## 3. Ser autosuficiente y responsable

El documento Modelo Toyota 2001, citado en Liker (2006, p.139) afirmaba que:” Nos esforzamos por decidir nuestro propio destino. Actuamos con confianza en uno mismo, confiando en nuestras propias habilidades. Aceptamos la responsabilidad por nuestra conducta y por mantener y mejorar los niveles que nos permiten producir valor añadido”.

Liker (2006) explicaba el autosuficiente como “el hagámoslo nosotros mismos” una característica única en la historia de Toyota desde sus primeros fundadores.

## 4. Enfoque al cliente

El modelo Toyota se enfoca en agregar valor a los clientes, empleados y la sociedad. Toyota se centra en satisfacer al cliente, así lo primero que hace es preguntarse desde la perspectiva del cliente que valor estamos agregando. Además, se definió dentro de la cadena de procesos clientes internos que receptionan el producto aguas arriba.

### **2.1.1.3.2 Principio 2: Cree procesos en flujo continuo para hacer que los problemas salgan a la superficie**

Womack *et al.* (2017) mencionaba que en la producción en masa se escondían grandes desperdicios en grandes inventarios, en el cual solo se daban cuenta en el último proceso antes de la entrega del producto hacia el cliente y utilizaban un área de retoques, el cual gastaba infinidad de horas para tratar de subsanar el defecto, y como el problema no se descubría hasta el final de la cadena, se habría fabricado un gran número de vehículos con el mismo defecto, lo cual era improductivo.

Liker (2016) mencionaba que existía una expresión lean el cual menciona que bajando el nivel de agua de los inventarios, emergen los problemas (igual que las rocas del mar), de manera que tienes que luchar contra los problemas o acabas de hundirte, es decir, en un proceso de flujo continuo o de pieza a pieza como lo ideaba Ohno bajando o reduciendo los inventarios, emergían los problemas y todos los implicados buscarían la forma de solucionarlo ya que el proceso paraba si no lo hacían. (p.150)

### **2.1.1.3.3 Principio 3: Utilice sistemas Pull para evitar producir en exceso**

En el modelo Toyota, Pull significa el estado ideal de fabricación just in time, entregando al cliente lo que desea, cuando lo quiere y en la cantidad que desee reduciendo la cantidad de inventario y por lo tanto desperdicio, sin embargo, Ohno, sabía que no se podía tener inventario cero, ya que la demanda del cliente muchas veces es muy cambiante, es así que Ohno decidió crear pequeños almacenes de piezas terminadas entre operaciones para controlar el inventario. Cuando el cliente se llevaba un artículo determinado, se reponían. Si el cliente no utilizaba un artículo, permanecían en el almacén, pero no se reponían, no se podía producir más de lo demandado por el cliente interno (Liker,2016).

Para ello se apoyaron de los famosos Kanban (tarjetas, señales de cualquier tipo), enviar hacia atrás contenedores vacíos era una señal para rellenar un numero específico de piezas, o bien también se enviaban información hacia atrás en una tarjeta con información detallada, es decir este Kanban servía para controlar la producción, producir únicamente lo necesario y demandado por los clientes internos, reduciendo al máximo los inventarios y las perdidas por sobreproducción (Womack *et al.*,2017).

### **2.1.1.3.4 Principio 4: Nivelar la carga de trabajo (Heijunka)**

En el documento interno del modelo de Toyota (como se citó en Liker,2016) mencionaba que no bastaba con eliminar los desperdicios (Muda), sino además se debía eliminar el muri y el mura. Las 3M son:

- Muda: Sin valor añadido, incluye los 8 tipos de desperdicios. Estas son actividades que generan despilfarros al alargar los tiempos de entrega, causar movimientos extras, crear inventarios en exceso o cualquier tipo de espera.

- Muri: Sobrecarga de trabajo del personal o de las máquinas. El muri fuerza más allá de sus límites naturales a una maquina o un empleado.
- Mura: Trabajo desnivelado, esto puede resultar debido a un programa de producción irregular o de volúmenes de producción muy fluctuantes

Como mencionaba Liker (2016), el enfoque lean muchas veces se centra en buscar eliminar los desperdicios(muda), ya que es el más sencillo de identificar y eliminar, sin embargo, fallan en conseguir estabilizar y nivelar el trabajo. El principio 4 se centra en el muri y mura, el nivelado de la producción tanto por volumen como por mezcla de productos, es decir, no fabricar los productos según el flujo de pedido real del cliente que puede ser muy variable, sino que coge el volumen total de pedido en un periodo dado y los nivela de modo que todos los días se produzcan cantidades iguales y en función a los recursos que posean.

#### **2.1.1.3.5 Principio 5: Cree una cultura de parar a fin de resolver los problemas, para lograr una buena calidad a la primera (Jidoka)**

Ohno pensaba que se necesitaba un método para detectar los defectos en el instante que ocurra y parar automáticamente la producción de modo que un empleado o mediante el trabajo en equipo (un grupo de empleados) puedan resolver el problema antes de que el defecto siga adelante en el proceso. Prevenir que los problemas sigan avanzando, es mucho más efectivo y menos costoso que inspeccionar y reparar los problemas de calidad en un proceso final previo entrega al cliente mediante un área de retoques, como hacia el flujo en masa. En el TPS se capacitaban a los empleados de tal forma que ellos podían identificar el error, comunicar y parar por completo la línea mediante una señal de ayuda (Andon) para solucionar el problema, Toyota se dio cuenta que resolver los problemas de calidad en el origen ahorra tiempo, dinero y sobre todo mejorar continuamente el proceso (Liker,2006).

Liker (2006) mencionaba que el TPS tenía éxito referente a la calidad de sus productos, ya que en Toyota todos estaban involucrados y se sentían responsable de la calidad de los productos, se preocupaban de generar productos de buena calidad a la primera con el Jidoka, y además utilizaban una herramienta conocida como Poka Yoke, que era un sistema a prueba de error, de tal manera que no se vuelva a cometer el error y en lo posible eliminarse con estos Poka Yoke

automáticamente el error. Además, mencionaba que Toyota tenía un simple control de calidad, el cual comprendía 4 pasos.

- Vaya y vea (genchi genbutsu)
- Analice la situación
- Use el flujo de una sola pieza y el andón para que afloren los problemas
- Pregunte ¿Por qué? Cinco veces

Preguntar porque cinco veces, suministra un análisis de la causa raíz del problema, así como contramedidas para resolverlos, así el equipo se centrará en resolver los problemas en lugar de buscar culpables.

#### **2.1.1.3.6 Principio 6: Las tareas estandarizadas son el fundamento de la mejora continua y de la autonomía del empleado**

Liker(2006) decía que para juzgar lo normal de lo anormal debía haber un trabajo previamente estandarizado que sirviera como base, sin embargo, la tarea crítica a la hora de implantar la estandarización es encontrar el equilibrio entre suministrarle al empleado procedimientos rígidos y a la vez darles la libertad para innovar y ser creativos para cumplir con la mejora continua, ya que el trabajador según la filosofía TPS es el recurso más valioso y además está suficientemente capacitado para promover mejoras en el proceso. La estandarización es la base de la mejora continua, pues es imposible mejorar cualquier proceso sin que antes este estandarizado, además los estándares no permanecen iguales ya que se espera que se vayan mejorando.

Liker (2006) además explicaba en qué consistía el trabajo estandarizado:

- A. Tiempo de ciclo (Takt time): El tiempo de ciclo o takt es el lapso de tiempo en que una unidad de producto debe ser producido al ritmo de la demanda del cliente. El tiempo de ciclo es determinado por la cantidad diaria de productos requeridos y el cada cuanto tiempo es requerido por el cliente, con base a esta información, se administra el nivel de personal mínimo necesario.
- B. Secuencia de operaciones estándar: Se puede definir como el orden de actividades que cada empleado debe realizar en un tiempo de ciclo dado.

- C. Cantidad de trabajo en proceso: Servía para conocer la cantidad de inventario que necesita cada trabajador para poder realizar el trabajo estandarizado.

Los beneficios que se obtienen con un trabajo estandarizado, según Gao *et al.* (2014):

- Previene la sobreproducción, con un trabajo estandarizado se produce únicamente lo demandado por el cliente, reduciendo los inventarios innecesarios.
- Ayuda para lograr una mayor calidad, ya que cada empleado conoce que actividades son necesarias para producir productos de calidad y además cual es el procedimiento para lograr ello.
- Reduce el costo, ya que no se realizan actividades aleatorias con métodos inconsistentes, así reducimos el desperdicio eliminando la variación dentro de los procesos, conllevando a reducir los costos.
- Proporciona una base para juzgar lo normal de lo anormal

#### **2.1.1.3.7 Principio 7: Utilice el control visual de modo que no se oculten los problemas**

Liker (2006) mencionaba que el uso del control visual es considerado como el paso más importante en el proceso de desarrollo de la estandarización. El control visual es cualquier dispositivo de comunicación en el ambiente de trabajo que nos dice, echándole un vistazo, como debería hacerse el trabajo y si nos estamos desviando del estándar. El objetivo de la gestión visual es hacer que el desperdicio, los problemas y las anomalías sean evidentes para los empleados y gerentes, así se podrían solucionar los problemas al instante que sea detectado.

Una herramienta que ayuda a ello es la “5S”, el cual abarca una serie de actividades para eliminar los despilfarros que contribuyen a errores, defectos y accidente en el lugar de trabajo, ayudan a organizar eficazmente un lugar de trabajo o proceso de producción. Hirano (1995) resumió las cinco etapas de un programa 5-S:

1. Seiri (clasificación): Durante el proceso seiri, todos los materiales y herramientas se clasifican, y guardamos únicamente lo que se necesitara en el proceso, lo demás debía desecharse

2. Seiton (en orden): Seiton se refiere a organizar los materiales y herramientas de tal manera que cualquiera pueda encontrarlos y usarlos fácilmente.
3. Seiso(limpio): Seiso significa barrido y limpieza. Significa limpiar y mantener las cosas en orden. El punto clave es mantener la limpieza y debe ser parte del trabajo diario.
4. Seiketsu(estandarizar): Seiketsu significa hacer toda la limpieza, el orden y la mejora una actividad regular en el lugar del trabajo, debemos desarrollar procedimientos para mantener y controlar las anteriores 3S.
5. Shitsuke(sostener): Shitsuke significa disciplina de mantenimiento. Las primeras 4S se pueden implementar sin problemas si los empleados son comprometidos a mantener la disciplina.

Los sistemas 5S ayudan a obtener un flujo continuo, además que las 5S es una herramienta que ayuda que los problemas se hagan visibles, ya que Ohno (1988) decía que se tenía que limpiar y ordenar todo de manera que se pudieran ver los problemas.

Gao *et al.*,2014 comentaba que los controles visuales ayudaban en crear un entorno transparente y libre de residuo, además resumía el principio 7 de la siguiente manera:

1. Límpielo, hágalo visual: use sistemas de control visual simples (como el 5S)
2. Integrar los sistemas de control visual en el proceso del trabajo de valor agregado, use el control visual para mejorar el flujo, el uso de control visual va más allá de captar anomalías.

#### **2.1.1.3.8 Principio 8: Utilice solo tecnología fiable y absolutamente probada que de servicio a su personal y a sus procesos**

Liker (2006) explicaba este principio con 5 subprincipios que son:

1. Las tecnologías deben estar perfectamente integradas,
2. Las tecnologías deberían apoyar el proceso, no conducirlo. Cambiar el proceso para ajustarse a la tecnología conduce a la inestabilidad, lo cual confunde a las personas y genera desperdicio.

3. Las tecnologías deberían mejorar a las personas, no reemplazarlas, ya que Toyota valora a sus empleados como el activo de mayor valor.
4. Orientación específica a la solución, la gente de Toyota cree que la tecnología nunca es sustituta del trabajo principal, el potencial de una tecnología solo radica en apoyar y acelerar el trabajo pesado, pero para ello debe estar el proceso y las personas correctas.
5. Tamaño correcto, pues es una idea errónea obtener las herramientas más grandes, rápidas y nuevas en el mercado. Toyota solo utiliza herramientas simples que puedan facilitar el trabajo de sus empleados.

Para Toyota la tecnología es una herramienta más, que debe servir para apoyar a las personas y al proceso.

#### **2.1.1.3.9 Principio 9: Haga crecer a líderes que comprendan perfectamente al trabajo, vivan la filosofía y la enseñen a otros.**

Liker (2006) explicaba que Toyota no va comprar presidentes ejecutivos exitosos porque sus líderes necesitaban comprender la cultura y filosofía de Toyota, y eso se logra formando a los líderes, los lideres deben adaptarse a Toyota y no al revés. La meta de los líderes de Toyota, era desarrollar personas para que sean grandes colaboradores que piensen y sigan la filosofía de Toyota en todos los ámbitos de la organización.

Gao *et al.* (2014) resumía el principio de liderazgo actual de Toyota como:

1. Apoye a la cultura, Toyota invierte años para desarrollar líderes que lleven el ADN de la empresa en sus pensamientos, palabras y acciones.
2. Apoye a las personas que realizan el trabajo, ya que las personas es el pilar principal de la filosofía Toyota, las maquinas se deprecian, las personas no.
3. Toyota quiere líderes que vivan los valores fundamentales, incluido el espíritu de desafío, kaizen, genchi genbutsu, respeto y trabajo en equipo.

#### **2.1.1.3.10 Principio 10: Desarrolle personas y equipos excepcionales que sigan la filosofía de su empresa**

Existe un famoso dicho de los líderes de Toyota para describir este principio: "Toyota no solo construye autos, construye personas", la justificación de este principio radica en la filosofía de Toyota en la cual las personas son el activo más importante. Este principio se resume en 3 aspectos: la primera desarrollar excelentes trabajos individuales, segundo promover el trabajo en equipo y el ultimo es la estructura organizativa de Toyota, en la cual los trabajadores son llamados miembros del equipo y son responsables de la resolución de problemas y mejora continua. Los miembros del equipo son administrados por líderes de equipo que se reportan a líderes de grupo. Los líderes de equipo tienen una cantidad de roles importantes como: la respuesta de los tirones de andón, la auditoria de trabajo estandarizado y facilitar el proceso de resolución de problemas, los líderes de grupo son los supervisores de primera línea y tienen responsabilidad general de producción (Gao *et al.* ,2014)

#### **2.1.1.3.11 Principio 11: Respete a su red extendida de socios y proveedores, desafiándoles y ayudándoles a mejorar**

Liker (2006) señalaba que Toyota había invertido mucho en asociaciones de proveedores durante décadas, los directivos de Toyota invertían enseñándoles la filosofía de Toyota, la manera de construir y entregar componentes de alta calidad y justo a tiempo, enviando sus propios empleados a las plantas de los proveedores durante semanas o meses. Al principio Toyota les brindaban contratos pequeños y para ser recompensados con más contratos, los proveedores debían adoptar las filosofías de Toyota. Toyota buscaba una relación sólida y a largo plazo con los proveedores, ya que esto ayuda a reducir costos y los proveedores podían invertir seguros en equipos para la producción de piezas para Toyota.

#### **2.1.1.3.12 Principio 12: Vaya a verlo por sí mismo para comprender a fondo la situación (genchi genbutsu)**

Liker (2006) comentaba que para Toyota el primer paso para tratar de resolver un problema es el genchi genbutsu, es decir, cuando había un problema en el lugar de producción, la práctica de genchi genbutsu requiere que los líderes de Toyota deben ir, ver y realmente entender la situación real in situ, luego debe encontrarse la causa del problema, y comunicarlo. Los directivos decían: "Nosotros debemos verificar y comprobar los datos e información in situ, para tomar decisiones correctas"

Gao *et al.* (2014) resume este principio de la siguiente manera:

1. Resolver problemas y mejorar procesos yendo a la fuente
2. Piense y hable basándose en datos verificados personalmente en lugar de teorizar en base de lo que otros o algún software.
3. Se alienta a la gerencia a ir y ver las cosas por sí mismo. Ellos van a lograr más cuando tienen las habilidades para analizar y comprender a fondo la situación.

#### **2.1.1.3.13 Principio 13: Tome decisiones por consenso lentamente, considerando concienzudamente todas las opciones e implementarlo rápidamente**

Liker (2006) comentaba que para Toyota el cómo uno llega a la decisión es tan importante como la calidad de decisión, de hecho, la gerencia le perdonara una decisión que no funcione como estaba previsto, si ha utilizado el proceso correcto. El estilo de Toyota, requiere llegar a un consenso antes de cualquier toma de decisiones, el consenso se genera al tomar aportes de muchas personas involucradas y evaluando muchas alternativas (Nemawashi), logrando con ello:

- Descubrir todos los hechos que, si no se han considerado, podrían conducir a una gran cantidad de problemas.
- Invitar a todos los afectados, a apoyar la decisión y si existiera resistencia se debe solucionar antes de implementarla, ya que una vez implementada conllevara a costes mayores
- Logra un aprendizaje previo antes que se implemente

Liker (2006) resumía el proceso de toma de decisiones en 5 elementos:

1. Averiguar lo que realmente está pasando (genchi genbutsu).
2. Comprender las causas subyacentes que explican lo que aparece en la superficie (preguntando 5 veces porque).
3. Considerar una amplia gama de soluciones alternativas y desarrollar una explicación detallada para la solución elegida.
4. Crear consenso dentro del equipo, incluyendo los empleados de Toyota y a los proveedores externos.
5. Usar todos los vehículos de comunicación eficiente para ejecutar los 4 elementos anteriores, preferiblemente en un lado de una hoja de papel A3.

Toda información necesaria para tomar una decisión, se presentaba en una hoja A3, en el cual se seguía las etapas del ciclo de Deming (Planificar, hacer, controlar y actuar).

#### **2.1.1.3.14 Principio 14: Conviértase en una organización que aprende mediante la reflexión constante (Hansei) y la mejora continua (Kaizen)**

El modelo Toyota implica que la empresa aprenda de sus errores, se cambia el enfoque viendo a los errores como oportunidad de aprender, proporcionando contramedidas efectivas, dando autonomía a las personas para que implementen esas medidas y teniendo un proceso para transferir el conocimiento.

Liker (2006) explicaba que hay 3 componentes claves del Hansei:

1. El individuo debe reconocer que hay un problema, una brecha entre expectativas y logros, y estar abierto a comentarios negativos
2. El individuo debe asumir voluntariamente su responsabilidad personal y sentir un profundo pesar.
3. El individuo debe comprometerse a un curso de acción específico para mejorar.

Liker (2006) comentaba que el Hansei era una de las cosas más difíciles que Toyota tenía que enseñar, pero es una herramienta practica para mejorar, se puede aplicar por ejemplo después de completar un proyecto, para identificar abiertamente todas las deficiencias y errores cometidos y desarrollar contramedidas para evitar cometer estos errores nuevamente, es así que Hansei es esencial para el Kaizen (mejora continua) y se desarrolla en la etapa de verificación del ciclo de Deming.

### **2.1.2 De Lean Production a Lean Construction**

El éxito que tuvo los principios Lean en las industrias manufactureras, fue una de las principales motivaciones para tratar de adoptar dichos principios a la construcción. Como veremos más adelante fue Koskela, en 1992 con su documento Aplicación de la nueva filosofía de la producción a la construcción, que fomento las bases para lo que ahora se conoce como Lean Construction.

#### **2.1.2.1 Lean Production**

El termino Lean Production salió a luz por primera vez a través del libro: La máquina que cambio el mundo de James Womack y Daniel Jones en 1990, en la

cual los autores afirmaban que el sistema de fabricación de Toyota era muy superior a las demás, ya que usaban menos esfuerzo humano, menos espacio de fabricación, menos inversión en herramientas, menos tiempo dedicado al desarrollo de nuevos productos pero con mayor calidad, menos inventario y además podría fabricar variedades de productos (Womack *et al.*,2017).

Womack y Jones (1996) en su libro Lean Thinking plantean los 5 principios del pensamiento Lean, los cuales son:

1. Valor: El valor solo puede ser definido por el cliente
2. Flujo de valor: El flujo de valor analiza 3 tipos de acciones a lo largo del mismo: primero, actividad que crea valor, segundo, actividad que no crea valor, pero son inevitables de acuerdo a la tecnología actual y los activos de producción disponibles y tercero, actividades que no crean valor y pueden evitarse.
3. Flujo: Una vez que se ha especificado el concepto de valor y se ha graficado el flujo de valor eliminando los desperdicios, el próximo paso es hacer que fluyan las etapas creadoras de valor que quedan.
4. Pull: Los usuarios finales tiran la producción de manera que solo se produzca lo requerido por el cliente en el momento y cantidad pedida.
5. Perseguir la perfección: Este principio indica búsqueda de la mejora continua.

Estos principios, como lo sugiere Liker (2006) se centran básicamente en el proceso del TPS y al usar unas pocas herramientas lean podrían resultar en algunas mejoras, pero nunca se acercarán a los beneficios de implementar todo el sistema del TPS.

### **2.1.2.2 Lean Construction**

Koskela, Howell, Ballard y Tommelein (2002) definieron Lean construction, como una forma de diseñar sistemas de producción minimizando desperdicios de materiales, tiempo y esfuerzo para generar la mayor cantidad posible de valor.

Pons (2014) define Lean construction como una filosofía de trabajo que busca la excelencia de la empresa a través del aprendizaje y la mejora continua de sus procesos, que se basan en reducir aquellas actividades que no agregan valor al cliente y maximizando el valor hacia el cliente, logrando productos de mejor calidad, menor coste y entrega en menor tiempo.

Koskela (1992) propone 11 principios:

- Reducción o eliminación de las actividades que no agregan valor
- Incremento del valor del producto
- Reducción de la variabilidad
- Reducción del tiempo del ciclo
- Simplificación de procesos
- Incremento de la flexibilidad de la producción
- Transparencia del proceso
- Enfoque del control al proceso completo
- Mejoramiento continuo del proceso
- Balance del mejoramiento de los flujos con el mejoramiento de las conversiones
- Comparaciones periódicas dentro y fuera de la empresa (Benchmarking)

#### **2.1.2.2.1 Construcción Lean versus Construcción Tradicional**

Koskela (1992) al intentar adaptar la filosofía Lean a la construcción, desarrollo una teoría de modelo de producción conocido como modelo de flujo de procesos TFV (transformación – flujo – valor) en contraste al modelo tradicional de conversión.

En el modelo de conversión, un proceso de producción es la conversión de una materia prima en un producto terminado. El modelo de conversión de procesos es la forma clásica en que se representan trabajos individuales en la construcción. Cada actividad (digamos encofrado de muro, asentado de ladrillo, etc.) se enmarca dentro de un rectángulo, el cual representa la conversión de materiales en algún producto terminado o proceso intermedio y las flechas que unen dichos rectángulos nos indican la secuencia de las actividades, es decir que precede a que (Guio,2001).



Figura N° 2.3 Modelo de conversión o transformación  
(Fuente: Elaboración propia)

Según Koskela (1992), el principal problema de este tipo de modelo de conversión, es que no se distinguen las actividades que agregan valor y las que no agregan (transporte, inspección, etc.) al producto final. En cambio, según el modelo de flujo de procesos, ve el trabajo como un flujo de información compuesto por la conversión propiamente dicha, flujo de recursos, la inspección, los transportes y las esperas. Su principal objetivo se centra en la eliminación de pérdidas y la reducción de tiempos de cada actividad.

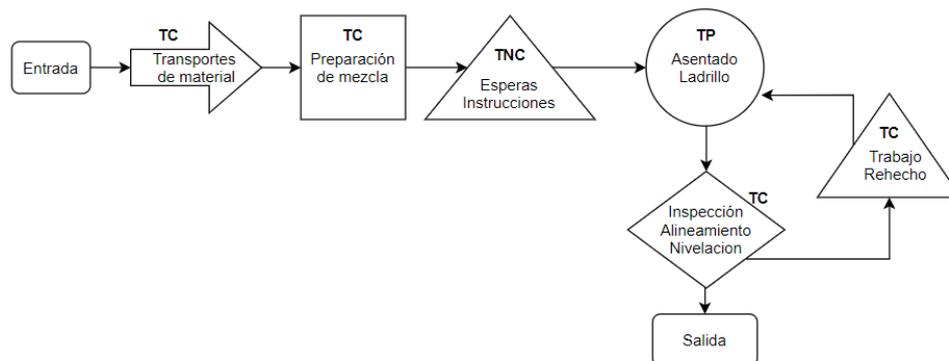


Figura N° 2.4 Modelo de flujo de procesos (Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver a nosotros únicamente nos pagan por el asentado de ladrillo, sin embargo, consumimos horas hombre en el transporte de material, preparación de mezcla, esperas, inspección y trabajo rehecho.

## 2.1.2.2.2 Herramientas Lean para la construcción

### 2.1.2.2.2.1 Sectorización y Trenes de Trabajo

La sectorización consiste en dividir el total del área de trabajo en áreas pequeñas, de tal manera que se nivele la producción (Heijunka) y a la vez indirectamente se logra nivelar la carga de trabajo.

Entre las ventajas que podemos encontrar en una sectorización:

- Se tiene lotes pequeños de producción que inician y terminan el mismo día.
- Es más fácil controlar el avance de obra y predecir la ubicación de las cuadrillas de trabajo en el tiempo.
- Se especializan las cuadrillas en realizar un mismo trabajo todos los días y se logra una curva de aprendizaje acelerada.
- Se logra volúmenes homogéneos de producción diarios y nivelar la carga de trabajo, evitando la sobrecarga de trabajo.
- Se elimina los desperdicios de sobreproducción.
- Se logra un uso equilibrado de personal, equipos y materiales.

Criterios a seguir para realizar una sectorización:

La definición de la cantidad de sectores está relacionada al tiempo de ciclo definido, pues debo asegurarme que todas las actividades que se deben realizar en 1 día del sector definido acaben dentro de la jornada laboral. Ver figura N°2.5

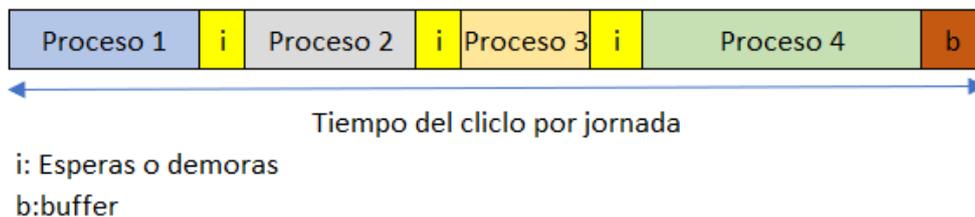


Figura N° 2.5 Tiempo de ciclo por jornada (Fuente: Elaboración propia)

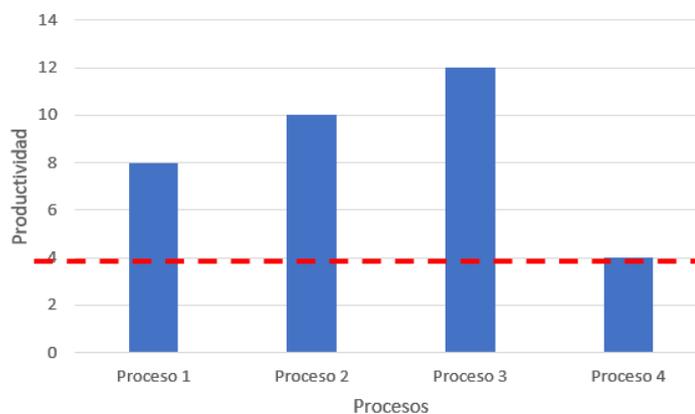


Figura N° 2.6 Productividad de los procesos (Fuente: Elaboración propia)

También se debe tomar en cuenta que la capacidad del sistema depende de la capacidad del cuello de botella en este caso el proceso 4, como muestra figura N°2.6, además se considera un tiempo buffer para mitigar la variabilidad.

Recordando uno de los principios Lean es el flujo pieza a pieza, en contraste con los lotes y las colas, el tren de actividades es el análogo al flujo pieza a pieza de la industria manufacturera, solo que en la construcción el producto es inmóvil, son las cuadrillas que se movilizan alrededor del producto, sector tras sector y día tras día.

Los trenes de trabajo consisten en hacer que todas las actividades se vuelva ruta crítica y sean una dependiente de otra, las unidades de trabajo deben ser dimensionadas de tal manera que puedan iniciar y terminar el mismo día, de tal manera que permitan ingresar a la cuadrilla sucesora al día siguiente, ya que, si se para o retrasa una actividad, se paralizara todo el tren de actividades sucesoras.

Entre las ventajas que podemos encontrar en un tren de actividades:

- Se reduce enormemente la duración de un paquete de trabajo.
- Se puede encontrar fácilmente los defectos del sistema.
- Se reducen los inventarios de productos acabados.
- Incrementa la productividad.
- Ayuda a la estandarización del trabajo.

Metodología de Programación mediante trenes de trabajo

1. Tener los metrados disgregados por elementos
2. Determinar el ritmo de producción (Takt, generalmente 1 día)
3. Listar todas las actividades con todas sus cuadrillas
4. Diseñar cuadrillas optimas
5. Proponer número de sectores tentativos y verificar que se cumpla con la fecha final del plan. Cumplido el plan obtengo mi sectorización
6. Con la sectorización, calcular los volúmenes de producción por cada área de construcción
7. Calcular el tiempo requerido para construir cada área
8. Ajustar el número de cuadrillas óptimas para generar el mismo ritmo de producción para cada cuadrilla que trabaja en la misma área

## 9. Desarrollar los trenes de trabajo a través de todas las áreas críticas

### 2.1.2.2.2 Buffers

La variabilidad es la ocurrencia de eventos distintos a lo previsto por efectos internos o externos a la obra. La variabilidad constituye la principal fuente de desperdicios en la construcción. Koskela (2000) menciona que hay dos tipos de variabilidad en los flujos de producción: variabilidad en los tiempos de proceso y variabilidad en el flujo.

Como menciona Alarcón y Gonzáles(2003), actualmente existen diversas técnicas de programación y apoyo a la planificación de proyectos como el last planner, el cual reduce la variabilidad y aumenta la confiabilidad de la planificación, sin embargo, existe variabilidad que no es abordada efectivamente por el ultimo planificador, ya que actualmente ninguna obra tiene 100% PPC en todas las semanas, ante ello, el uso de Buffers es una buena estrategia para proteger y manejar la variabilidad en la construcción. El buffer nos permite independizar a los procesos, reduciendo el impacto de la variabilidad entre procesos en una cadena de producción.

Tenemos la siguiente clasificación de buffer:

1. Capacidad: Entendido como utilización flexible de la mano de obra (se debe tener mano de obra flexible que se ajusten a los requerimientos variables de producción) y equipos.
2. Inventario: Stock de elementos en exceso, para no parar la producción.
3. Tiempo: Entiéndase como pequeñas holguras en el programa, un colchón de tiempo de tal manera no se incumpla con los plazos establecidos.

Algunos buffers usados comúnmente en la construcción tenemos:

- Inventario de materiales
- Utilizar el sábado como buffer de tiempo.
- Arrancar antes el proyecto

Cabe recalcar que existe una interdependencia entre los tres buffers, ya que no se puede reducir un buffer sin incrementar uno o los otros dos, a menos que reduzca la variabilidad. Por ejemplo, si reduzco el buffer de inventario de tal manera que algún material crítico no llegase en el momento indicado, debo tener

una actividad disponible para que la cuadrilla realice esta y no se quede sin trabajo, además que probablemente perjudique en el plazo del proyecto.

### **2.1.2.2.3 Nivel general de actividades**

La medición del nivel general de actividades en obra se realiza en forma aleatoria en toda la obra, en la cual se trata de obtener información acerca de la utilización del tiempo de todos los obreros o parte de la misma, el trabajo realizado por los obreros, como menciona Ghio (2001), se subdivide de la siguiente manera:

- Trabajo Productivo (TP): Se define como aquella actividad que crea valor para el cliente, nos pagan por ello (asentado de ladrillo, encofrado de columna, etc.)
- Trabajo Contributorio (TC): Aquella actividad que no crea valor para el cliente, sin embargo, sirve de apoyo al TP y es inevitable de acuerdo a la tecnología usada.
- Trabajo No Contributorio (TNC): Aquella actividad que no crea valor y puede evitarse.

Como comenta Ghio (2001) se busca obtener la distribución de tiempos de los trabajadores en obra, además para detectar cuales son las principales perdidas, cuantificarlas y priorizar esfuerzos para eliminarlos. Recomienda que la persona que realiza la medición recorra el total de la obra o la visualice completamente desde un punto estático. Cada vez que se tope con algún personal obrero, debe apuntar de que cuadrilla es y que trabajo está realizando (TP, TC, TNC), y a la vez el TC y TNC se puede subdividir de la siguiente manera, aunque dependerá del tipo de obra.

- TC: Transporte (T), limpieza(L), recibir/dar instrucciones (I), mediciones (M), otros (X)
- TNC: Viajes(V), tiempo ocioso(N), esperar(E), trabajo rehecho(R), descanso(D), necesidades fisiológicas (B), otros (Y).

Para aplicar dicha metodología debemos previamente definir el cómo, cuándo y dónde.

- ¿Cómo realizar las mediciones?

Se plantea seguir el siguiente procedimiento, adaptado de Ghio (2001).

1. Observar, identificar y anotar todas las actividades.
2. Clasificar y ordenar todas las actividades anotadas (TP, TC, TNC).
3. Subcategorizar las actividades clasificadas como TC y TNC.
4. Codificar las actividades subclasificadas según subcategorización (TC: T, L, I, M, X) y/o (TNC: V, N, E, R, D, B, Y).
5. Codificar las especialidades a evaluar (Encofrado, Acero, Albañilería, Concreto, Subcontrata, etc.) (E, AC, AL, CO, SC, etc.).
6. Desarrollar formato con los códigos
7. Validar el formato en campo (prueba)
8. Ajustes de prueba – error.
9. Tomar datos definitivos (Utilizar códigos de subcategorización y especialidad)
10. Procesamiento de datos
11. Análisis de datos.
12. Reporte de nivel general de actividades de obra (Formato A3)

- ¿Dónde realizamos las mediciones?

Para responder el cómo, debemos conocer la metodología a tomar de toma de datos y determinar el número de datos a tomar.

De acuerdo con Serpell (1993) es necesario realizar 384 mediciones para que estas sean estadísticamente validas con el 95% de confiabilidad y un 5% de error. Generalmente se recomienda realizar 400 mediciones, debemos conocer cuantas personas están trabajando el día a tomar la muestra (distribuidas en toda la obra) y luego dividimos el número de mediciones entre el número de obreros, conociendo cuantas mediciones por obrero debemos tomar.

Por ejemplo, supongamos que tenemos 100 obreros laborando en el interior y exterior de un edificio y distribuidos de la siguiente manera.

<b>P4</b>	<b>40</b>	
<b>P3</b>	<b>20</b>	
<b>P2</b>	<b>20</b>	
<b>P1</b>	<b>10</b>	<b>EXT 10</b>

Figura N° 2. 7 Distribución de obreros en el edificio  
(Fuente: Elaboración propia)

Se calcula el número de mediciones a realizar por cada obrero y la distribución de mediciones por ubicación.

Tabla N° 2.2 Cantidad de mediciones correspondiente a cada obrero  
(Fuente: Elaboración propia)

	#Obreros	%	#Mediciones
<b>P4</b>	40	40%	160
<b>P3</b>	20	20%	80
<b>P2</b>	20	20%	80
<b>P1</b>	10	10%	40
<b>EXT</b>	10	10%	40
<b>Total</b>	100	100	400

- ¿Cuándo realizamos las mediciones?

Generalmente se toma mediciones cada 30 segundos, con lo cual necesitamos 4 horas para tomar las mediciones, los cuales son 2 horas en la mañana y 2 horas en la tarde. Es conocido que la productividad de los obreros es muy variante durante el día, se toma los horarios de 09:00 – 11:00 am y 2:30 – 04:30 pm debido a que durante ese periodo no es muy variable la productividad, tomar medidas por ejemplo de 08:00-10:00 am producirá a error ya que tomaríamos datos no confiables debido a la alta variabilidad de la productividad de los obreros en ese lapso. Además, también se debe tomar el estudio durante toda una semana, ya que también es variable la productividad con cada día de la semana.

#### 2.1.2.2.4 Carta Balance

Como menciona Ghio (2001), la carta balance a diferencia de la medición del nivel general de actividades se centra a una actividad (una cuadrilla específica). Se trata de determinar cómo se divide el tiempo que se le dedica a cada una de las tareas dentro de una operación. Es decir, por ejemplo, como se distribuye la utilización del tiempo en transporte de material, preparar la mezcla, esperas, aplome, etc., dentro del proceso de asentado de ladrillo. Las mediciones nos permitirán a entender la secuencia constructiva real que se está utilizando, para buscar optimizar el proceso, analizando si la cuadrilla esta balanceada, si el

procedimiento constructivo es eficiente y calcular el número óptimo de obreros para cada cuadrilla.

Se plantea seguir el siguiente procedimiento, adaptado de Ghio (2001).

1. Observar, identificar y anotar todas las actividades del proceso constructivo.
2. Clasificar y ordenar todas las actividades anotadas en categorías: TP, TC, TNC.
3. Subcategorizar las actividades clasificadas como TC y TNC.
4. Codificar las actividades subclasificadas según la subcategorización.
5. Codificar las especialidades a evaluar (Encofrado, Acero, Albañilería, Concreto, Subcontrata, etc.) (E, AC, AL, CO, SC, etc.).
6. Definir los ciclos y la cantidad de ciclos a evaluar.
7. Desarrollar formatos con los códigos.
8. Validar el formato en campo (prueba).
9. Ajustes de prueba – error.
10. Tomar datos definitivos (Utilizar códigos de subcategorización y especialidad).
11. Procesamiento de datos
12. Análisis de datos.
13. Reporte de carta balance de actividades de obra (Formato A3)

En la medición se toma el tiempo de cada obrero por cada minuto. Cada vez que se toma una medición se le asigna a cada obrero el tipo de trabajo y a que especialidad pertenece. Cabe recalcar que el tipo de trabajo dentro de cada proceso se define previo a la medición.

Se recomienda realizar las mediciones desde un punto fijo donde se visualice la actividad entera, esto servirá para cuadrillas máximas de 8-10 obreros. Además, el espacio donde realizan las actividades no debe haber puntos ciegos.

### **2.1.3 Planificación y control de la producción**

Como menciona Alarcón y Serpell (2001) la planificación consiste en determinar lo que se debe hacer, como se debe hacer, que acción debe tomarse, quien es el responsable de ella y porque (p.17).

Campero y Alarcón (2014) menciona que en el proceso de planificación se distinguen dos subprocesos:

- El planeamiento, es decir, la formulación de planes para alcanzar los objetivos fijados el cual se materializa en el plan de ejecución de la construcción.
- La programación, el cual comprende en la realización de acciones necesarias para cumplir con el plan de ejecución diseñado durante el planeamiento.

Siguiendo con el modelo del ciclo de la mejora continua, el cual es uno de los principios LEAN, para realizar el control de la producción, tenemos:

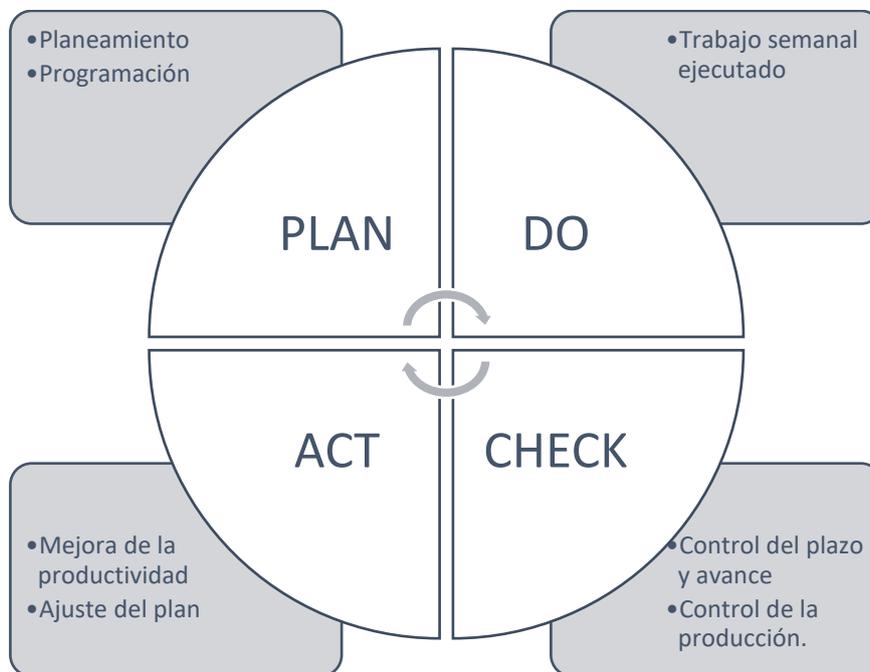


Figura N° 2.8 Ciclo de mejora continua para el control de la producción.  
(Fuente: Elaboración propia)

La figura N°2.8, nos muestra el ciclo de mejora continua para el control de la producción en obras de construcción propuesto siguiendo la metodología last planner y los métodos tradicionales para el control del plazo, avance y de la producción, esto se detallará más adelante en el capítulo III.

La figura N°2.9, nos muestra el ciclo de procesos para la ejecución de obras de construcción siguiendo la metodología del ciclo de mejora continua.

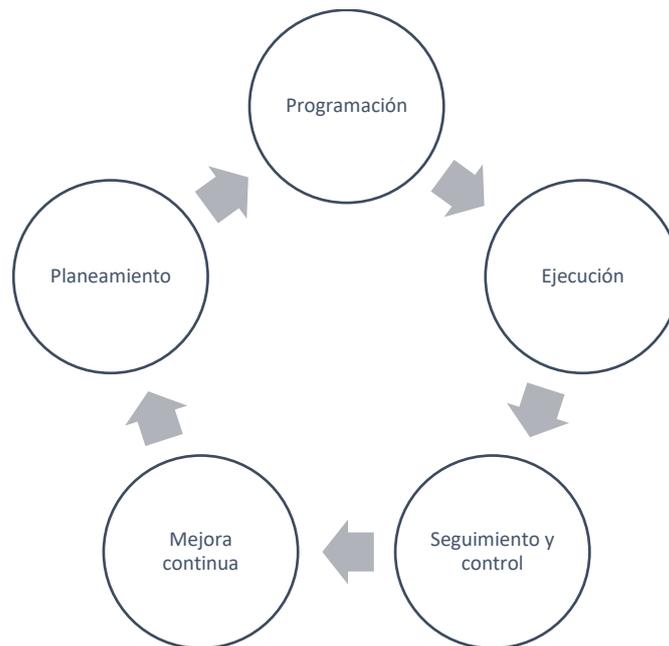


Figura N° 2.9 Ciclo de procesos para la ejecución de obras de construcción.  
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez obtenida la buena pro, la adjudicación del proyecto y la transferencia de la información del proyecto procedente del equipo de Presupuesto, el equipo de ejecución del proyecto inicia el Planeamiento.

El planeamiento comprende el análisis del proyecto mediante el cual se determinan las estrategias de gestión y ejecución del Proyecto que se materializa con el plan de ejecución de construcción, el cual incluye el diseño del sistema de producción como el análisis de los aspectos organizativos.

Como menciona Alarcón y Serpell (2001), para desarrollar el plan de ejecución de construcción y lograr que sea eficaz, primero va ser necesario conocer y comprender el proyecto, se realizara con las reuniones de transferencia entre el equipo de Presupuestos y el equipo de ejecución del proyecto, en el cual básicamente se revisa el contrato, presupuesto, cronograma contractual, expediente técnico, etc., y con ello se realiza un análisis de los aspectos del proyecto, se define el alcance y se obtendrá principalmente el presupuesto meta, cronograma meta, análisis de brechas, estructuras de control, etc.

Cabe recalcar que el proceso del planeamiento es continuo a lo largo del proyecto, se debe actualizar constantemente, a partir del control de plazo, avance, costos, se debe controlar las desviaciones respecto al plan que se pueda presentar y actualizar al plan para cumplir con los objetivos planteados tanto referente en costo, tiempo, calidad y satisfacción del cliente.

Luego de realizado el proceso de planeamiento, se realiza la programación, en el cual se desarrolla el plan de trabajo con mayor detalle, asegurando el cumplimiento del plan de ejecución definido en la etapa del planeamiento, para la programación, seguimiento y control, y mejora continua se seguirá los conceptos de Lean Construction y la metodología del LPS que se detallaran más adelante.

### **2.1.3.1 Sistema de producción Lean en la construcción**

Un sistema de producción Lean implica cumplir con los principios lean que busca reducir aquellas actividades que no agregan valor, maximizando el valor hacia el cliente logrando productos de mejor calidad, menor coste y entrega en menor tiempo.

Es sabido que la fuente principal de desperdicio en la construcción se logra cuando paran los flujos (principio 1 y 2), por lo cual es objetivo principal evitar que se paren los flujos. Además, siguiendo con los principios de Womack y Jones (1996) en su libro Lean Thinking, (principio 3 y 4) se debe buscar un flujo continuo y un sistema pull tirado por los usuarios finales de manera que se produzca lo requerido, en el momento y cantidad especificada y (principio 5) buscar la mejora continúa mejorando los continuamente procesos.

- Paso N°01: Asegurar que los flujos no paren

En este primer paso se debe asegurar que los flujos no se paralicen lo cual se produce generalmente debido a la alta variabilidad existente en la construcción, para controlar la variabilidad se proponen el uso de los buffers y Last Planner System.

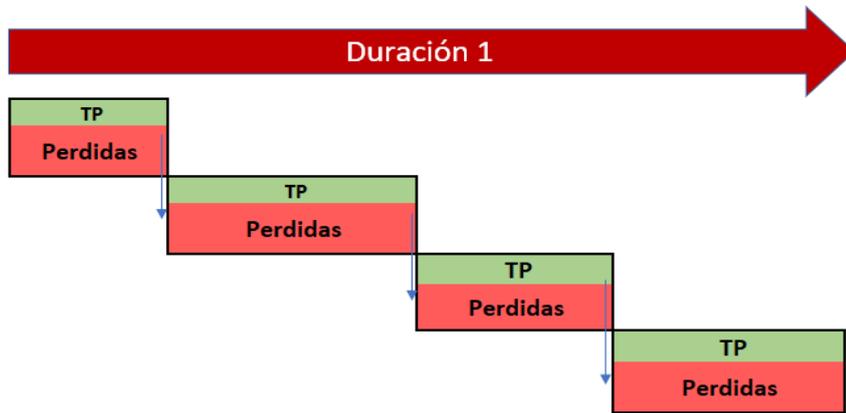


Figura N° 2. 10 Paso N°01 Sistema de Producción Lean en la construcción  
(Fuente: Elaboración Propia)

Como se aprecia en la figura N°2.10, en este primer paso se acepta que los procesos incluyen actividades que no generan valor, sin embargo, el esfuerzo se centra en que no pare el flujo del sistema. Cada proceso produce a su ritmo provocando grandes inventarios de procesos (producción en masa)

- Paso N°02: Asegurar un flujo continuo (pieza a pieza) y sistema pull (Just in time)

Para lograr un flujo continuo y sistema pull, se debe realizar la nivelación de la producción(heijunka) lo cual se logra con principios de física de producción (Balanceo de la carga de trabajo, teoría de restricciones), estrategias para manejar la variabilidad (LPS, buffers) y también es aplicable los trenes de trabajo.

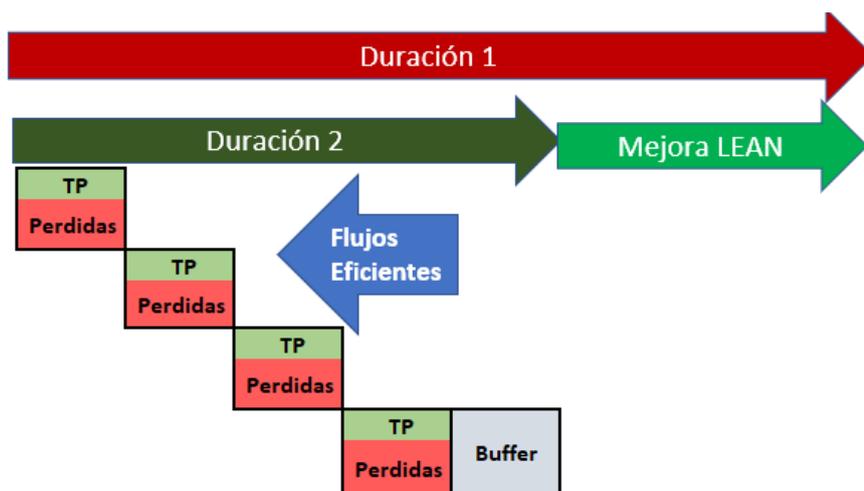


Figura N° 2.11 Paso N°02 Sistema de Producción Lean en la construcción  
(Fuente: Elaboración Propia)

Como se aprecia en la Figura N° 2.11, en este paso 02 se asegura flujos continuos y eficientes, mas no procesos eficientes, sin embargo, se puede acortar apreciablemente el tiempo de duración.

- Paso N°03: Lograr procesos eficientes

Para lograr procesos eficientes se debe optimizar continuamente los procesos, los cuales se logran a través de estudios de productividad, los cuales permiten encontrar procesos por mejorar y dan oportunidad a una alternativa de mejora.

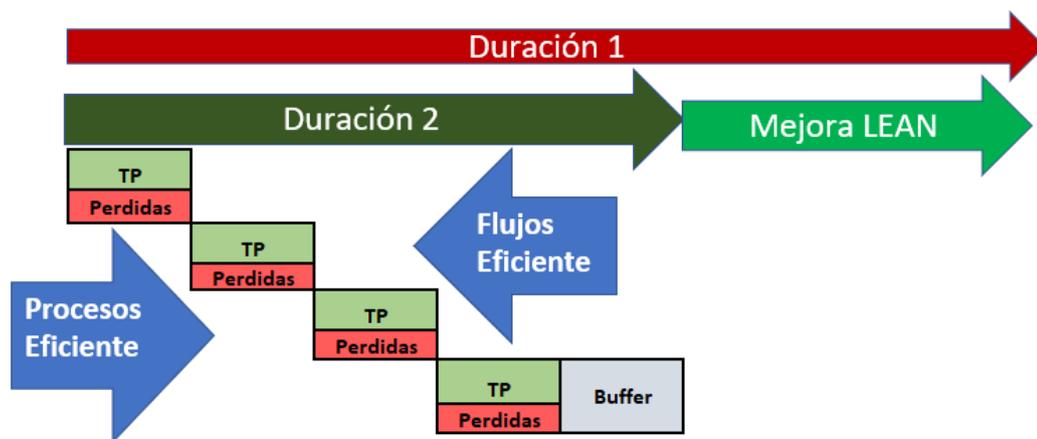


Figura N° 2.12 Paso N°03 Sistema de Producción Lean en la construcción  
(Fuente: Elaboración Propia)

Como muestra la Figura N°2.12, en este paso 3 se obtienen procesos y flujos eficientes, sin embargo, no existen procesos 100% eficientes, es por eso que aún se encuentran un porcentaje menor de desperdicios.

### 2.1.3.1.1 Last Planner System (LPS)

El Sistema del Ultimo Planificador (SUP) que fue desarrollado por Glenn Ballard y Greg Howell como un sistema de planificación y control que busca mejorar el control de la variabilidad de las obras, incrementando la confiabilidad de la planificación. Como menciona Pons y Rubio (2019), el LPS se basa en compromisos. Se trata de un sistema en que los últimos planificadores miden y analizan el nivel de cumplimiento de sus compromisos propuestos en el plan semanal, se identifican y resuelven restricciones, se eliminan actividades que no añaden valor y se analiza la causa raíz de los compromisos no cumplidos, lo que

contribuye a la mejora continua. De esta manera, con dicho sistema se administra mejor la variabilidad de las obras (p.28).

En el LPS, una de las preguntas claves que se hacen a los últimos planificadores es: ¿qué te impide realizar esta tarea? ¿tienes todos los inputs necesarios (de diseño, material, personal, etc.) para realizar esa tarea el día previsto?, las respuestas de esta pregunta generaran una lista de restricciones, con el objetivo de generar un flujo continuo durante la fase de ejecución. Los últimos planificadores son quienes mejor conocen lo que ocurre en obra, como se debe ejecutar las tareas y las condiciones o recursos necesarios para hacerlos, son ellos los que proporcionaran la información para retroalimentar la planificación, son los actores principales del LPS (Pons y Rubio,2019).

Rodríguez *et al.* (2011) considera que las obras se retrasan debido a que la planificación no considera todas las variables específicas, tales como indefinición de diseños, disponibilidad de materiales, mano de obra, entre otros, y se planifica considerando supuestos con un alto grado de incertidumbre. Planificar consiste en determinar lo que “debería” hacerse para completar un proyecto y decidir lo que “se hará” en un cierto periodo de tiempo y con una cierta cantidad de recurso, pero debe reconocerse que debido a restricciones no todo puede hacerse produciendo retrasos de forma reiterada. Entonces existe la necesidad de que en la planificación nos centremos en las actividades que pueden realizarse.

Como menciona Rodríguez *et al.* (2011) el LPS se basa en el principio del: se debe, se puede y se hará; va ser fundamental antes de decidir qué es lo se hará, se identifique que es lo que se puede realizar y posteriormente acordar en reuniones de compromisos lo que se hará, para evitar que alguna actividad se detenga por alguna restricción, la confiabilidad del plan se mide en términos del Porcentaje del Plan Completado(PPC) al fin de cada semana y es necesario detectar las causas de no cumplimiento con el fin de evitarlas en el futuro.

En un sistema tradicional, “lo que puede hacerse” y “lo que se hará” son subconjuntos de “lo que debería hacerse”, es así que si el plan (lo que se hará) se desarrolla sin saber lo que puede hacerse, el trabajo realmente ejecutado será la intersección de ambos subconjuntos (Ver Figura N°2.13). En cambio, con el LPS se integra “lo que debería hacerse”, “lo que se puede hace” y “lo que se hizo realmente”, pues en este sistema primero se identifica “lo que puede hacerse” y

posteriormente acordar “lo que se hará” durante la semana, evitando que las actividades se detengan por alguna restricción no liberada. Es importante recalcar que el avance puede verse afectado si la cantidad de actividades que pueden hacerse es baja, para evitar esto, los últimos planificadores deben concentrar sus esfuerzos en liberar las restricciones, de tal manera de agrandar el conjunto PUEDE aumentando las opciones de avance, es así que uno de los objetivos fundamentales del LPS es gestionar las restricciones para garantizar la fiabilidad de la planificación (Pons y Rubio,2019).



Figura N° 2. 13 Esquema del Se debe – Se hará y Se puede  
(Fuente: Pons y Rubio,2019)

Tabla N° 2. 3 Relación entre él se debe, se puede, se hará y se hizo  
(Fuente: Pons y Rubio,2019)

<b>Deberia</b>	<b>Programa Maestro</b>	Establecer hitos y primeros acuerdos
	<b>Planificación por Fases</b>	Especificar entregables y fechas de cada fase
<b>Se Puede</b>	<b>Planificación Intermedia</b>	Preparar trabajo, identificando restricciones y gestionando liberación
<b>Se Hara</b>	<b>Planificación Semanal</b>	Establecer compromisos de avance para el periodo
<b>Se Hizo</b>	<b>Aprendizaje</b>	Medir porcentaje cumplimiento (PPC) Análisis de no cumplimiento

#### 2.1.3.1.1 Planificación a largo plazo: Gestionando el “Debería”

En la etapa de planificación a largo plazo se define él se debe, el cual debe plasmarse en el cronograma meta realizado en el planeamiento inicial. Esta etapa se subdivide en 2 subetapas:

## A. Planificación Maestra

Como menciona Ghio (2001), no es recomendable planificar a detalle toda la obra inicialmente, pues dicha planificación suele desviarse del planteamiento original el primer día de trabajo, ya que la confiabilidad que podemos lograr es baja, por ello, es recomendable en primera instancia una planificación general por hitos, dicha planificación es simple y toma un menor esfuerzo y tiempo.

Generalmente iniciamos a partir de los hitos contractuales contraído con el cliente, se analiza la manera de ejecutar el proyecto (en el plan de ejecución del mismo realizado en el planeamiento inicial) para lograr cumplir los hitos contractuales y nos trazamos un primer buffer (buffer N°01) para protegernos en cumplir en el plazo estipulado en el contrato ya que generalmente es penalizado. Para esta primera planificación es importante la estructura de desglose de trabajo (EDT), ya que en ella se materializa el alcance total del proyecto con sus respectivas fases, subfases e inclusive las actividades.

Como menciona Pons y Rubio (2019), en el plan maestro se identifica las diferentes fases del proyecto, se identifican hitos intermedios e hitos principales de tal manera que el equipo de ejecución pueda alinear sus esfuerzos de manera efectiva para cumplir con dichos hitos.



Figura N° 2.14 Cronograma maestro por hitos de un proyecto típico de edificaciones  
(Fuente: Elaboración propia)

Como puede verse en la figura N°2.14, este cronograma maestro se realiza en el primer planeamiento con el equipo staff del proyecto, en el cual se plantea nuevo hitos metas, diferentes a los contractuales.

### **B. Planificación de fases**

Como menciona Pons y Rubio (2019), el objetivo de una planificación por fases es definir y validar el trabajo a realizar para cumplir cada fase de obra. Apoyándonos de las fases definidas en el EDT y los hitos definidos en el cronograma maestro previo, se define el trabajo que se incluirá en cada fase y el tiempo de duración de cada fase, para lo cual generalmente se convoca a una sesión pull Planning para cada fase de obra.

La sesión pull, consiste básicamente en planificar del final hacia el principio del hito marcado de la fase, se solicita a cada responsable los rendimientos, los recursos y las restricciones necesarias para comenzar y finalizar las tareas según lo planificado, se le pregunta a cada responsable ¿Qué es lo que requieres que para que entregues este hito?, de esta manera el responsable de la actividad predecesora conocerá los requerimientos, asumirá el compromiso y se acordaran compromisos como fechas de entrega, calidad, etc. Todo se realiza de manera colaborativa y cada responsable transmitirá que necesita del resto para poder cumplir con sus actividades y a su vez conocerá que es lo que el equipo necesita de el para cumplir con los objetivos del proyecto (Pons y Rubio, 2019, p.42).

Cabe recalcar que la sesión pull culminara una vez que se haiga verificado que, con las duraciones estimadas por cada responsable, se cumpla con los hitos internos generados en el cronograma por hitos previo, además los responsables deben ser desafiados constantemente a colocar duraciones reales de las actividades (sin buffers), ya que se está cumpliendo con todos sus requerimientos para que produzca de manera efectiva. Además, se crea un nuevo escudo al hito determinado para cada fase, con el fin de asegurar cumplir con los objetivos del proyecto.

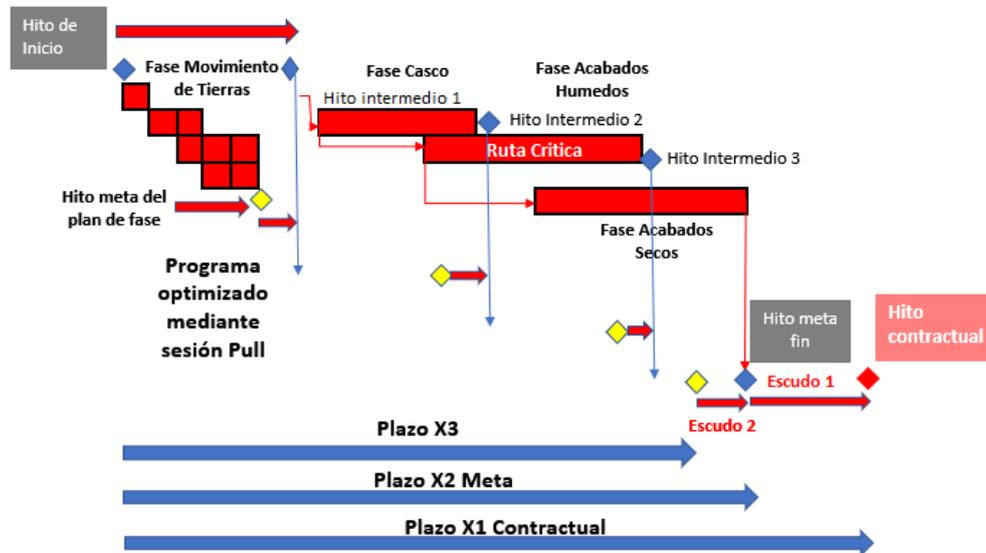


Figura N° 2.15 Cronograma por fases de un proyecto típico de edificaciones  
(Fuente: Elaboración propia)

Como se puede ver en la figura N° 2.15, al elaborar la planificación de cada fase en sesiones pull se crea nuevos hitos metas de cada plan de fase, en la cual se agrega un nuevo escudo para cumplir con el plazo del proyecto.

Es así, que obtenemos lo que debería hacerse, un cronograma por hitos y por fases, además al elaborar ello se identifica restricciones críticas tales como: ascensores, equipos hidráulicos, permisos municipales, etc.

### 2.1.3.1.1.2 Planificación a medio plazo: Gestionando el “se puede”

En la planificación a medio plazo (Look Ahead Plan) se prevé con una adecuada anticipación los requerimientos de materiales, mano de obra, etc. La ventana de planificación a medio plazo normalmente es de 3 a 6 semanas, dependiendo de cada obra (para conocer la ventana aplicable debemos preguntarnos cuanto tiempo el equipo del proyecto demora en levantar alguna restricción), esta ventana se extrae del cronograma por fases y se identifican todas aquellas restricciones por las cuales la planificación podría fallar, de manera que nos anticipemos a ella, estas restricciones liberadas a tiempo, nos permitirá obtener un inventario de trabajo ejecutable(ITE).La regla para pasar tareas del plan maestro al Look Ahead es que las tarea tengan todas sus restricciones liberadas o al menos identificadas y asignadas con una fecha de compromiso de liberación, de tal manera que quede liberada antes de la fecha de ejecución (Pons y Rubio,2019, p.51).

Cabe recalcar que para esta fase es de vital importancia gestionar las restricciones y darle seguimiento de tal manera que sea liberada antes de la fecha de inicio de la actividad.

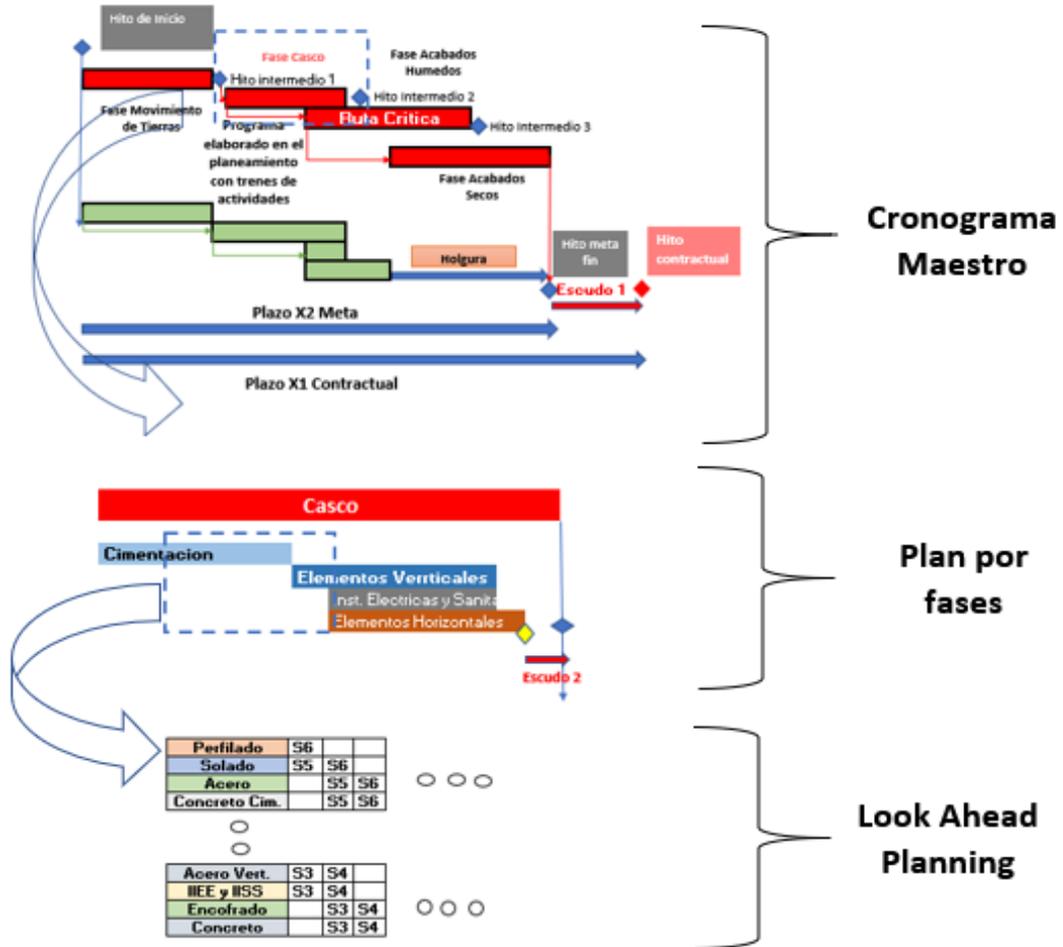


Figura N° 2.16 Relación entre el cronograma maestro, planificación por fases y el LookAhead Planning (Fuente: Elaboración Propia)

### A. Gestión de las restricciones

Como menciona Rodríguez *et al.* (2011), una vez identificadas las actividades, se debe realizar el análisis de restricciones para cada actividad, en el cual básicamente se analizarán las condiciones necesarias para que una actividad pueda ser ejecutada, identificando las restricciones que impidan realizarlas, las cuales en las reuniones semanales con la ayuda de los últimos planificadores se analizarán las restricciones de todas las actividades, además se debe asignar responsables para el seguimiento y levantamiento.

Además, como menciona Pons y Rubio (2019), se recomienda utilizar ciertos indicadores y métricas para el seguimiento de la efectividad que tiene el equipo en la gestión de restricciones.

- Confiabilidad de liberación de restricciones: Restricciones liberadas en la fecha o antes de la fecha comprometida dividido entre en el N° total de restricciones que debieron haber sido liberado a la fecha.
- Cantidad de restricciones identificadas semanalmente por el ultimo planificador (proporciona información si el equipo está analizando a conciencia o no)

#### **2.1.3.1.1.3 Planificación a corto plazo: Gestionando el “se hará”**

En el plan a corto plazo es cuando los últimos planificadores asumen compromisos de avance en obra. La regla para pasar actividades del medio al corto plazo es que se hayan liberado sus restricciones, las cuales se encuentran en el Inventario de Trabajo Ejecutable (ITE). El objetivo es armar un plan semanal con actividades específicas a realizar, metas cuantitativas claras y libre de restricciones (Pons y Rubio,2019).

##### **A. PPC (Porcentaje del plan completado)**

El porcentaje de plan completado, es un indicador clave para medir la confiabilidad de la planificación. Se calcula como el número de tareas planificadas completadas dividido por el número de tareas planificadas para la semana (Ballard G.,1994).

Cabe recalcar, que el PPC no es un indicador de avance sino más bien un indicador que mide que tan confiable somos planificando, por lo tanto, es necesario que el PPC debe ser complementado con los indicadores tradicionales de seguimiento de obra (% de avance, desviación de plazo, etc.) y así comprender lo que realmente ocurre en el proyecto para tomar acciones correctivas efectivas. (Pons y Rubio,2019).

##### **B. Causas de no cumplimiento (CNC)**

Las causas de no cumplimiento, mostraran las razones por la cuales no se cumplieron ciertas tareas del plan semanal. El objetivo pues, es buscar la causa raíz por la cual no se pudo cumplir lo prometido para tomar acciones correctivas y sirva como lección aprendida. (Ballard G.,1994).

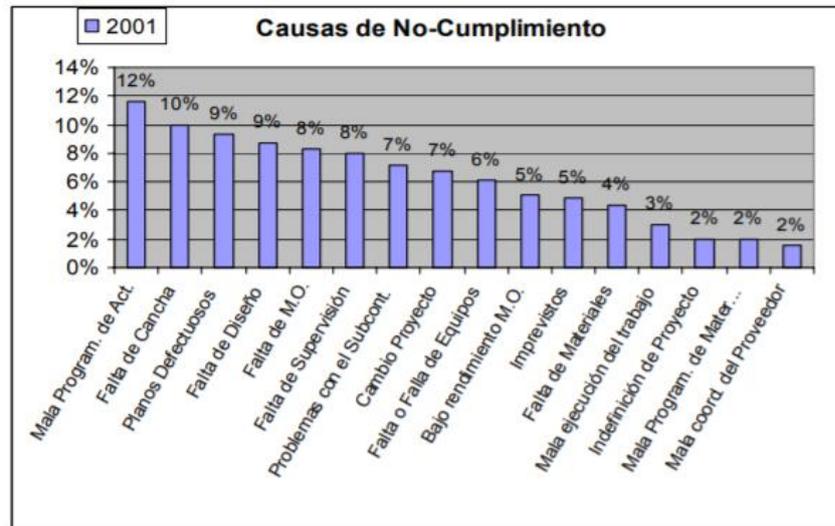


Figura N° 2.17 Causas de no cumplimiento de procesos de construcción en 51 proyectos de construcción medido en 2001. (Fuente: Alarcón L. y Gonzales ,2003)

La Figura N°2.17, muestra las principales causas de cumplimiento en 51 proyectos de construcción medido en Chile, en el año 2001. En el cual se puede ver que la principal causa de no cumplimiento es debido a la mala programación.

### 2.1.3.2 Control de la producción

El control de la producción consiste en controlar el avance, plazo y la productividad, lo cual nos servirá para medir el desempeño del proyecto con respecto a la línea base generada en el planeamiento inicial. Es importante el control de la producción para la toma de decisiones del proyecto.

#### 2.1.3.2.1 Estructura de control

La estructura de control puede definirse como el ordenamiento de cierta información del proyecto para poder controlarlo, esto se puede dar en función del monto, plazo, metrados, etc. Dependiendo de la variable que se quiera controlar.

Es deseable que las estructuras de control estén lo más vinculadas posibles, de modo que no se duplique el esfuerzo de la toma y procesamiento de datos.

##### 2.1.3.2.1.1 Estructura de descomposición del trabajo (EDT)

Como menciona Alarcón y Serpell (2001), para poder planificar y controlar un proyecto es necesario subdividirlo racionalmente en las actividades que la componen. El desarrollo de la EDT comienza en el nivel más alto del proyecto con la identificación de sus principales elementos, estos a su vez son divididos y

subdivididos cada vez con mayor detalle hasta alcanzar un nivel de subdivisión que sea manejable para efectos de planificación y control (p.38).

La guía del PMBOK define que el EDT es la descomposición jerárquica de un proyecto con orientación a los entregables, que según los propósitos del proyecto será subdivididos con más detalles, para elaborar el EDT se requiere conocer el alcance del proyecto, que elabora en primera instancia el equipo de ejecución del proyecto luego de las reuniones de transferencia, en el planeamiento inicial.

Al realizar un EDT, existen dos niveles jerárquicos que pueden distinguirse y no deben confundirse ya que sus propósitos son distintos. Tenemos una primera subdivisión orientadas a la asignación de responsabilidades y conocer los atributos del proyecto a nivel macro y la segunda subdivisión está orientado en la manera como se ejecutará el proyecto (nivel de operación, proceso y tarea), para el propósito del control de obras se utiliza esta segunda subdivisión (Alarcón y Serpell,2001, p.41).

Para un proyecto de construcción se puede dividir la EDT de la siguiente manera:

- Nivel 1: Proyecto de construcción
- Nivel 2: Frentes de trabajo
- Nivel 3: Especialidades
- Nivel 4: Fases
- Nivel 5: Subfases o Elementos
- Nivel 6: Actividades (Enfocadas en el proceso constructivo)

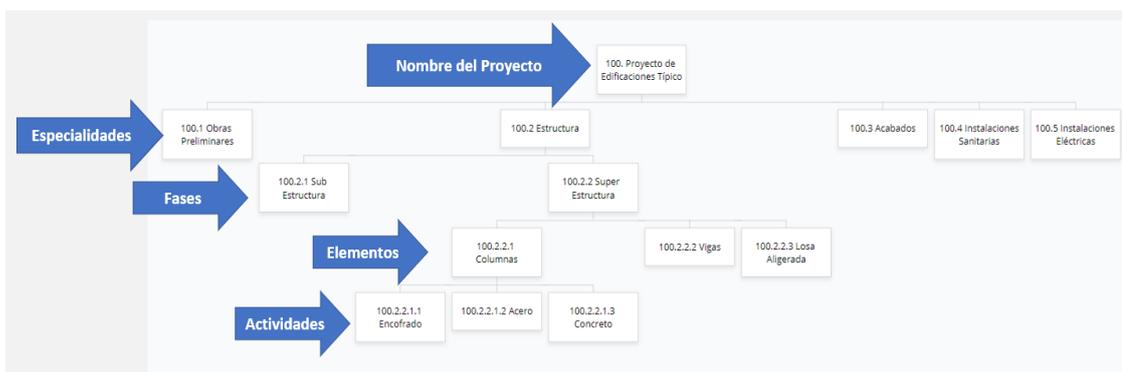


Figura N° 2.18 Estructura de Desglose de trabajo de un Proyecto de Edificación Típico (Fuente: Elaboración propia)

Con esta división de la EDT, se podría realizar el control de plazo, avance y productividad que es nuestro propósito.

#### **2.1.3.2.1.2 Estructura de control de avance**

Es la estructura con la que se ordena el proyecto para realizar el proceso de control de avances, vemos que con la EDT mostrada en la figura N°2.18, nos puede servir para controlar el avance y el plazo.

#### **2.1.3.2.1.3 Partidas de control**

Es la estructura con la que se ordena el proyecto para el proceso del control de la productividad, la productividad se expresa como la cantidad de recursos consumidos por cada unidad de trabajo realizado, vemos que con la EDT seleccionada podemos calcular la productividad inclusive de cada actividad del proceso constructivo conociendo los recursos utilizados y el volumen producido (a partir del control de avance).

#### **2.1.3.2.2 Control del avance y plazo**

Como menciona Alarcón y Serpell (2001), el control de avance y plazo tiene como objetivo evaluar el desempeño real del proyecto, compararlos con los objetivos fijados en el planeamiento inicial y tomar acciones correctivas y preventivas de manera oportuna a fin de asegurar cumplimiento del plazo. El proceso de control de avance y plazo se obtendrá recopilando información real del avance del proyecto en el tiempo, comparar con el avance previsto y la fecha prevista de termino. Esto nos servirá como herramienta para actualizar el planeamiento inicial.

Para realizar el control debemos primero definir la metodología de calcular el porcentaje de avance real del proyecto, compararlo con el avance previsto y como perjudica con el plazo del proyecto. La metodología a emplear se describirá más adelante en el capítulo III.

#### **2.1.3.2.3 Control de la productividad**

Guio (2001) comentaba que la productividad se define como la eficiencia en el uso de los recursos y esto dependerá del sistema de producción elegido, en un sistema de producción Lean dependerá que los flujos y procesos sean eficientes, una buena programación, un buen manejo de la variabilidad y la mejora continua.

El control de la productividad es el proceso en el cual se mide la eficiencia de la ejecución lograda, se analiza la información y se identifican las acciones por mejorar, todo dentro de un proceso de mejora continua. Para lograrlo debemos medir el uso de recursos reales y avance real, comparar con la productividad planeada y tomar acciones de mejora. La metodología a emplear se describirá más adelante en el capítulo III.

#### **2.1.4 Flujo de Información en la ejecución de obras**

Dave, Boddy y Koskela (2010) afirman que la eficiencia de la planificación y control de la producción dependen significativamente en la confiabilidad y disponibilidad oportuna de la información de los recursos. Generalmente, los últimos planificadores pierden tiempo recolectando información en campo acerca de la disponibilidad de recursos, tareas completadas, levantamiento de restricciones, etc.; datos que se necesitan semanalmente para las reuniones con los interesados y para tomar decisiones.

Chen y Kamara (2008) realizaron una encuesta que tenía como objetivo investigar el mecanismo de transferencia de información en las obras de construcción, de la cual se obtuvo que la recolección de información necesaria para el control de la producción (materiales, mano de obra, equipos y avance) se hace en un 65% usando formatos en papel, un 28% en la memoria de quien recoge la información, y solo un 7% a través de dispositivos móviles. Además, la transferencia de dicha información se realiza principalmente cara a cara (42%), por email (31%) y por teléfono (20%) y solo en un 7% por medio de una intranet o extranet.

La información tomada día a día del lugar donde se ejecuta la obra(campo) generalmente es tomada por métodos tradicionales no confiables y alterables, es por ello que surge la necesidad de digitalizar los datos con el cual obtendremos los siguientes beneficios:

- Disminución del tiempo que demora en recopilar los datos de manera tradicional.
- Disminución de errores.
- Obtención de datos en tiempo real de manera diaria.
- Procesamiento diario de los datos, obtención de reportes diarios del desempeño del proyecto y generación de alertas tempranas.
- Toma de decisiones en función de datos confiables.

La digitalización de datos obtenidos en campo, conllevará a los beneficios mencionados y además será el primer paso hacia la transformación digital necesaria en la industria de la construcción.

### 2.1.5 Base de Datos, Web Services y Aplicaciones

Nevado (2010,p.23) menciona que los componentes de una base de datos son: Los datos, que es el componente principal de una base de datos, materializan la información que por sí solos no aportan conocimientos, pero una vez procesadas y transformadas contienen información relevante de una empresa, y el software, estos nos ayudan a procesar y transformar información almacenada en la base de datos, a estos software se denominan Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD).El SGBD crea y organiza la base de datos, y además atiende todas las solicitudes de acceso hechas a la base de datos tanto por los usuarios como por las aplicaciones.

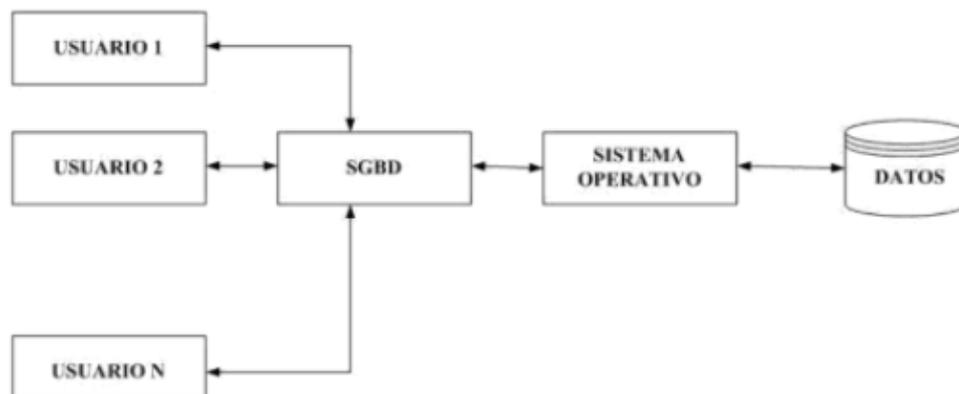


Figura N° 2.19 Esquema de funcionamiento de una base de datos  
(Fuente: Nevado,2010)

Gustavo (2020) menciona que MySQL es un sistema de gestión de base de datos relacionales de código abierto (RDBMS), con un modelo cliente – servidor. La palabra relacional significa que los datos se almacenan en tablas separadas que se relacionan entre sí. Entre los principales procesos que se realiza con MySQL:

- MySQL crea una base de datos para almacenar y manipular datos, guardando una relación lógica entre cada tabla.
- Los clientes pueden realizar solicitudes en instrucciones SQL especificadas en MySQL al servidor, y la aplicación del servidor

responderá con la información requerida y lo mostrará en el lado del cliente.

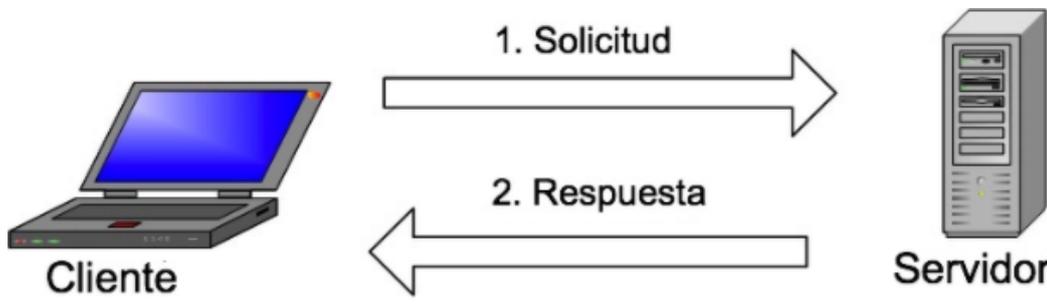


Figura N° 2.20 Esquema Cliente – Servidor que utiliza MySQL  
(Fuente: Gustavo,2020)

Como menciona Porto y Gardey (2019), MySQL está presente en muchas de las actividades cotidianas en los sitios web. Por ejemplo, cuando ingresamos a una intranet, los datos se validan mediante una petición a una base de datos generalmente MySQL. Para establecer dicha conexión entre el contenido de una página web y una base de datos es necesario utilizar lenguajes de programación intermedios, generalmente PHP y JavaScript, dos de los lenguajes más utilizados en programación de las páginas web, estas conexiones a las bases de datos mediante servicios web, son los que se conocen como web services, los cuales son muy utilizados para hacer distintas consultas entre una aplicación y una base de datos. Por otro lado, las aplicaciones cliente – servidor, son herramientas que utilizan los usuarios para poder acceder a datos del servidor y transformarlos.

## 2.2 MARCO CONCEPTUAL

### 2.2.1 Concepto de Productividad

Ghio (2003), indicaba que la productividad es el cociente de la división de la producción entre los recursos utilizados, entendamos a la producción como el avance físico de una cierta unidad de recursos, cuantificados en ciertas unidades de producción y entendamos como recursos, a la mano de obra, materiales o equipos utilizados para lograr dicho avance (p.22)

### 2.2.2 Concepto de Digitalización

La Real Académica Española ([RAE],2020), define la palabra “digitalizar” como registrar datos en forma digital, de tal manera que el usuario pueda acceder y consultar a ella de forma rápida en cualquier momento.

### **2.2.3 Concepto de Transformación Digital**

Cabezas (2015), comenta que la transformación digital es el cambio que una empresa debe emprender para adaptarse al mundo digital, combinando la tecnología digital, las habilidades y conocimiento de su grupo humano, para lograr ser más eficiente y competitivo. Es importante entender que la transformación digital involucra el cambio en toda la cadena de procesos de la empresa, por lo cual es importante que sea apoyado desde la gerencia hasta los empleados de ultimo nivel.

Guerra (2017), comentaba que el cambio es integral, se debe cambiar el funcionamiento de la empresa tanto por dentro como por fuera, para así adaptarse al cambio tecnológico y de los clientes. Además, se debe cambiar las formas de interacción con los clientes, y hasta el modelo de negocio tradicional. Por ejemplo, con la llegada del internet y el crecimiento de las redes sociales, el intercambio de información se trastoca y toma importancia la opinión en las redes sociales, por lo cual se ha variado las formas de comunicación hacia los clientes finales apoyándose de la tecnología creciente.

### **2.2.4 Concepto de Mejora Continua**

El concepto de mejora continua proviene de la palabra japonesa KAIZEN, Ponz y Rubio (2019), comentaban que kaizen significaba “cambio para algo mejor” en castellano, y ello se debe reflejar en la mejora de todo el grupo humano de trabajo y en todos los procesos de la empresa, además, la mejora continua implica buscar mejoras constantemente de manera repetitiva.

Liker (2016) comentaba que en el modelo Toyota, se veía a los errores como oportunidades de mejora continua, en lugar de culpar a las personas, la organización buscaba las causas raíces de los problemas, proporcionando en base al conocimiento y aprendizaje del personal acciones correctivas, para posteriormente difundirlos por toda la organización dichas mejoras para que así se estandarice y practique en la organización dichos métodos hasta que se descubra métodos mejores.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA A DESARROLLAR

### 3.1 Metodología de Planificación y control de la producción

Como se mencionó anteriormente los procesos del ciclo de mejora continua para el control de la producción son los mencionados en la Figura N° 3.1, se detallará la metodología para obtener cada subproceso.

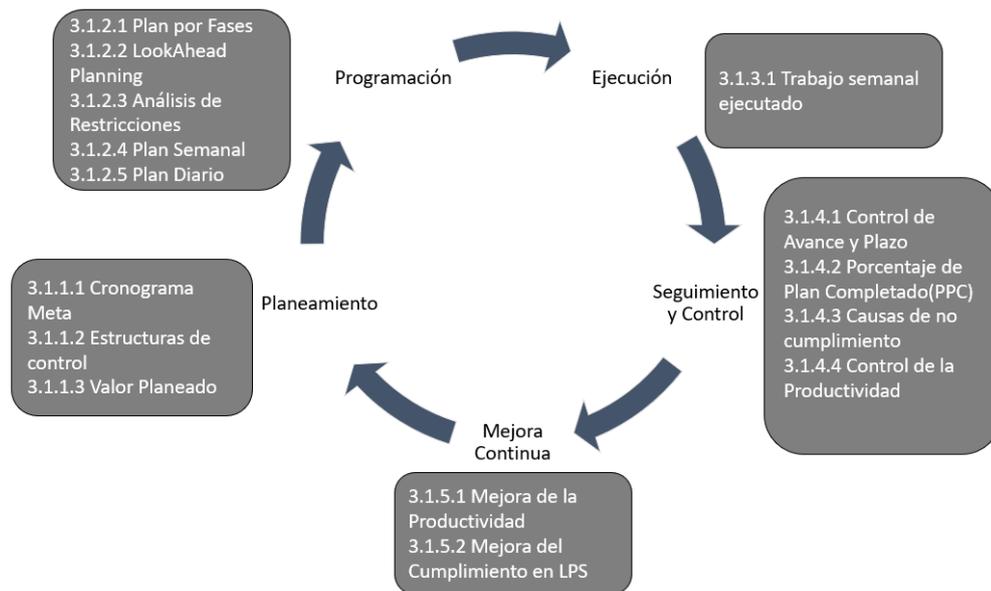


Figura N° 3.1 Principales procesos del ciclo de mejora continua para el control de la producción  
(Fuente: Elaboración Propia)

#### 3.1.1 Planeamiento

Los principales entregables del planeamiento enfocados para la planificación y control de la producción son los siguientes:

##### 3.1.1.1 Cronograma Meta

El Cronograma Meta o Plan Maestro, como menciona Serpell y Alarcón (2001), es la representación gráfica del secuenciamiento y la duración de las actividades de un proyecto, el cual debe cumplir como mínimo con los hitos y alcance del contrato. Generalmente este cronograma se realiza de manera general, representados como un cronograma de hitos, el cual servirá para que el equipo de ejecución conozca los hitos a cumplir del cronograma, sin embargo, este cronograma deberá detallarse de tal manera que se identifiquen los recursos

necesarios a utilizar, a través del cronograma de recursos y servirá de base para cronogramas más detallados.

Se han identificado los siguientes procesos para obtener el cronograma meta.

#### **3.1.1.1.1 Definición del alcance**

Es importante conocer el alcance del proyecto para conocer qué actividades debemos realizar para lograr la satisfacción del cliente, dicho proceso es necesario realizar antes del planeamiento. El alcance está definido por el contrato y sus documentos relacionados (expediente técnico, consultas, etc.), en él se plasma los requerimientos del cliente. Cabe recordar que en las reuniones de transferencia se entrega toda la información técnica y comercial, el cual toda esta documentación será clave para definir con claridad el alcance real.

El PMBOK recomienda realizar por escrito el enunciado del alcance, los cuales deben contener lo siguiente:

- Descripción general del Proyecto
- Ubicación
- Cliente del Proyecto
- Tiempo de Ejecución del Proyecto
- Modalidad de presupuesto
- Exclusiones
- Restricciones
- Entregables, entre otros.

Es importante, recalcar que el alcance debe incluir todos los trabajos requeridos y solo los trabajos plasmados en el contrato y documentos relacionados, para no realizar trabajos por los cuales no nos pagaran, todo ellos se plasman en la estructura de desglose de actividades (EDT).

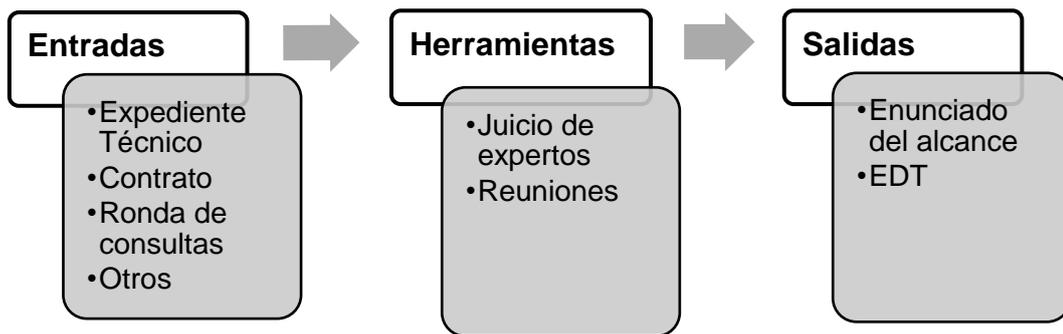


Figura N° 3.2 Definición del alcance: Entradas, Herramientas y Salidas.  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.1.1.1.2 Definir responsables del Área de Producción

Es importante definir los responsables de la construcción del proyecto, los cuales estarán en función de la cantidad de frentes elegidos, las especialidades involucradas y los entregables definidos en la elaboración del EDT.

Los entregables de este proceso son la cantidad de área/frentes los cuales servirán para definir más adelante la estrategia de la construcción y el organigrama en el cual se plasmará las responsabilidades de cada miembro del equipo.



Figura N° 3.3 Definir responsables del Área de Producción: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.1.1.1.3 Definir Estrategia de Construcción

La definición de la estrategia de construcción consiste en definir prioridades de ejecución en las diferentes áreas/frentes, considerando generalmente: los hitos y ruta crítica del cronograma contractual, recursos críticos, accesos a la zona de trabajo, permisos municipales, localización de campamentos, restricciones del cliente y externas, etc.

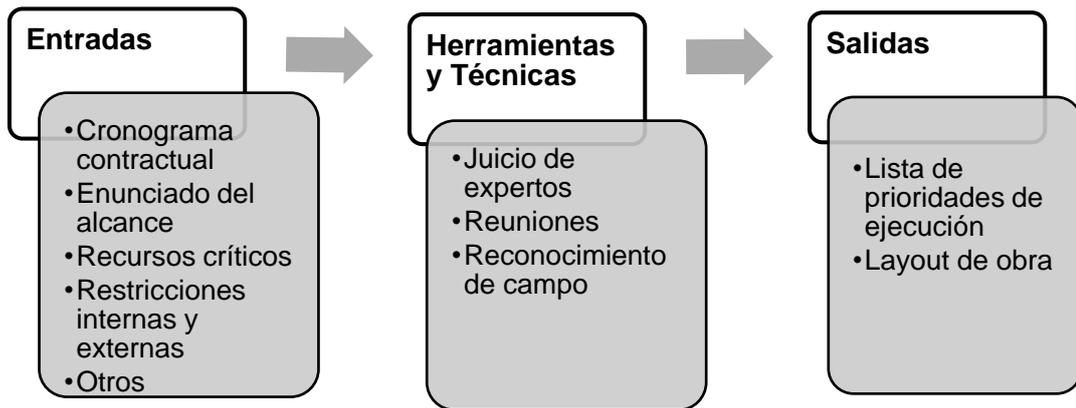


Figura N° 3. 4 Definir Estrategia de Construcción: Entradas, Herramientas y Técnicas, y Salidas  
(Fuente: Elaboración Propia)

En este proceso se analizan las prioridades de ejecución por frentes para cumplir con los objetivos del proyecto, para ello generalmente se basa en la experiencia del equipo de proyecto, tomando como base las experiencias pasadas en proyectos similares.

#### 3.1.1.1.4 Definir los procesos y métodos constructivos

En este proceso se definen los procesos y métodos constructivos a emplear, además de una primera estimación de la duración de las actividades a ejecutar, los recursos principales a emplear y la velocidad de ejecución.

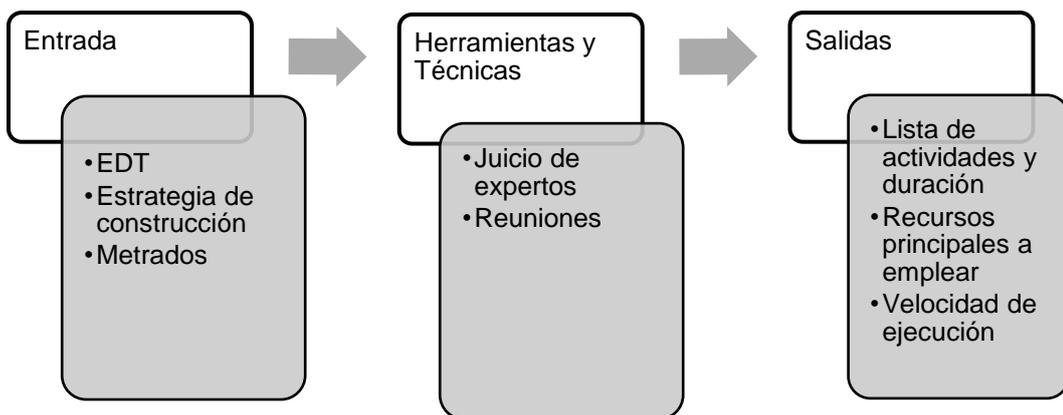


Figura N° 3. 5 Definir procesos y métodos constructivos: Entrada, Herramientas y Técnicas, y Salidas  
(Fuente: Elaboración Propia)

#### 3.1.1.1.5 Elaboración del cronograma Meta

Para la elaboración del cronograma Meta, se parte del cronograma contractual, del cual se obtiene los hitos y ruta crítica contractual, el EDT, del cual se extrae las actividades a ejecutar para cumplir con los requerimientos del cliente, la estrategia de construcción definida, del cual se extrae las prioridades de ejecución y los principales métodos constructivos a emplear. Obteniéndose como salidas el cronograma meta, cronograma de recursos, duración de las distintas etapas del proyecto, hitos internos, etc.

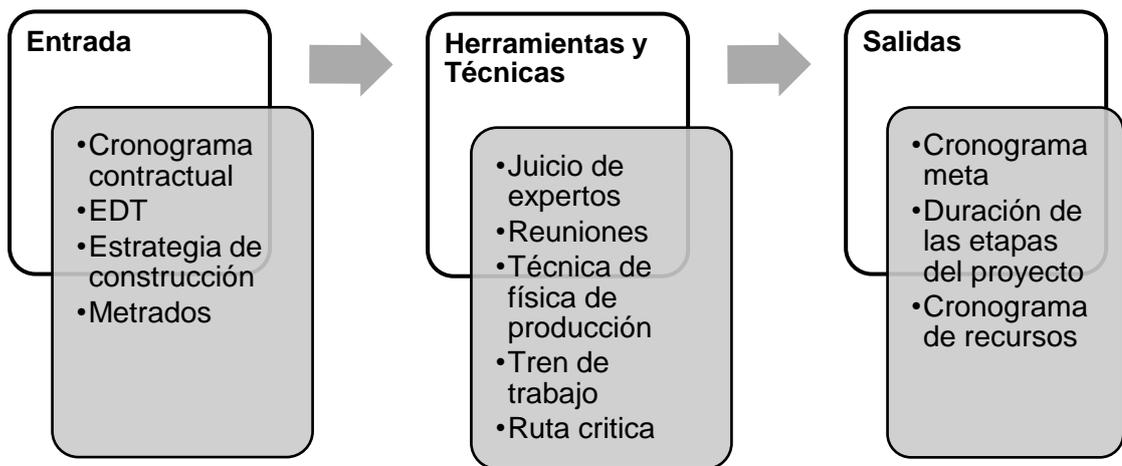


Figura N° 3.6 Elaboración del Cronograma Meta  
(Fuente: Elaboración Propia)

Dentro del proceso de elaboración del cronograma Meta se encuentran los siguientes subprocesos: Definir actividades, definir secuencia de actividades, estimación de duración de actividades, nivelación de producción y recursos, y desarrollo del cronograma.

#### A. Definir actividades

En este proceso, se definirá todas las actividades necesarias a ejecutar para cumplir los requerimientos del cliente, para lo cual se parte del EDT, detallado a nivel de actividades pensando en el proceso constructivo.

#### B. Definir secuencia de actividades

Se identifica las relaciones de dependencia entre actividades, el cual generalmente se basa en las experiencias del equipo de proyecto, se trata de definir las secuencias reales del proceso constructivo, tal como se ejecutará en campo.

### **C. Estimación de duración de actividades**

Consiste en la estimación del tiempo necesario de trabajo a emplear para completar cada actividad de manera individual. Para esta estimación generalmente se toma en cuenta lo siguiente: Las actividades previamente definidas y los metrados del proyecto, los métodos constructivos elegidos y la velocidad de ejecución seleccionados (definidos en el proceso definir los procesos y métodos constructivos), la cantidad de recursos disponibles y la experiencia del equipo de proyecto basados en proyectos similares pasados.

### **D. Nivelación de la producción y de los recursos**

Siguiendo el paso numero 02 para lograr un sistema de producción lean eficiente, se realiza la nivelación de la producción y los recursos para lograr flujos eficientes, para lograr ello generalmente se siguen los principios de física de producción (Balanceo de la carga de trabajo, teoría de restricciones) y entre las principales herramientas tenemos: línea de flujo y tren de actividades, para la presente tesis se utilizara los trenes de actividades, el cual es una herramienta que nivela la producción y los recursos al mismo tiempo.

### **E. Desarrollo del cronograma**

Una vez definida las actividades, sus secuencias y relaciones de dependencia entre las mismas, la duración de las actividades y nivelado la producción y los recursos, se procede a materializar el cronograma, el cual puede ser representado de distintas maneras, tales como: Diagrama Gantt, Pert CPM, Líneas Balance, Trenes de Actividades, entre otros.

Cabe recalcar que el proceso de elaboración acabara siempre y cuando se cumplan al menos con los hitos contractuales del cronograma contractual. Para la presentación del cronograma generalmente se presenta un cronograma en barras o cronograma por hitos, pero para la elaboración del cronograma meta actualmente se utiliza los trenes de actividades para calcular las duraciones.

#### **3.1.1.2 Estructuras de Control**

Las estructuras de control del proyecto, nos ayudaran en el control de la producción. En la figura N° 3.7, nos muestra los criterios a tomar para elegir la estructura de control correcta y que podemos controlar con cada uno de estos.

En la figura N°3.8, se muestra la estructura de control de la producción propuesta para la digitalización de datos. Además, en el capítulo vi, se mostrará la aplicación en un caso real.

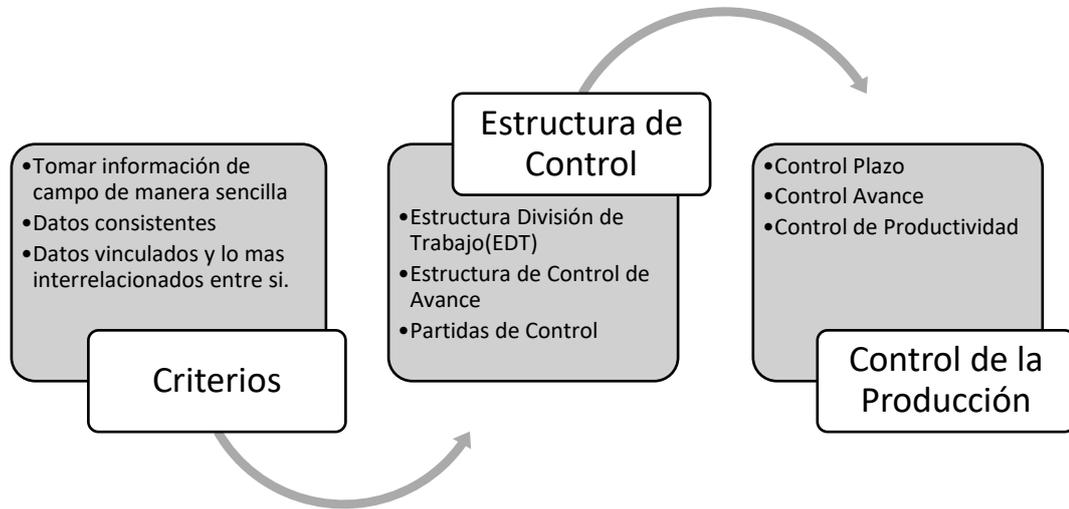


Figura N° 3.7 Criterios para definir la Estructura de Control en el Control de la producción  
(Fuente: Elaboración Propia)

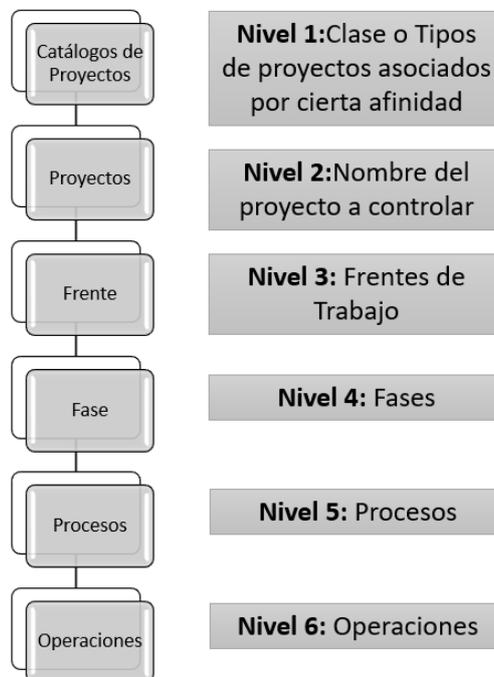


Figura N° 3.8 Estructura de Control para el control de la producción propuesta para la digitalización de datos en la construcción  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.1.1.3 Valor Planeado

El valor planeado nos ayudara a controlar el avance y el plazo del proyecto. Como menciona Alarcón y Serpell (2001), para conocer el desempeño del proyecto, el avance real se debe comparar con el avance planificado a la fecha (Valor planeado), para así tomar acciones correctivas y/o preventivas de manera oportuna para asegurar el cumplimiento del plazo.

El PMBOK v.5, muestra la metodología del valor ganado, el cual nos sirve para conocer el desempeño del proyecto en términos de alcance, tiempo y costo.

A continuación, mostraremos una adaptación del método del valor ganado para utilizar en los proyectos de construcción.

En el planeamiento, se obtiene el cronograma meta y presupuesto meta, con el cual podemos obtener todas las operaciones correspondientes al proyecto, además del costo directo, fecha inicio y fecha fin planeados de cada operación. Como muestra la tabla N°3.1, con la fecha inicio y fin planeado de cada operación obtenemos los días totales y dividiendo el metrado total planeado entre los días totales, obtenemos el avance diario planeado de cada actividad con el que obtendremos el valor planeado. El porcentaje de incidencia de cada operación se obtiene dividiendo el costo directo de cada operación entre el costo directo total del proyecto.

Tabla 3.1 Datos necesarios de cada operación obtenidos del cronograma meta para obtener el valor planeado del proyecto

Datos Obtenidos del Cronograma Meta							
Operación 1	Costo Directo 1	%Incidencia 1	Metrado Total 1	Fecha Inicio 1	Fecha Fin 1	Dias Totales 1	Avance Diario Plan 1
Operación 2	Costo Directo 2	%Incidencia 2	Metrado Total 2	Fecha Inicio 2	Fecha Fin 2	Dias Totales 2	Avance Diario Plan 2
Operación 3	Costo Directo 3	%Incidencia 3	Metrado Total 3	Fecha Inicio 3	Fecha Fin 3	Dias Totales 3	Avance Diario Plan 3
Operación 4	Costo Directo 4	%Incidencia 4	Metrado Total 4	Fecha Inicio 4	Fecha Fin 4	Dias Totales 4	Avance Diario Plan 4
Operación 5	Costo Directo 5	%Incidencia 5	Metrado Total 5	Fecha Inicio 5	Fecha Fin 5	Dias Totales 5	Avance Diario Plan 5
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
Operación N	Costo Directo N	%Incidencia N	Metrado Total N	Fecha Inicio N	Fecha Fin N	Dias Totales N	Avance Diario Plan N

Σ Costo Directo Total 100.00%

En la figura N°3.9, se muestra cómo obtener el porcentaje de avance de cada operación, el cual se obtiene dividiendo el avance diario entre el metrado total de cada operación. Con los datos mostrados en la tabla N°3.1, los cuales son obtenidos en la etapa del planeamiento, se puede graficar el valor planeado en la curva "S". En la figura N°3.10, se muestra un gráfico de ejemplo curva "S" el cual en el eje "x" muestra los días y en el eje "y" el porcentaje de avance del proyecto,

el cual se obtiene como muestra la figura N°3.11, sumando la multiplicación del porcentaje de avance por el porcentaje de incidencia de cada operación.

Teniendo el reporte de avance diario, se puede obtener la gráfica del avance real del proyecto, y así, controlar el plazo y avance del proyecto.

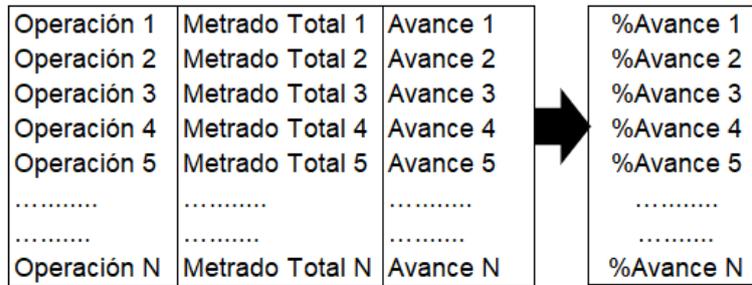


Figura N° 3.9 Porcentaje de avance diario de cada operación del proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

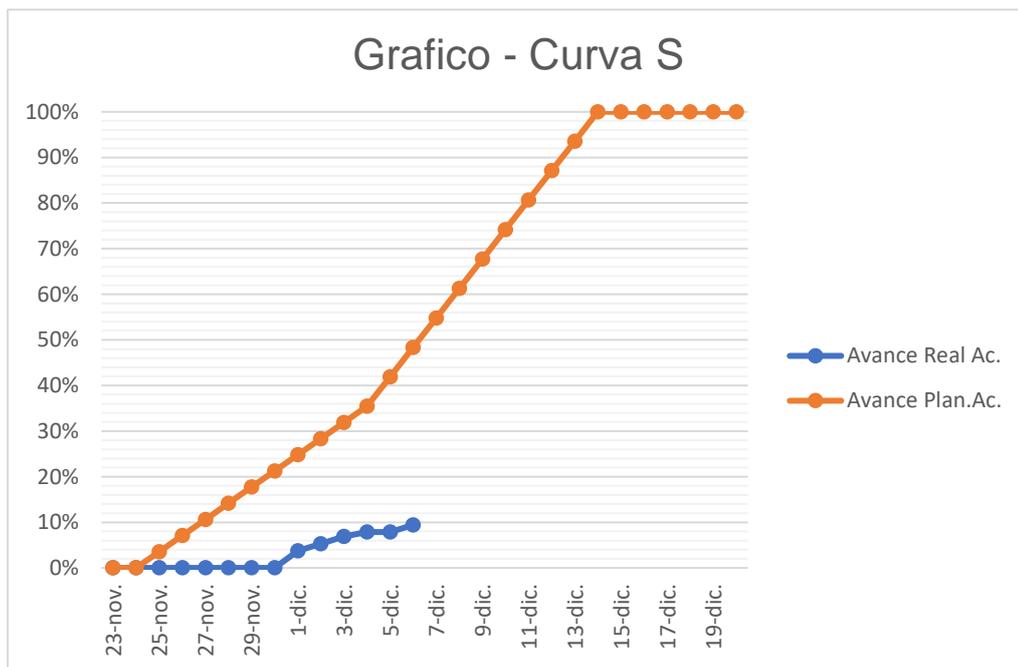


Figura N° 3.10 Ejemplo de grafico de Curva S  
(Fuente: Elaboración Propia)

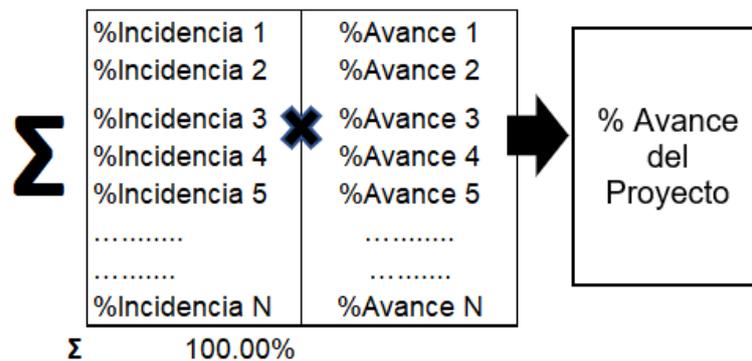


Figura N° 3.11 Calculo del porcentaje de avance del proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.1.2 Programación

La programación se realizará siguiendo la metodología de Last Planner System, el cual comprenderá la elaboración del plan maestro, plan de fases, LookAhead Planning, análisis de restricciones, plan diario y análisis del PPC, causas de no cumplimiento.

El proceso inicia definiendo el plan maestro, en el cual se analizan los principales hitos contractuales y las actividades que se deben hacer para cumplir con los compromisos, posteriormente se realiza una planificación por fases con los involucrados en la cual se valida en una reunión Pull, las actividades a desarrollarse y además los capataces dan su punto de vista, proponen mejoras en el planeamiento y se comprometen en cumplir con los hitos del proyecto.

También se realiza la planificación intermedia LookAhead en el cual se define las actividades libres de restricciones, se levantan restricciones y se asignan restricciones. Las actividades libres de restricciones se almacenan en el Inventario de trabajo ejecutable, en el cual obtendremos las actividades que pueden planificarse en la semana, teniendo como base el plan semanal, se obtiene el plan diario y día tras día se analiza el cumplimiento de las tareas planeadas. Semanalmente se realiza reuniones con los últimos planificadores para analizar las causas de no cumplimiento, analizar nuevas restricciones y además obtener indicadores tales como el PPC.

Se utiliza esta metodología ya que nos permite obtener programas más confiables, programas con la intervención de todos los involucrados (planificación colaborativa), promueve el aprendizaje continuo semana a semana y reduce en gran medida la variabilidad.

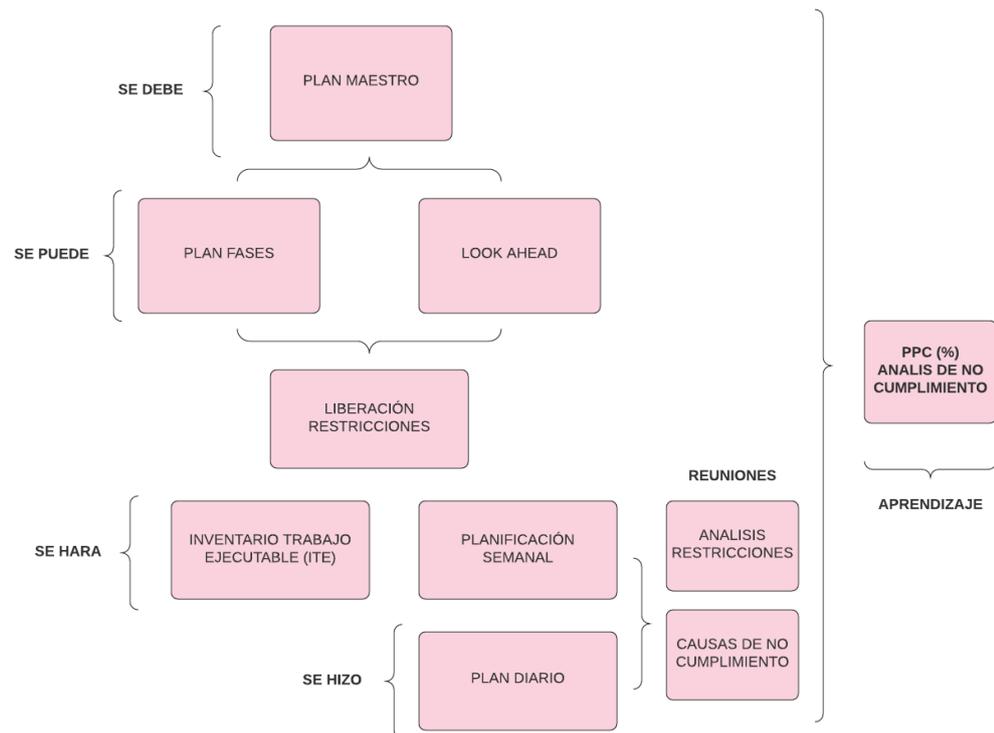


Figura N° 3.12 Proceso del Last Planner System  
(Fuente: Adaptado de Rodríguez et al. 2011)

### 3.1.2.1 Plan por Fases

Como mencionan Rodríguez *et al.* 2011, el plan por fases es el segundo nivel de planificación y son necesarios cuando los proyectos son largos y complejos. Se desarrolla una sesión pull por cada fase del proyecto con los últimos planificadores, ellos se encargan de validar y definir las distintas actividades necesarias para cumplir con los hitos del proyecto obtenidos del plan Maestro.

### 3.1.2.2 LookAhead Planning

Como mencionó Sanchis (2013), el LookAhead planifica las actividades a ejecutar en un intervalo de tiempo dado, generalmente de 3 a 6 semanas, cada una de estas actividades tienen asociadas un conjunto de restricciones, que determinarán si se puede ejecutar o no.



Figura N° 3.13 Procesos LookAhead Planning en las reuniones semanales  
(Fuente: Pons y Rubio,2019, p.51)

El proceso de LookAhead Planning, es importante dentro de la metodología Last Planner, ya que en él se incluye el análisis de restricciones, el cual nos permite realizar programas más confiables y con menos variabilidad.

### 3.1.2.3 Análisis de Restricciones

Como menciona Pons y Rubio (2019), una vez que las actividades han sido identificadas, se debe realizar el análisis de restricción para cada actividad, esto se realiza con los últimos planificadores en las reuniones semanales.

Entre las restricciones más frecuentes, tenemos:

- Programación
- Incumplimiento de Otro Frente
- Cliente – Supervisión
- Externo
- Ingeniería
- Logística de Materiales
- Logística de Personal
- Logística de Equipos
- Mantenimiento de Equipos
- Permisos
- Errores de Ejecución
- Control de Calidad
- Subcontratas
- Topografía

Para asignar correctamente restricciones, deberá asignarse a una tarea que se encuentre dentro del LookAhead actual, deberá definirse el tipo de Restricción al cual pertenece, la prioridad, una breve descripción de la restricción, en qué medida impactara al proyecto y la acción a tomar para lograr levantar la restricción, así como el encargado de liberar y la fecha de compromiso a liberar la restricción, tal como se puede observar en la figura N°3.14.

The image shows a software window titled "Añadir Restricción" with a close button in the top right corner. The window contains a form with the following fields:

- Nombre Fase: Text input field.
- Nombre Frente: Text input field.
- Nombre Operación: Text input field.
- Fecha Inicio Planeado: Text input field.
- Tipo Restricción: Dropdown menu.
- Prioridad: Dropdown menu.
- Descripción Restricción: Large text area.
- Impacto: Large text area.
- Acción: Large text area.
- Encargado Liberar Restricción: Dropdown menu.
- Fecha Compromiso Liberación: Text input field.

At the bottom center of the form is a button labeled "Subir Restricción".

Figura N° 3.14 Ventana Asignar Restricción de la Metodología Propuesta  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.1.2.4 Plan Semanal

Como mencionan Rodríguez *et al.* 2011, en el plan semanal se define lo que se hará en la semana entrante, en función de los objetivos planteados en la reunión semanal anterior, en donde los últimos planificadores se comprometen a realizar tareas libres de restricciones, estas tareas son las que se encuentran en el inventario de trabajo ejecutable. La reunión semanal, el cual o bien se realiza al inicio o al final de la semana, se juntan todos los involucrados, y se realiza un primer análisis de cumplimiento de las tareas programadas en la semana, en caso de no cumplir se busca la causa raíz y, además, las acciones correctivas para que no se repita y se planifica las tareas para la semana siguiente.

PROYECTO Fecha inicio Fecha fin							Diagrama de Gantt	Causas de NO Cumplimiento													
COD.	ACTIVIDAD	RESP.	OBJETIVO			Cumplido (sí/no)		SEMANA 1					Tipo								
			A ejecutar	Ejecutado	% Alcanzado			L	M	X	J	V	Proveedores	Subcontratistas	Equipos	Seguridad y S.	Medio Ambiente	Externos	Otros	Descripción	Retraso
								8	9	10	11	12									

Figura N° 3.15 Programación Semanal Típica  
(Fuente: Rodríguez et al. 2011)

### 3.1.2.5 Plan Diario

El plan diario consta de un listado de actividades a realizarse durante la jornada de trabajo, se buscará cumplir con los compromisos plasmados en el plan semanal.

Como menciona Pons y Rubio (2019), se recomienda realizar una reunión diaria en el lugar de trabajo con todos los encargados, normalmente de 5 a 10 minutos en el cual se entrega y se da lectura al plan diario, donde se plasmaron los compromisos de trabajo de cada especialidad, se revisa los indicadores de cumplimiento del día anterior y además se identifica algún problema no identificado en el plan (p.64).

		PLAN DIARIO						Fecha Elaborado Por Rev Proyecto		
Codigo	Frente	Proceso	Operación	Descripción	Hora Inicio	Hora Fin	Avance Programado	Unidad Producción	Sector	#Personas

Figura N° 3.16 Formato Plan Diario  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.1.3 Ejecución

En el proceso de ejecución constantemente se controlará las operaciones completadas en tiempo real, en el cual se obtendrá reportes de manera diaria de las tareas completadas y en caso no se haya completado alguna, se deberá identificar su respectiva causa de incumplimiento, se obtendrá el trabajo semanal

ejecutado, el cual los responsables de ejecutar se comprometieron a completar cierto trabajo en la semana, este reporte nos servirá para las reuniones semanales y la mejora continua.

### 3.1.3.1 Trabajo Semanal Ejecutado

Al culminar cada semana se tendrá un reporte del trabajo semanal ejecutado, como muestra la Figura N°3.17 y 3.18, en el cual listaremos todas las operaciones planificadas, así como el avance planeado, avance real de la semana, porcentaje de cumplimiento diario y el porcentaje de cumplimiento semanal.

Se obtiene dicho reporte con el fin de poder identificar qué operaciones tiene menor porcentaje de cumplimiento diario y semanal, y así poder identificar las causas de no cumplimiento y plan de acciones correctivas para así evitar que vuelva ocurrir. En el proceso de seguimiento y control, y mejora continua se detallará.

Id Frente	IdOperacion	Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin
2	4	Alcantarillado	Línea Distribucio	Excavacion de buzón-C	25/11/2020	15/12/2020
2	5	Alcantarillado	Línea Distribucio	Excavacion de Zanja - F	01/12/2020	15/12/2020
2	11	Alcantarillado	Línea Distribucio	Vaceado solado	05/12/2020	30/12/2020

Figura N° 3.17 Ejemplo de Trabajo Semanal Ejecutado parte 1  
(Fuente: Elaboración Propia)

Metrado Proyectado Semanal	Avance Real Semana	Unidad Produccion	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
25	13	m3	33.3%	52.0%
10	10	m3	66.7%	100.0%
5	2	m2	100.0%	40.0%

Figura N° 3.18 Ejemplo de Trabajo Semanal Ejecutado parte 2  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.1.4 Seguimiento y Control

El proceso de seguimiento y control es uno de los más importantes, ya que nos ayudara a identificar desviaciones del plan y tomar medidas correctivas a tiempo.

### 3.1.4.1 Control de Avance y Plazo

El control de avance y plazo se realizará con la estructura de control, el cálculo del valor planeado y el método del valor ganado propuesto por el PMI.

El PMBOK v.5, menciona que la curva “S”, el cual grafica la curva de porcentaje de avance acumulado del proyecto en función del tiempo, nos ayuda a controlar el avance y el plazo, con un indicar como el SPI, que es un indicador de desempeño del cronograma y se obtiene de la división entre el valor ganado y el valor planeado. El valor del SPI debería estar cerca o mayor a 1, si el índice es igual a 1, el proyecto está en el cronograma, si es menor a 1 el proyecto estará atrasado y si es mayor a 1, el proyecto estará por adelante al cronograma.

El valor planeado, se graficará para todo el proyecto, con los datos obtenidos del planeamiento inicial, y el valor ganado se calculará constantemente según el avance. El control del plazo, se puede obtener de manera indirecta con una línea de tendencia, en el cual se podrá proyectar la fecha fin del proyecto, aunque verdaderamente se debe obtener actualizando el cronograma semana a semana, ya que como menciona Guio(2001), ajustar la planificación sin un cálculo detallado de metrados faltantes y los recursos necesarios para culminar en un determinado tiempo, es engañarse, es por ello que no es recomendable calcular el plazo mediante la curva “S”, es preferible actualizar el plan constantemente y calcular si acabamos en el plazo o no y en caso de no, conocer los recursos necesarios para culminar a tiempo los metrado faltantes, ya que se conoce el ratio semanal de cada actividad se puede proyectar el saldo y obtener de manera confiable el término del plan(p.109).

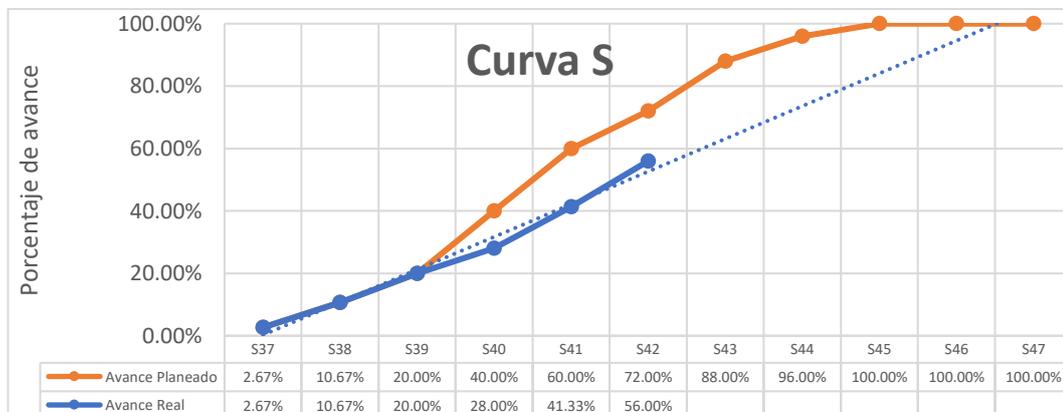


Figura N° 3.19 Ejemplo de Grafica de Curva S para el cálculo del SPI  
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 3.2 Ejemplo de SPI para conocer el status de la obra respecto al avance

	Real	Programado
Avance de la presente semana	13.33%	20.00%
Avance Acumulado	56.00%	72.00%
Adelanto (Retrasado) respecto de lo programado	-16.00%	—
Avance / Retraso	0.78	—

### 3.1.4.2 Porcentaje de Plan Completado (PPC)

Como menciona Pons y Rubio (2019), el porcentaje de plan completado es un indicador clave del LPS para medir la confiabilidad del equipo planificando. Se calcula dividiendo el “número de tareas comprometidas completadas” entre “el número total de tareas planificadas”, para el cálculo se utilizan criterios binarios (SI/NO) de manera que una tarea terminada al 80% sería un “NO”. El PPC, no es un indicador de avance, sino más bien un indicador que mide la confiabilidad del compromiso del equipo, es por ello que se complementa muy bien con los indicadores tradicionales (p.60).

En la figura N°3.20, se puede ver una gráfica del indicador PPC, el cual, al mostrar gran variación entre semanas consecutivas, podemos concluir que no se está desarrollando correctamente la metodología del Last Planner, ya que existe mucha variabilidad en el proyecto y el plan no es confiable.

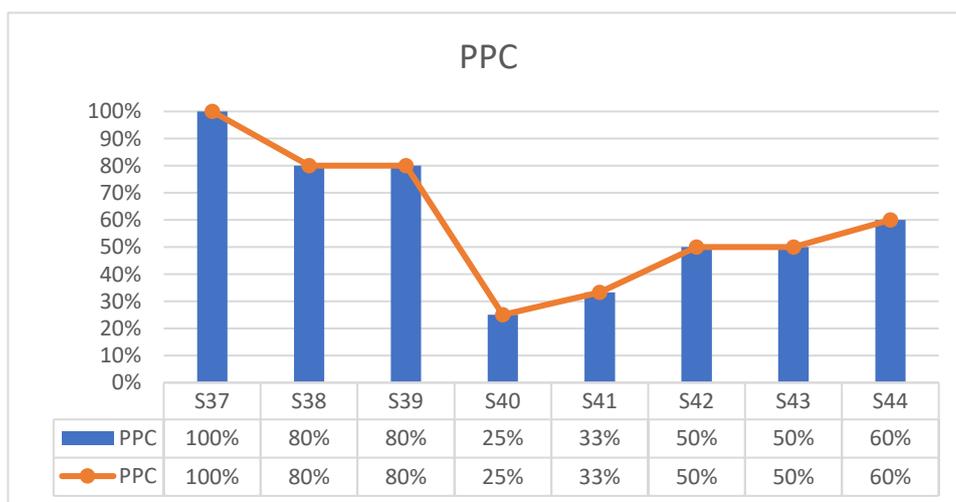


Figura N° 3.20 Ejemplo de indicador PPC, donde no se controla la variabilidad correctamente (Fuente: Elaboración Propia)

Como se mencionó el indicador PPC, nos sirva para medir la confiabilidad en la planificación, si tenemos valores tales como los mostrados en la figura N° 3.21, se puede concluir que el plan es medianamente confiable, se tiene un flujo continuo y se está gestionando bien las restricciones, sin embargo, se puede mejorar para aumentar el valor del PPC.

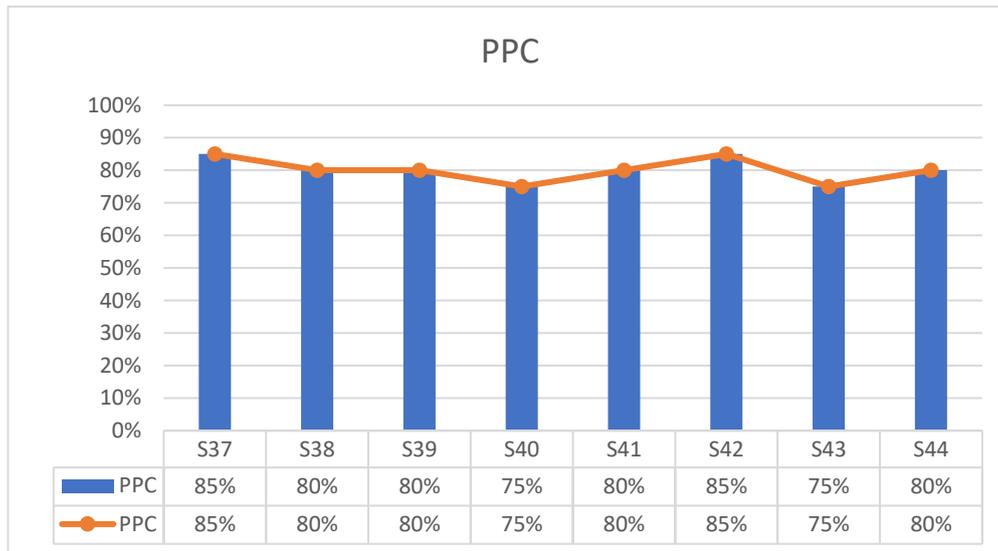


Figura N° 3.21 Ejemplo de indicador PPC, donde se tiene un plan confiable  
(Fuente: Elaboración Propia)

Sin embargo, como menciona Pons y Rubio (2019), el PPC no es un indicador de avance, un PPC alto podría asociarse a que la obra va bien en términos de plazo, pero no siempre es así, podríamos tener PPC del 100% cuando el equipo planifica de una manera muy conservadora o incluso omitiendo actividades que deben desarrollarse para cumplir con los hitos del proyecto.

### 3.1.4.3 Causas de No Cumplimiento

Pons y Rubio (2019), mencionan que debe analizarse el cumplimiento de los compromisos diario y/o semanal, y por cada compromiso no completado debe identificarse la causa raíz de ese no cumplimiento, esto ayudara a tomar acciones correctivas en base a la causa raíz identificada.

Generalmente cada empresa tiene identificado un listado de causas de no cumplimiento, que nos ayudara con el registro, en la figura N°3.22 podemos ver un ejemplo de las principales causas de no cumplimiento que se puede presentar en proyectos de construcción.

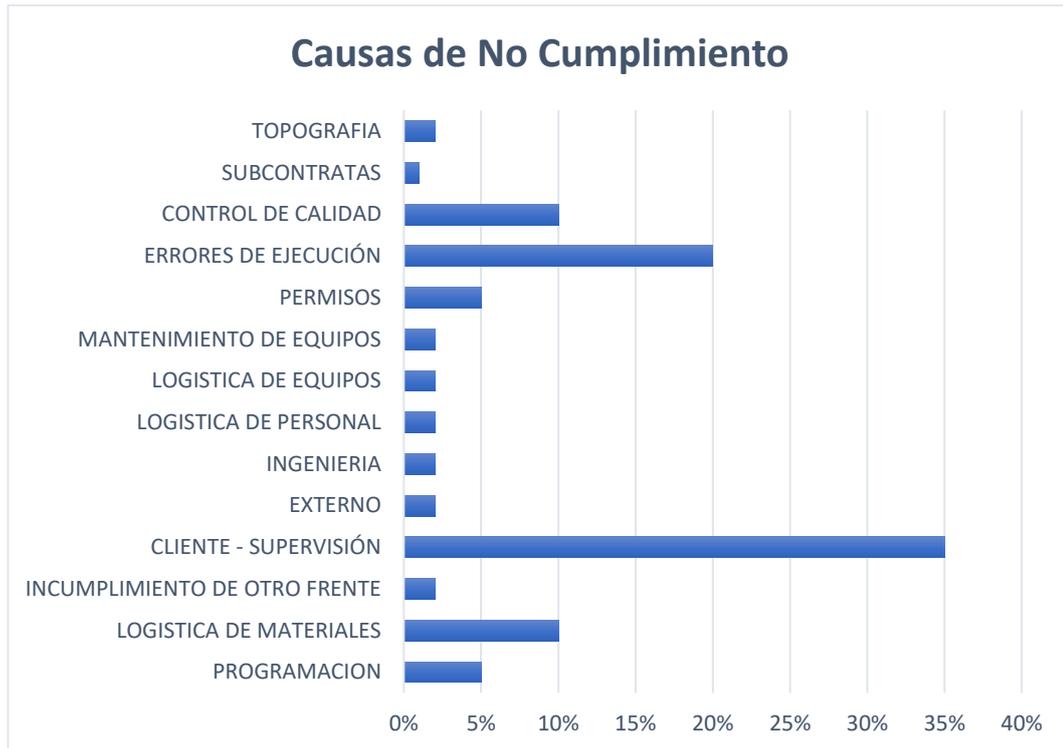


Figura N° 3.22 Ejemplo de Causas de No Cumplimiento  
(Fuente: Elaboración Propia)

#### 3.1.4.4 Control de la Productividad

Guio (2001), recomienda una herramienta de productividad para controlar la mano de obra, materiales y equipos, el cual nos permite controlar el consumo real de los recursos y comparar con los recursos proyectados en la etapa del planeamiento. La herramienta a utilizar debe incluir lo siguiente (en el caso de controlar la mano de obra) (p.132):

- HH's consumidas diarias ----- (1)
- Avance real diario ----- (2)
- Metrado total proyectado ----- (3)
- HH's acumuladas hasta la fecha ----- (4)
- Avance Acumulado ----- (5)
- HH's totales asignadas a la partida a controlar según el presupuesto meta
- Ratio meta ----- (6)
- Ratio real diario ----- (7)
- HH's ganadas/perdidas a la fecha
- HH's ganadas/perdidas proyectadas a fin de obra

$$\text{Ratio real diario} = \frac{(1)}{(2)} \text{ ----- (8)}$$

$$\text{Ratio Acumulado} = \frac{(4)}{(5)} \text{ ----- (9)}$$

$$\text{HH ganadas/perdidas} = ((6) - (8)) \times (5) \text{ ----- (10)}$$

$$\text{HH ganadas/perdidas} = ((3) - (5)) \times ((6) - (9)) + (10)$$

Descripcion	Mes	NOV	DIC	DIC	DIC	DIC	DIC	DIC
	#Sem.	SEM49						
	#Dias		1	2	3	4	5	6
	Dia	L	M	X	J	V	S	D
	Fecha	30-lu	01-ma	02-mi	03-ju	04-vi	05-sá	06-do
<b>HH Diario</b>		8.00	10.00	10.00	8.00	10.00		
<b>Avance Diario</b>		5.00	6.00	7.00	8.00	8.00		
<b>Ratio Real Diario</b>		1.600	1.667	1.429	1.000	1.250		
<b>HH Acumulado</b>		8.00	18.00	28.00	36.00	46.00		
<b>Avance Acumulado</b>		5.00	11.00	18.00	26.00	34.00		
<b>Ratio Acumulado</b>		1.60	1.64	1.56	1.38	1.35		
<b>Ratio Meta</b>		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00		
<b>HH ganadas/perdidas</b>		- 3.00	- 7.00	- 10.00	- 10.00	- 12.00		
<b>HH ganadas/perdidas a fin de obra</b>		- 60.00	- 63.64	- 55.56	- 38.46	- 35.29		

Figura N° 3.23 Ejemplo de Control de Mano de Obra de cierta actividad  
(Fuente: Elaboración Propia)

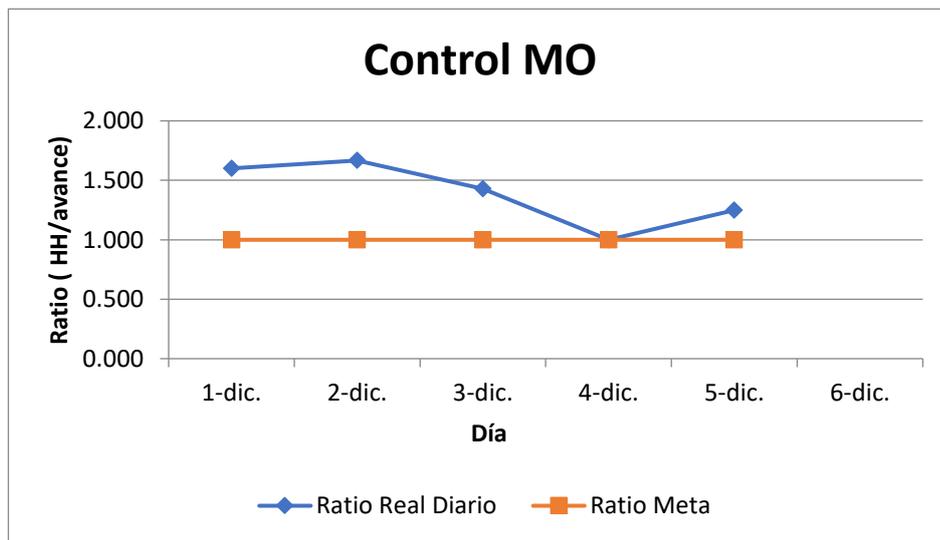


Figura N° 3.24 Gráfica de productividad de mano de obra de cierta actividad  
(Fuente: Elaboración Propia)

Como muestra la figura N°3.23, como input se debe tener las horas hombres diarias consumidas, el avance diario y el ratio meta de cierta operación, y con ello podemos obtener el ratio real diario y demás parámetros, esta metodología nos permitirá conocer si estamos utilizando más recursos de lo planeado y además poder proyectar la cantidad de recursos ganados o perdidos al finalizar la obra, con lo cual se puede tomar acciones correctivas en caso no se esté cumpliendo con lo planificado.

Como muestra la figura N°3.24, estamos consumiendo más recursos de lo planeado, en el cuarto día recién se llegó a la productividad planeada.

### 3.1.5 Mejora Continua

El principio 14 del modelo Toyota, comentaba que una empresa aprendía de sus errores, siendo los errores una oportunidad de aprender. La mejora continua es uno de los procesos más importantes que nos permitirá aprender de nuestros errores, para lo cual será fundamental identificar las causas raíces de nuestros errores y plantear acciones correctivas para evitar que vuelvan a ocurrir.

Teniendo digitalizado los principales datos en el proceso de ejecución de una obra, nos permitirá tener data histórica de nuestros principales errores cometidos en la empresa, lo cual nos servirá como experiencia para posteriores obras.

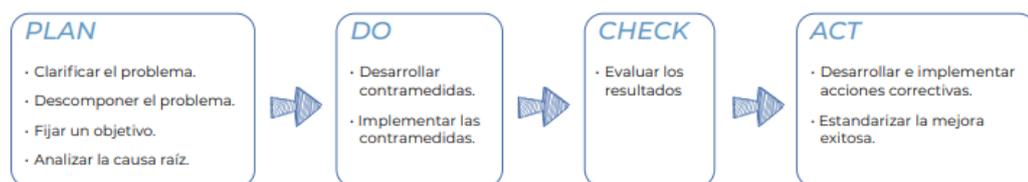


Figura N° 3.25 Ciclo de Deming (PDCA)  
(Fuente: Pons y Rubio,2019, p.67)

#### 3.1.5.1 Mejora de la Productividad

Como menciona Pons y Rubio (2019) la metodología Last Planner System no será tan eficiente si no se toman acciones rápidas en base al conocimiento, se debe generar aprendizaje continuo en base a los errores cometidos día tras día y teniendo digitalizado el registro de productividad se puede lograr ello con mayor detalle (p.66).

La mejora de la productividad se logrará teniendo los datos reales de las operaciones más incidentes en la obra, teniendo digitalizado el uso de recursos y avance de las operaciones a controlar se puede sacar conclusiones de productividad y tomar acciones correctivas en caso no se ajuste al plan.

Por ejemplo, como muestra la figura N°3.26, se observa el ratio meta y el ratio real día tras día, en el cual podemos ver dos días en los cuales existe un exceso de uso de recursos comparado con lo planificado, para tomar acciones correctivas nos apoyamos en el tablero PDCA (figura N°3.27), en la cual siguiendo la metodología del ciclo de Deming se identifica el problema, se plantea una acción correctiva y se verifica los resultados.

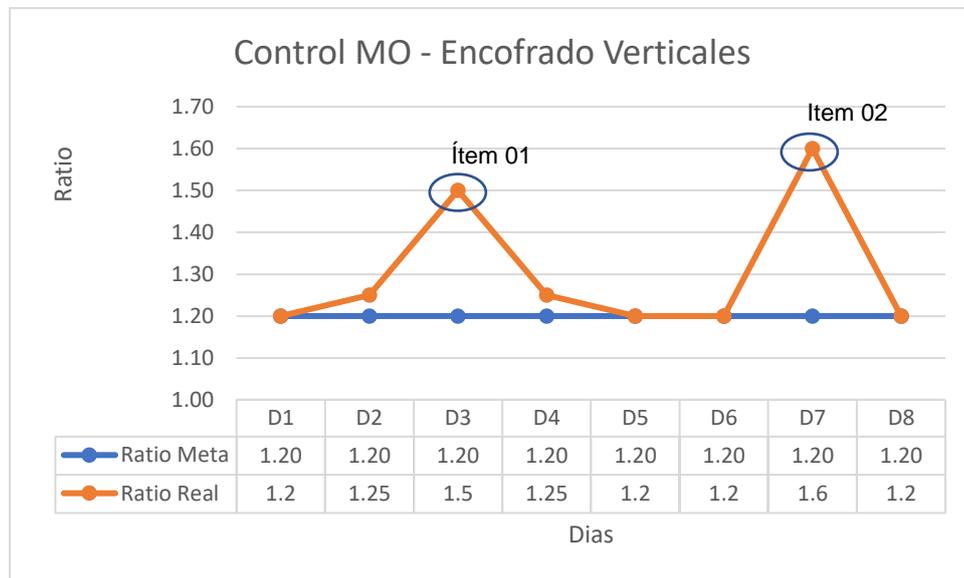


Figura N° 3.26 Ejemplo de Grafica de Productividad de Encofrado de Verticales  
(Fuente: Elaboración Propia)

GAMDI S.A.C.		PLAN DE ACCIÓN(PDCA) : PLAN - DO - CHECK - ACT				Fecha Actualización: XXXXXXXX	
		Control Mano de Obra - Encofrado Verticales				Elaborado Por: Gianpierre Gamarra	
						Obra: XXXXXXXXXXXXX	
Item	Fecha	Problema	Causa	Acción	Quien	Fecha Compromiso	Estado
1	XX/XX/XXXX	Concreto demora en fraguar, no se pudo desencofrar a tiempo	No se modifico el diseño de mezclas, debe considerarse clima calido en verano	Solicitar un nuevo diseño de mezclas a la empresa de premezclado	Ingeniero de calidad y campo	XX/XX/XXXX	Levantado
2	XX/XX/XXXX	Hubo un incidente de seguridad	No se hizo la limpieza del area de trabajo antes de iniciar las labores, se paro la actividad se hizo una charla y se ordeno a limpiar el area de trabajo	Se exhorto al personal a realizar los trabajos de orden y limpieza previo a inicio de su trabajo, se llamo la atención al capataz por no supervisar	Capataz, Prevencionista e Ingeniero de campo	XX/XX/XXXX	Levantado

Figura N° 3.27 Ejemplo de Tablero PDCA de Encofrado de Verticales  
(Fuente: Elaboración Propia)

Como podemos ver teniendo los datos reales digitalizados se puede hacer un seguimiento en tiempo real de la productividad de las principales operaciones y tomar medidas correctivas con los involucrados, es importante resolver los problemas con los involucrados para que todos podamos aprender de estos.

Además, mientras más temprano se identifique desvíos en el plan inicial, existe mayor probabilidad de plantear estrategias para cumplir con las metas iniciales, basándose en data real existente con lo cual se puede proyectar distintos escenarios y estrategias para lograr cumplir dichas metas.

### 3.1.5.3 Mejora del Cumplimiento en el LPS

Como se mencionó el LPS también toma en cuenta la metodología de mejora continua ya que en las reuniones semanales se toma un tiempo de aprendizaje del desempeño de la semana anterior con los últimos planificadores, se lista las actividades no cumplidas, se analiza la causa de no cumplimiento con la técnica de los 5 porques que nos ayuda a identificar la causa raíz y posteriormente con el tablero PDCA se toma acciones correctivas.

Liker (2016) mencionaba que Taiichi Ohno enfatizaba en buscar la causa raíz del problema, ya que no bastaba con conocer la fuente del problema, la causa raíz esta escondida más allá de la fuente, es por ello que se debe preguntar 5 veces ¿Por qué?, para encontrar la raíz del problema. Esta técnica exige tomar la respuesta del primer porque y luego volver a preguntar porque ocurrió esto, cinco veces, esto nos ayudara a descubrir la raíz del problema. (p.383)

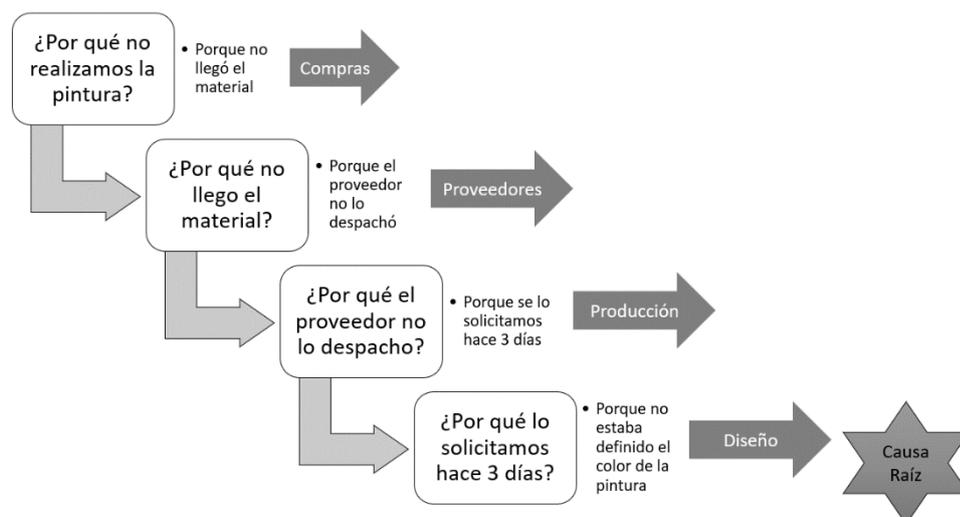


Figura N° 3.28 Ejemplo de Metodología de los 5 Porques  
(Fuente: Pons y Rubio,2019, p.69)

Como muestra figura N°3.28, cada causa identificada corresponde a distintos procesos, sin embargo, la causa raíz de todos los problemas está en el diseño, de nada servirá enfocar todos nuestros esfuerzos en mejorar el tiempo de despacho de los proveedores o exigir a los ingenieros de producción que soliciten los materiales con más tiempo de anticipación, si los encargados del diseño no lo realizan en el tiempo justo.

GAMDI S.A.C.		PLAN DE ACCIÓN(PDCA) : PLAN - DO - CHECK - ACT					Fecha Actualización: XXXXXXXXX		
		Causas de No Cumplimiento					Elaborado Por: Gianpierre Gamarra		
		Plan Semanal XX					Obra: XXXXXXXXXXXXX		
Item	Fecha	Actividad	Causa de No Cumplimiento	Problema	Causa	Acción	Quien	Fecha Compromiso	Estado
1	XX/XX/XXXX	Pintura en Fachada	Diseño	No se ejecuto la actividad de pintura	El area de diseño no entrego a tiempo el tipo de pintura a emplear	Se explico al area de diseño que debemos solicitar los materiales con 14 dias de anticipación.	Ingeniero de Produccion y Proyectista	XX/XX/XXXX	Levantado

Figura N° 3.29 Ejemplo de Tablero PDCA de Causas de No Cumplimiento  
(Fuente: Elaboración Propia)

La causa de no cumplimiento identificada debe registrarse en el tablero PDCA, como muestra la figura N°3.29, lo cual nos servirá para tener un registro histórico de las principales causas de no cumplimiento y además para darle seguimiento al responsable de llevar a cabo la medida correctiva, la metodología del ciclo de Deming nos ayudara de aprender de los errores y existirá mayor probabilidad de no volver a cometer los mismos errores y tomar medidas preventivas para que no ocurra ello.

### 3.2 Metodología de Digitalización de Datos

Los aplicativos desarrollados constará en una aplicación de escritorio programado en lenguaje VBA Excel, el cual nos servirá para el planeamiento, programación y control de la producción, y un aplicativo Móvil desarrollado en Android Studio, lenguaje Kotlin, el cual nos servirá para digitalizar los datos generados en campo tales como: Avance Diario, Cumplimiento, Causas de No cumplimiento, Recursos consumidos (materiales, mano de obra, equipos), asignación y levantamiento de restricciones.

Como muestra la figura N°3.30, las dos aplicaciones utilizaran un servicio web para realizar las peticiones al servidor y así conectarse a la base de datos.

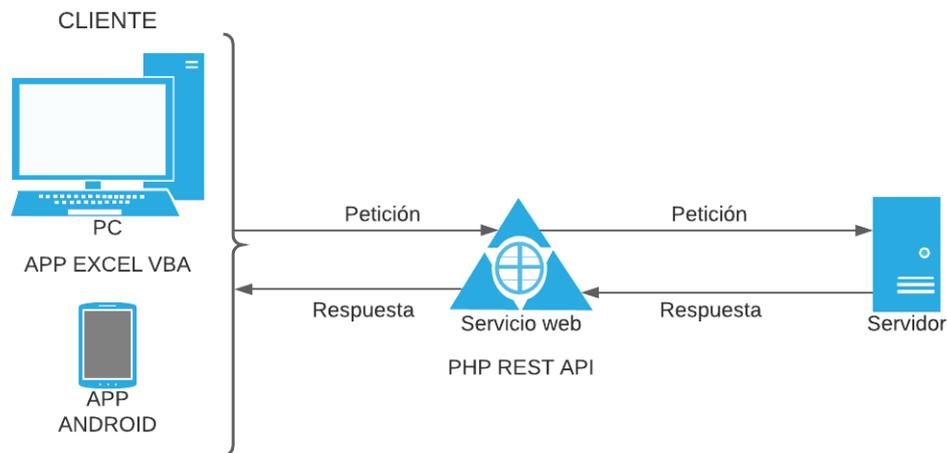


Figura N° 3.30 Interacción del App Móvil y Excel VBA con la base de datos  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la siguiente figura N° 3.31, se muestra las distintas tareas que realizaremos con los dos aplicativos creados, los cuales nos ayudaran a digitalizar los datos. Cabe recalcar que toda información generada se procesará y guardará en una base de datos creada, de tal manera que en todo momento se podrá consultar. Vemos que la metodología de Digitalización de datos se complementa con la metodología de Planificación y Control de la producción, ya que en todo momento se necesita los datos en tiempo real para identificar el desempeño del proyecto y en caso se necesite tomar acciones correctivas, volvemos a planear para cumplir con las metas del proyecto. A continuación, detallaremos el proceso de digitalización en cada etapa del proceso de ejecución de obras.

### 3.2.1 Digitalización en la Etapa del Planeamiento

En la etapa del planeamiento, la digitalización se realizará a través del aplicativo programado en Excel, se generará un nuevo proyecto, guardándose el nombre del Proyecto, nombre del cliente, ubicación, fecha Inicio Meta, fecha Fin Meta, presupuesto Total, descripción, entre otros (más detalle se mostrará en el capítulo IV y V). El proyecto se guardará dentro de un paquete de proyectos (es el nombre que agrupa proyectos afines), el cual se utilizara para comparar proyectos similares.

	PLANEAMIENTO	PROGRAMACIÓN	EJECUCIÓN	SEGUIMIENTO Y CONTROL
APP EXCEL VBA	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Creación del Proyecto</li> <li>2. Asignación de Frentes y Operaciones del Proyecto</li> <li>3. Asignación de Fecha Inicio y Fin Meta , Costo de cada operación.</li> <li>4. Definición de Recursos a controlar (MO,Mat,Eq).</li> <li>5. Generación de Valor Planeado en Curva S.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Actualización del Plan Maestro.</li> <li>2.Creación y/o Actualización de LookAhead</li> <li>3.Creación del Plan Semanal</li> <li>4.Creación de Plan Diario</li> <li>5.Asignación de Restricciones.</li> </ol>		<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Reporte de avance Diario.</li> <li>2. Reporte de Tareas Cumplidas (PPC)</li> <li>3. Reporte de productividad de recursos.</li> <li>4. Curva S de avance</li> <li>5. Reporte de Causas de no Cumplimiento diario.</li> <li>6. Reporte de Restricciones.</li> </ol>
APP ANDROID STUDIO			<ol style="list-style-type: none"> <li>1.Visualización de tareas programadas, restricciones.</li> <li>2. Subir avance real del plan diario.</li> <li>3. Subir cumplimiento y/o Causas de No Cumplimiento.</li> <li>4. Subir uso de Recursos (MO,Materiales y Equipos)</li> <li>5.Levantar o asignar restricciones.</li> </ol>	

Figura N° 3.31 Procedimientos que se puede realizar con el aplicativo en Excel VBA y en Android Studio  
(Fuente: Elaboración Propia)

Una vez creado el proyecto se le asignará frentes y operaciones, y además las fechas de Inicio y Fin planeadas de cada operación (se conoce la fecha ya que previamente se elaboró el plan maestro), además del costo directo de cada operación (el cual nos servirá para graficar la curva S planeada).

También asignaremos los recursos a controlar tales como mano de obra, materiales y equipos (recordemos que en la etapa de planeamiento se definió las partidas de control de recurso). Como podemos ver los inputs que se necesitan para procesarlos en el aplicativo previamente se generan en la etapa de Planeamiento.

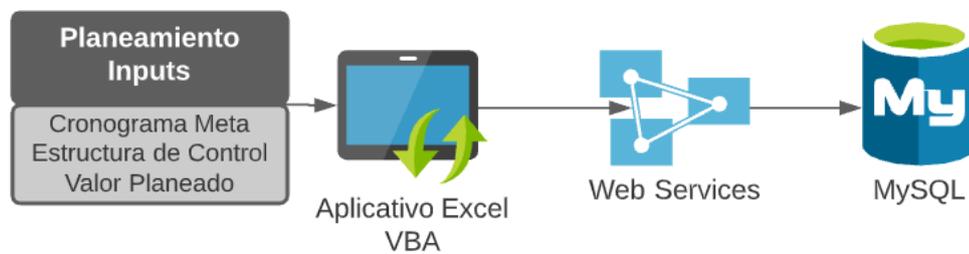


Figura N° 3.32 Digitalización de datos en la etapa de Planeamiento  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.2.2 Digitalización en la Etapa de la Programación

En la etapa de programación, la digitalización se realizará a través del aplicativo programado en Excel, se actualizará de ser el caso el Plan Maestro o se confirmará el plan maestro que se generó al crear el proyecto, además se generara un LookAhead, plan Semanal, plan Diario y además se podrán asignar y levantar restricciones.



Figura N° 3.33 Digitalización de datos en la etapa de Programación  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.2.3 Digitalización en la Etapa de Ejecución

En la etapa de ejecución, la digitalización se realiza a través del aplicativo Android, se subirá el avance diario, las tareas cumplidas y en caso de no cumplir se asignará la causa de no cumplimiento de la tarea, uso de recursos y además se podrá asignar nuevas restricciones y/o levantar restricciones.



Figura N° 3.34 Digitalización de datos en la etapa de Ejecución  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 3.2.4 Digitalización en la Etapa de Seguimiento y Control

En la etapa de seguimiento y control, la digitalización se realizará a través del aplicativo Excel, se podrá obtener el reporte de avance diario, reporte de tareas cumplidas (PPC), reporte de causas de no cumplimiento, reporte de productividad de recursos, curva S de avance, reporte de restricciones.



Figura N° 3.35 Digitalización de datos en la etapa de Seguimiento y Control  
(Fuente: Elaboración Propia)

## CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE APLICATIVO Y BASE DE DATOS

### 4.1 Desarrollo Base de Datos

Para el desarrollo de la base de datos, se utilizó el sistema MySQL, el cual almacena datos relacionales en múltiples tablas. Para el diseño de la base de datos se tomó en cuenta que datos se desea digitalizar y además distintos criterios que a continuación se presenta.

- En una estructura de desglose de trabajo típica, en la gran mayoría de obras tenemos: Proyectos, frentes, fases, procesos y operaciones, para poder definir una actividad en un proyecto esta debe estar definida por una operación, la cual estará dentro de un proceso, dentro de una fase, dentro de un frente y de un Proyecto; además si queremos controlar ciertos recursos críticos, tales como algún material, equipo o mano de obra, estos deben estar relacionado a una operación específica. Con esta idea, se crea una lista de catálogos de los ítems mencionados que puedan ser reutilizados en los distintos proyectos. Se creo una tabla Paquete de Proyectos, el cual nos servirá para poder agrupar proyectos de un mismo tipo, por ejemplo, como paquete de Proyectos podemos definir Edificaciones, dentro de edificaciones creamos todos los proyectos de edificaciones. En el cual también se agruparán los distintos frentes y fases de Proyecto. Por otro lado, siguiendo el mismo criterio se crean los procesos, operaciones, materiales y equipos de los proyectos (véase Figura N°4.1).
- Lo anterior nos servirá para guardar los distintos ítems en catálogos, pero aún no se le ha asignado a un proyecto, esta etapa se realizará una vez realizado el proceso de planeamiento, para definir tareas y recursos a controlar dentro de un proyecto, asignamos primero frentes y las distintas operaciones, además definimos que materiales, equipos y mano de obra se controlará en cada proyecto. Esto lo podemos ver en la Fig. N°4.2, donde se muestra la relación entre proyectos, frentes del proyecto, detalle de operaciones del proyecto (donde se detallará la fecha de inicio y fin meta, el costo directo de cada operación, entre otros), control de materiales, control de equipos y control de mano de obra, donde se debe definir el ratio meta de cada recurso.

- Para almacenar los datos referentes a la metodología last planner, se almacenan los planes maestros, lookAhead, plan semanal y plan diario además se almacenan las restricciones, cumplimiento diario y las causas de no cumplimiento (Figura N°4.3 y N°4.4).
- Para el control de la producción con la metodología propuesta, se digitaliza como muestra la figura N°4.5, en el cual se muestra las tablas a rellenar cuando se controla la mano de obra, la figura N°4.6 muestra las tablas utilizadas para el control de equipos y la figura N°4.7 muestra las tablas utilizadas para el control de materiales.

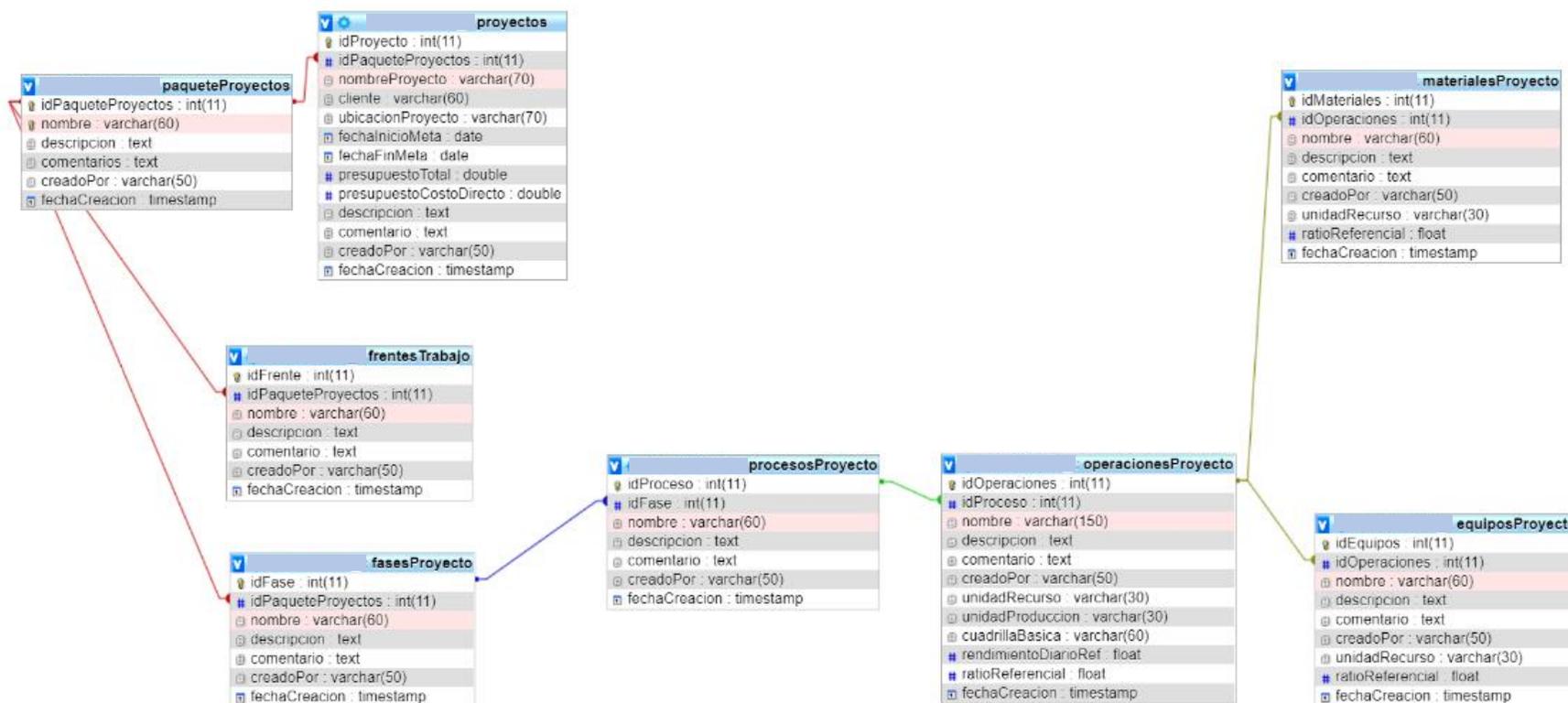


Figura N° 4.1 Modelo Físico de la Estructura de Trabajo típicas en obras de construcción (Paquete Proyectos, proyectos, frentes Trabajo y fases Proyecto)  
(Fuente: Elaboración Propia)

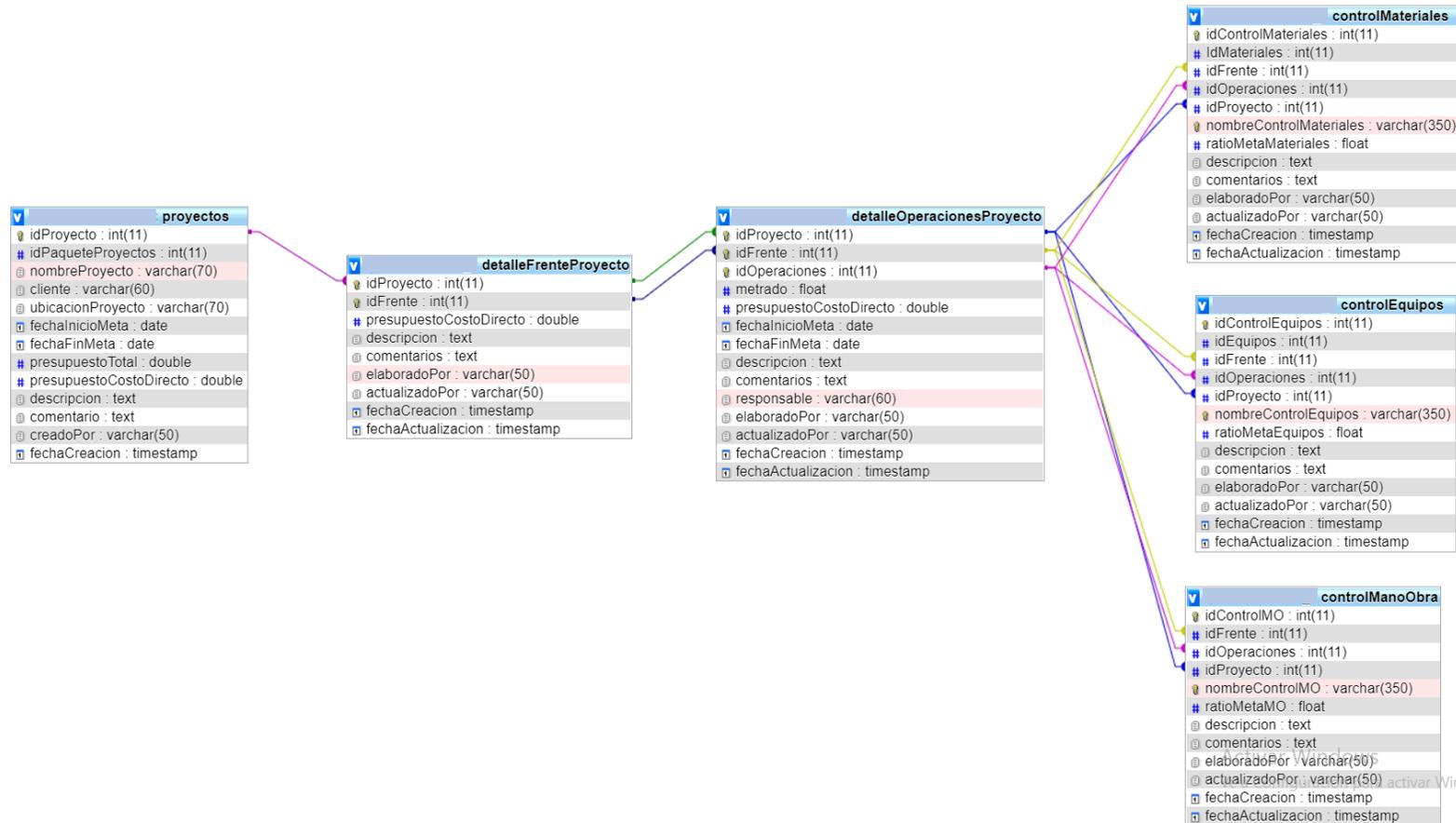


Figura N° 4.2 Modelo Físico de los principales ítems obtenidos en el proceso de Planeamiento  
(Fuente: Elaboración Propia)

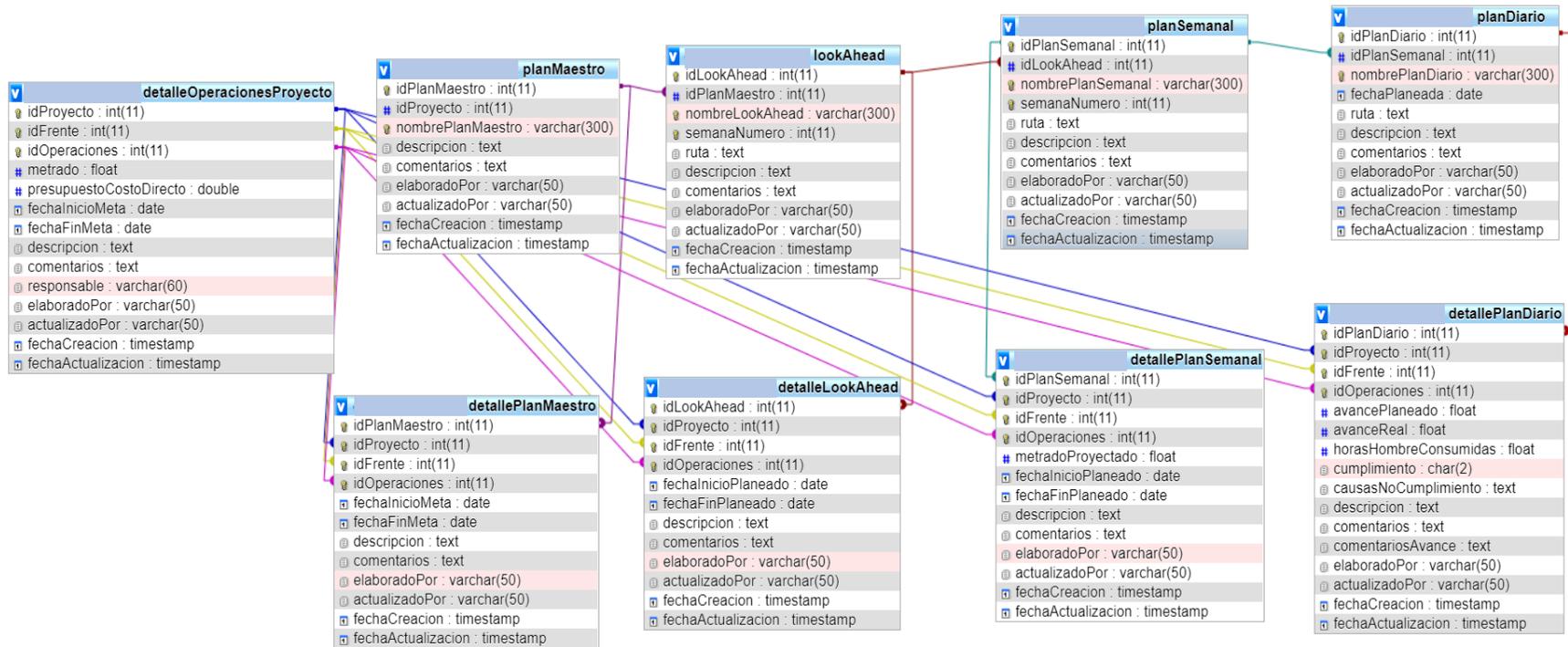


Figura N° 4.3 Modelo Físico de los principales ítems del Last Planner System (Plan Maestro, LookAhead, Plan Semanal y Plan Diario)  
(Fuente: Elaboración Propia)

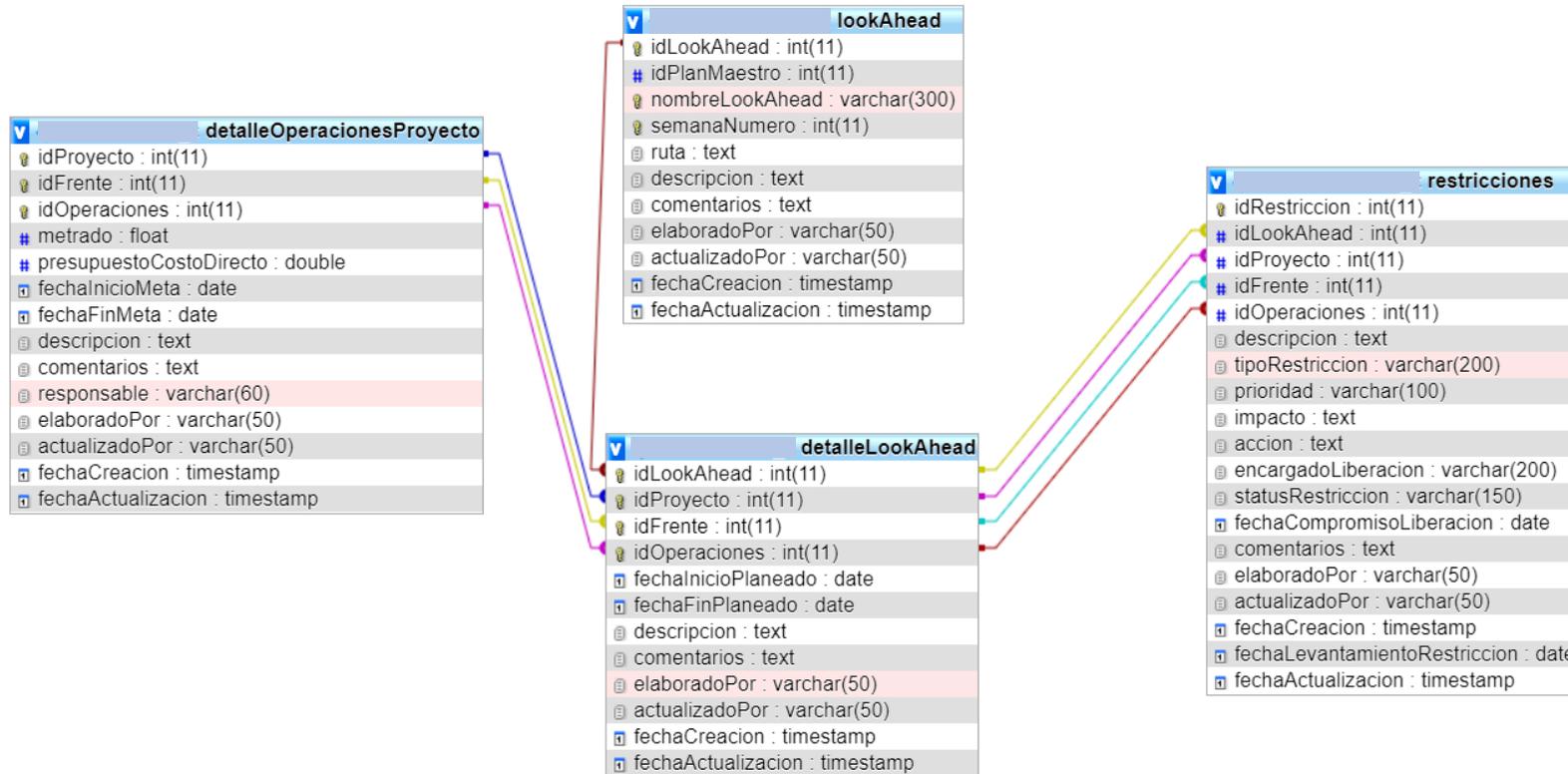


Figura N° 4.4 Modelo Físico que muestra la relación entre operación del Proyecto, LookAhead y las restricciones que pueden asignarse.  
(Fuente: Elaboración Propia)

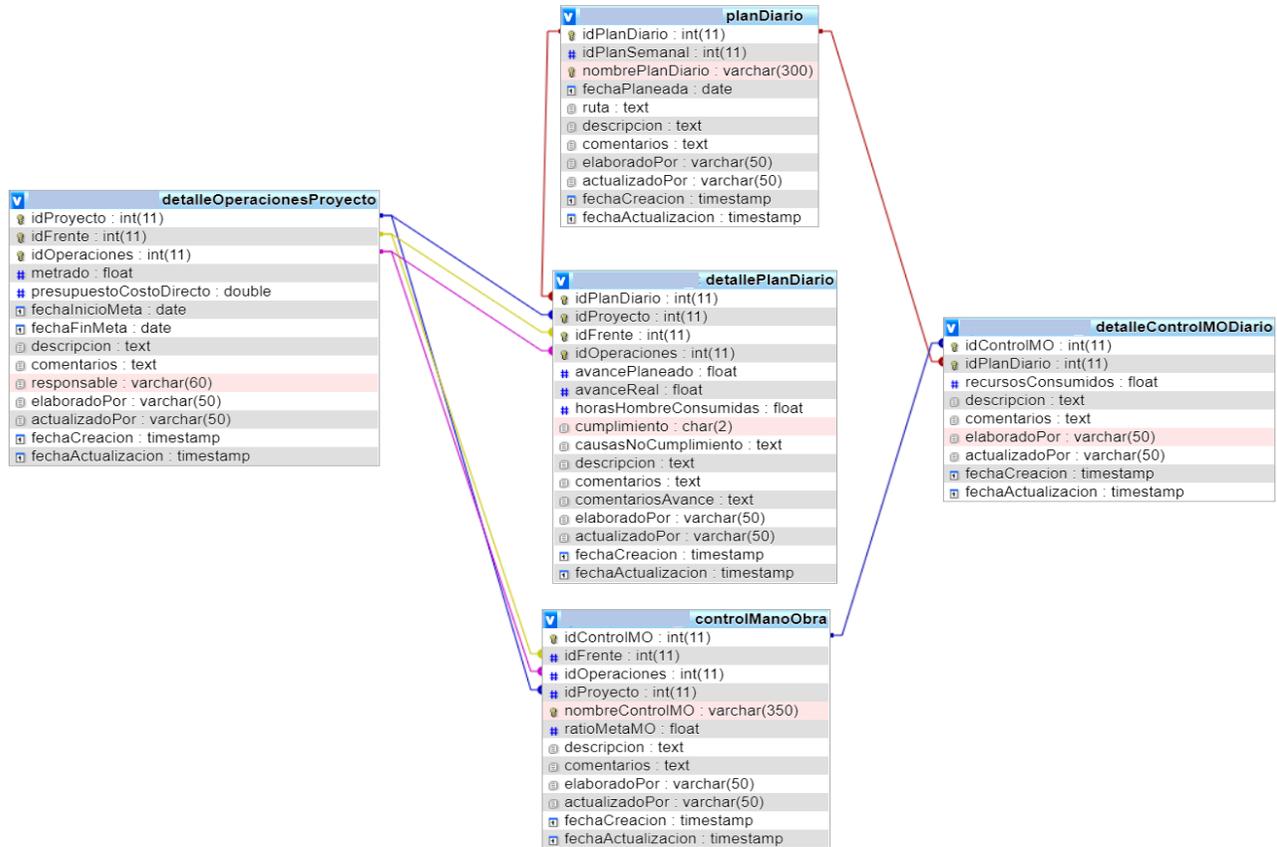


Figura N° 4.5 Modelo Físico que muestra las tablas utilizadas para controlar la mano de obra  
(Fuente: Elaboración Propia)

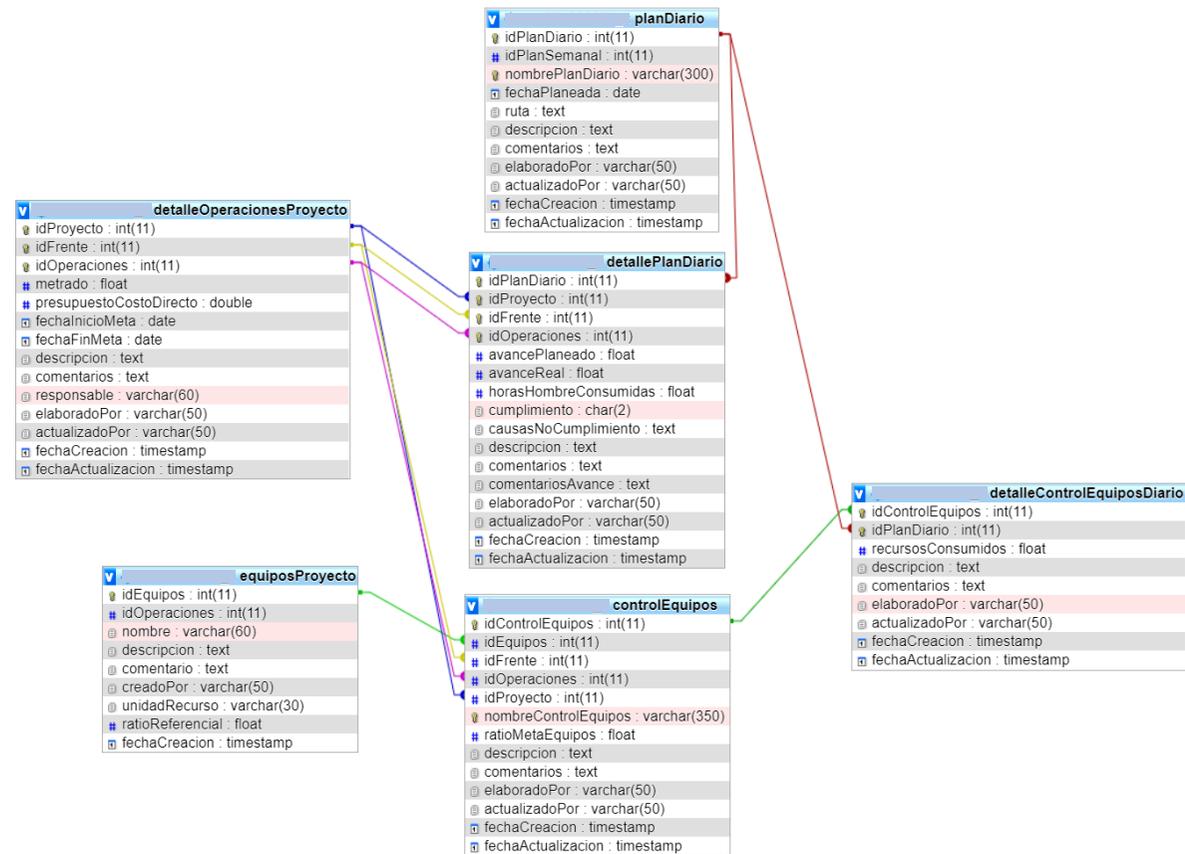


Figura N° 4.6 Modelo Físico que muestra las tablas utilizadas para controlar equipos  
(Fuente: Elaboración Propia)

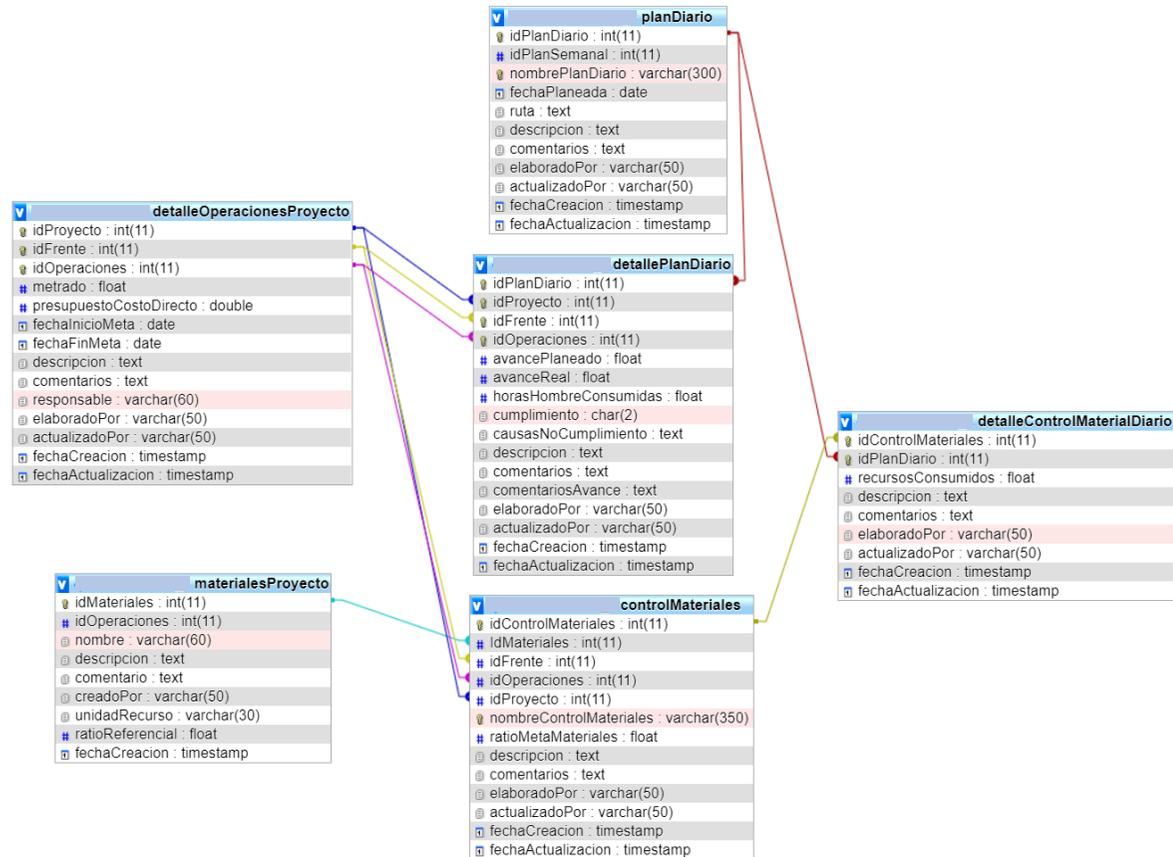


Figura N° 4.7 Modelo Físico que muestra las tablas utilizadas para controlar materiales  
(Fuente: Elaboración Propia)

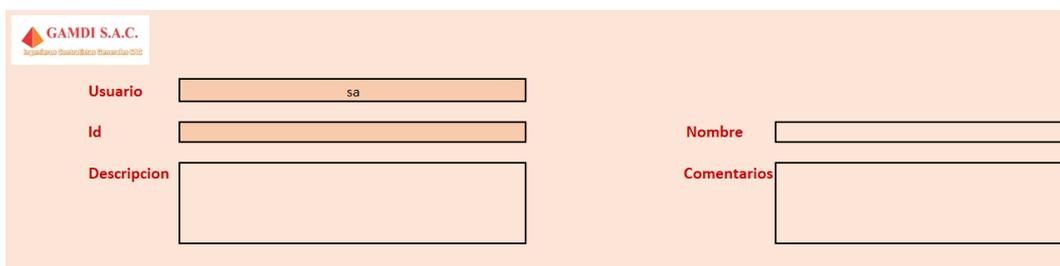
## 4.2 Desarrollo de Aplicativo Excel VBA

El aplicativo desarrollado en Excel con el lenguaje VBA, se elaboró para el planeamiento, programación y control de la producción.

Excel, al ser una de las herramientas más populares para el análisis de datos, tiene incorporado funciones y procedimientos para realizar peticiones HTTP, se utiliza el objeto XmlHttpRequest, el cual nos permite realizar peticiones mediante web services creadas, que nos servirán para que los usuarios por el lado del cliente realicen peticiones al servidor. Dentro de las peticiones posibles están las que se utilizan para el mantenimiento de las bases de datos (insertar, actualizar, consultar y eliminar datos).

Se creo un libro Catálogos del Proyecto, que nos permitirá crear, actualizar y mostrar los paquetes de proyectos, frentes de trabajo, fases de proyecto, proceso, operaciones, materiales y equipos. Este es el paso previo al planeamiento, ya que, por ejemplo, no se podrá asignar una operación al proyecto que no exista en los catálogos creados.

En la Figura N°4.8, se muestra los atributos de la tabla Paquete de Proyectos, el cual tendrá un identificador, nombre, descripción, comentarios y un usuario creador. El identificador será generado automáticamente por el programa. Además, en el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos, crear un paquete de proyectos, mostrar todos los paquetes de proyectos existentes, modificar un paquete de proyectos, detalle (muestra el detalle de un paquete de proyectos), y limpiar (permite limpiar todos los campos).



Logo: GAMDI S.A.C. Empresas Constructoras Peruanas S.A.C.

Usuario	<input type="text" value="sa"/>	Nombre	<input type="text"/>
Id	<input type="text"/>	Comentarios	<input type="text"/>
Descripción	<input type="text"/>		

Figura N° 4.8 Atributos de la tabla Paquete de Proyectos  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.9, se muestra los atributos de la tabla Proyectos, el cual tendrá un identificador, nombre, cliente, ubicación, presupuesto total, presupuesto costo directo, fecha inicio meta, fecha fin meta, descripción y comentarios. Es obligatorio que el usuario rellene todos los campos al momento de crear. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: crear, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un proyecto.

Logo: GAMDI S.A.C. Ingeniería Constructora Saneadora S.C.

Id  IdPaqueteProyecto  NombrePaq.Proy

NombreProyecto  Cliente

Ubicación Proyecto  Presupuesto Total

PresupuestoCtoDir

Fecha Inicio Meta  Fecha Fin Meta

Descripción  Comentarios

Figura N° 4.9 Atributos de la tabla Proyectos  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.10, se muestra los atributos de la tabla Frente, el cual tendrá un identificador, nombre, descripción y comentarios a ingresar por el usuario. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: crear, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un frente.

Logo: GAMDI S.A.C. Ingeniería Constructora Saneadora S.C.

Id  Nombre Frente

IdPaqueteProyecto  NombrePaq.Proy

Descripción  Comentarios

Figura N° 4.10 Atributos de la tabla Frentes  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.11, se muestra los atributos de la tabla Fase, el cual tendrá un identificador, nombre, descripción y comentarios a ingresar por el usuario. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: crear, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de una fase.

Logo: GAMDI S.A.C. Ingeniería Constructora Saneamiento SCS

Id

Nombre Fase

IdPaqueteProyecto

NombrePaq.Proy

Descripcion

Comentarios

Figura N° 4.11 Atributos de la tabla Fases  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.12, se muestra los atributos de la tabla Procesos, el cual para su creación debe estar definido dentro de una fase y dentro de un paquete de proyectos. La tabla contendrá un identificador, nombre, descripción y comentarios. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: crear, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un proceso.

Logo: GAMDI S.A.C. Ingeniería Constructora Saneamiento SCS

Id

Nombre Proceso

IdPaqueteProyecto

NombrePaq.Proy

IdFase

NombreFase

Descripcion

Comentarios

Figura N° 4.12 Atributos de la tabla Procesos  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.13, se muestra los atributos de la tabla Operaciones, el cual para su creación debe estar definido dentro un proceso, fase y paquete de proyectos. La tabla contendrá un identificador, nombre, unidad de recurso (es una unidad de medición del recurso a emplear para desarrollar la operación), unidad de producción (es la unidad de medición del avance), cuadrilla básica (es la cuadrilla mínima a la cual se puede realizar la actividad), rendimiento diario referencial (es el avance diario que puede realizar la cuadrilla básica referencial de la operación), ratio referencial (es el recurso consumido entre la producción ejecutada), descripción y comentarios. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: crear, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de una operación.

Logo: GAMDI S.A.C. - Ingeniería Consultoría y Construcción S2S

<b>Id</b>	<input type="text"/>	<b>Nombre Operación</b>	<input type="text"/>
<b>IdPaqueteProyecto</b>	<input type="text"/>	<b>NombrePaq.Proy</b>	<input type="text"/>
<b>IdFase</b>	<input type="text"/>	<b>NombreFase</b>	<input type="text"/>
<b>IdProceso</b>	<input type="text"/>	<b>Nombre Proceso</b>	<input type="text"/>
<b>Unidad Recurso</b>	<input type="text"/>	<b>Unidad Produccion</b>	<input type="text"/>
<b>Rendimiento Diario Referencial</b>	<input type="text"/>	<b>Ratio Referencial</b>	<input type="text"/>
<b>Descripcion</b>	<input type="text"/>		<b>Comentarios</b>
		<b>Cuadrilla Basica</b>	<input type="text"/>

Figura N° 4.13 Atributos de la tabla Operaciones  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.14 se muestra los atributos de la tabla Materiales, el cual para su creación debe estar definido dentro de una operación, proceso, fase y paquete de proyecto. La tabla contendrá un identificador, nombre, unidad de recurso (unidad de medición del material utilizado, por ejemplo: bolsas de cemento, m3 de arena gruesa, etc.), unidad de producción (unidad asignada a la operación), ratio referencial (recurso consumido entre la producción ejecutada), descripción y comentarios. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: crear, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un material.

Logo: GAMDI S.A.C. - Ingeniería Consultoría y Construcción S2S

<b>Id</b>	<input type="text"/>	<b>Nombre Materiales</b>	<input type="text"/>
<b>IdPaqueteProyecto</b>	<input type="text"/>	<b>NombrePaq.Proy</b>	<input type="text"/>
<b>IdFase</b>	<input type="text"/>	<b>NombreFase</b>	<input type="text"/>
<b>IdProceso</b>	<input type="text"/>	<b>Nombre Proceso</b>	<input type="text"/>
<b>IdOperacion</b>	<input type="text"/>	<b>Nombre Operación</b>	<input type="text"/>
<b>Unidad Recurso</b>	<input type="text"/>	<b>Unid Prod</b>	<input type="text"/>
<b>Descripcion</b>	<input type="text"/>		<b>Ratio Referencial</b>
		<b>Comentarios</b>	<input type="text"/>

Figura N° 4.14 Atributos de la tabla Materiales  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.15, se muestra los atributos de la tabla Equipos, el cual para su creación debe estar definido dentro de una operación, proceso, fase y paquete de proyecto. La tabla contendrá un identificador, nombre, unidad de recurso (unidad de medición utilizado generalmente horas maquina), ratio referencial (recurso consumido entre la producción ejecutada), descripción y comentarios. En el

aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: crear, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un equipo.

The screenshot shows a form for 'Equipos' with the following fields:

- Id**: Text input field
- Nombre Equipos**: Text input field
- IdPaqueteProyecto**: Text input field
- NombrePaq,Proy**: Text input field
- IdFase**: Text input field
- NombreFase**: Text input field
- IdProceso**: Text input field
- Nombre Proceso**: Text input field
- IdOperacion**: Text input field
- Nombre Operación**: Text input field
- Unidad Recurso**: Text input field
- Unid Prod**: Text input field
- Ratio Referencial**: Text input field
- Descripción**: Large text area
- Comentarios**: Large text area

Figura N° 4.15 Atributos de la tabla Equipos  
(Fuente: Elaboración Propia)

Se creó un libro Planeamiento, el cual nos permitirá asignar al nuevo proyecto los diferentes ítems necesarios para la programación y control de la producción. No se podrá programar o controlar alguna operación que no se haya asignado en el proceso de planeamiento.

En el libro Planeamiento se utilizarán los distintos ítems almacenados en catálogos en el libro anterior. Primero debemos asignar los distintos frentes que tendrá el proyecto, como vemos en la figura N°4.16, se debe asignar un frente del catálogo de frentes y además añadirle una descripción, comentarios y el costo directo. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: agregar frente al proyecto, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un frente del proyecto.

The screenshot shows a form for 'Frentes del Proyecto' with the following fields:

- IdProyecto**: Text input field
- Nombre Proyecto**: Text input field
- IdFrente**: Text input field
- Nombre Frente**: Text input field
- Descripción**: Large text area
- Comentarios**: Large text area
- Elaborado Por**: Text input field
- Presupuesto Cto Directo**: Text input field

Figura N° 4.16 Atributos de la tabla Frentes del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.17, se muestra los atributos que contendrá la tabla Operaciones del Proyecto, el cual debe asignarse una operación del catálogo de operaciones y además añadirle el metrado, costo directo, fecha inicio meta, fecha fin meta, descripción y comentarios. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: agregar operación al proyecto, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de una operación del proyecto.

GAMDI S.A.C.  
Ingeniería Consultoría y Construcción S2C

IdProyecto  Nombre Proyecto

IdFrente  Nombre Frente

IdFase  Nombre Fase

IdProceso  Nombre Proceso

IdOperacion  Nombre Operación

Metrado  Presupuesto Costo Directo  Unidad Produccion

Fecha Inicio Meta  Fecha Fin Meta

Descripcion  Comentarios

Figura N° 4.17 Atributos de la tabla Operaciones del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.18, se muestra los atributos que contendrá la tabla Control Mano de Obra del proyecto, el cual se debe asignar a una operación del proyecto, no se podrá asignar a una operación que no haya sido asignada al proyecto, además se debe añadir un nombre, el ratio meta (esto nos servirá para el control de la productividad), una descripción y comentario. En el aplicativo se podrá realizar los

GAMDI S.A.C.  
Ingeniería Consultoría y Construcción S2C

IdControlMO  Nombre Control MO

IdProyecto  Nombre Proyecto

IdFrente  Nombre Frente

IdFase  Nombre Fase

IdProceso  Nombre Proceso

IdOperacion  Nombre Operación

Ratio Meta MO  Unidad Produccion  Unidad Recurso

Descripcion  Comentarios

Figura N° 4.18 Atributos de la tabla Control Mano de Obra del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

siguientes procedimientos: agregar control mano de obra al proyecto, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un control mano de obra del proyecto.

En la figura N°4.19, se muestra los atributos que contendrá la tabla Control Materiales del proyecto, el cual se debe asignar a un material del proyecto y este debe pertenecer a una operación. Además, se debe asignar un nombre, un ratio meta (esto para realizar el control de materiales críticos), una descripción y comentarios. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: agregar un control de material al proyecto, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un control material del proyecto.

GAMDI S.A.C.  
Ingeniería de Software y Sistemas de Información

IdControlMat	<input type="text"/>	Nombre Control Materiales	<input type="text"/>
IdProyecto	<input type="text"/>	Nombre Proyecto	<input type="text"/>
IdFrente	<input type="text"/>	Nombre Frente	<input type="text"/>
IdFase	<input type="text"/>	Nombre Fase	<input type="text"/>
IdProceso	<input type="text"/>	Nombre Proceso	<input type="text"/>
IdOperacion	<input type="text"/>	Nombre Operación	<input type="text"/>
idMaterial	<input type="text"/>	Nombre Material	<input type="text"/>
Ratio Meta Mat	<input type="text"/>	Unidad Prod	<input type="text"/>
		Unidad Recurso	<input type="text"/>
Descripción	<input type="text"/>		Comentarios
	<input type="text"/>		<input type="text"/>

Figura N° 4.19 Atributos de la tabla Control Materiales del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.20, se muestra los atributos que contendrá la tabla control de equipos del proyecto, el cual se debe asignar a un equipo del proyecto y este debe pertenecer a una operación. Además, se debe asignar un nombre, un ratio meta (esto para realizar el control de equipos críticos del proyecto), una descripción y comentarios. En el aplicativo se podrá realizar los siguientes procedimientos: agregar control de equipos al proyecto, mostrar lista, modificar y mostrar detalle de un control de equipos del proyecto.

The image shows a web form titled 'Control Equipos del Proyecto' with the following fields:

- IdControl Equipos**: Text input field
- Nombre Control Equipos**: Text input field
- IdProyecto**: Text input field
- Nombre Proyecto**: Text input field
- IdFrente**: Text input field
- Nombre Frente**: Text input field
- IdFase**: Text input field
- Nombre Fase**: Text input field
- IdProceso**: Text input field
- Nombre Proceso**: Text input field
- IdOperacion**: Text input field
- Nombre Operación**: Text input field
- idEquipos**: Text input field
- Nombre Equipos**: Text input field
- Ratio Meta Equipos**: Text input field
- Unidad Prod**: Text input field
- Unidad Recurso**: Text input field
- Descripcion**: Large text area
- Comentarios**: Large text area

Figura N° 4.20 Atributos de la tabla Control Equipos del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

Se creo un libro Programación, el cual nos permitirá programar según la metodología Last Planner, se creará y actualizará constantemente, los planes maestros, lookAhead, planes semanales y planes diarios. Cabe recalcar que el programa nos ayudará a ordenar y digitalizar los datos obtenidos al desarrollar la metodología Last Planner, el programa no está orientado a obtener cronogramas, planes semanales, planes diarios, se sobreentiende que, una vez obtenido el plan maestro, se procederá a digitalizar dicho plan en el programa, al igual con el lookAhead, plan semanal y plan diario.

En la figura N°4.21, se muestra los atributos de la tabla Plan Maestro, el cual tendrá un identificador, nombre del plan maestro, una descripción y comentario. Además, también se tiene una tabla detalle Plan Maestro, el cual tendrá un conjunto de operaciones del proyecto, los cuales tendrán una fecha inicio meta, fecha fin meta, descripción y comentarios. Para añadir operaciones al plan maestro debe conocerse el identificador de la operación y del frente que pertenece. En el aplicativo se podrá crear un plan maestro, crear detalles del Plan Maestro, actualizar detalles del plan maestro y listar un plan maestro del proyecto.

The screenshot shows a web form for 'Plan Maestro' with the following fields: 'IdPlan Maestro', 'Nombre Plan Maestro', 'Descripción', and 'Comentario'. Below the form is a table with the following columns: 'Id Frente', 'Id Operación', 'Nombre Frente', 'Nombre Fase', 'Nombre Operación', 'Fecha Inicio Meta', 'Fecha Fin Meta', 'Descripción', and 'Comentarios'.

Figura N° 4.21 Atributos de la tabla Plan Maestro y Detalle del Plan Maestro  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.22, se muestra los atributos de la tabla LookAhead, cabe recalcar este debe estar definido dentro de un plan maestro, el cual tendrá un identificador, nombre del LookAhead, un numero de semana, una descripción y comentario. Además, se tiene una tabla detalle LookAhead, el cual tendrá un conjunto de operaciones del proyecto, los cuales tendrán un metrado, unidad de producción (recordemos que en el planeamiento a las operaciones del proyecto se les definió un metrado y unidad de producción), fecha Inicio Planeado, fecha Fin Planeado, descripción y comentario. Para añadir operaciones al LookAhead se deberá conocer el identificador de la operación y del frente que pertenece y solo podrá añadirle fecha Inicio Planeado, fecha Fin Planeado, descripción y comentario. En el aplicativo se podrá crear un lookAhead, crear detalles del LookAhead, actualizar detalles del plan maestro y listar un plan maestro del proyecto.

The screenshot shows a web form for 'LookAhead' with the following fields: 'Id LookAhead', 'LookAhead', 'IdPlan Maestro', 'Nombre Plan Maestro', 'Semana Numero', 'Descripción', and 'Comentario'. Below the form is a table with the following columns: 'Id Frente', 'Id Operación', 'Nombre Frente', 'Nombre Fase', 'Nombre Operación', 'Metrado', 'Unid Produccion', 'Fecha Inicio Plan', 'Fecha Fin Plan', 'Descripción', and 'Comentarios'.

Figura N° 4.22 Atributos de la tabla LookAhead y Detalle LookAhead del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.23, se muestra los atributos de la tabla Plan Semanal, el cual estará definido dentro de un lookAhead y tendrá un identificador, nombre del plan semanal, un numero de semana, descripción y comentarios. Además, se tiene una tabla detalles del Plan Semanal, el cual tendrá un conjunto de operaciones, que tendrán un metrado proyectado, fecha inicio planeado, fecha fin planeado, una descripción y comentario. Para añadir operaciones al plan semanal, se tendrá que conocer el identificador de la operación y del frente que pertenece, y solo se podrá añadirle un metrado proyectado, fecha inicio planeado, fecha fin planeado, descripción y comentarios.

Figura N° 4.23 Atributos de la tabla Plan Semanal y Detalle Plan Semanal del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.24, se muestra los atributos de la tabla Plan Diario, el cual estará definido dentro de un Plan Semanal y tendrá un identificador, un nombre del plan diario, una fecha, descripción y comentarios. Además, se tiene una tabla detalles del Plan Diario, el cual tendrá un conjunto de operaciones, que tendrán un avance planeado, descripción y comentarios. Para añadir operaciones al plan diario, se tendrá que conocer el identificador de la operación y del frente que pertenece, y solo se podrá añadirle un avance planeado, una descripción y comentarios.

Figura N° 4.24 Atributos de la tabla Plan Diario y Detalle Plan Diario del Proyecto  
(Fuente: Elaboración Propia)

Se creo un libro Tareas, el cual nos permitirá dar seguimiento al cumplimiento de las tareas ejecutadas, a las tareas con restricciones, al avance de las tareas, etc. Este libro nos sirve para el análisis de las tareas ejecutadas. Además, se podrá subir cumplimiento diario referente al avance, control de mano de obra, materiales y equipos.

En la figura N°4.25, se muestra los distintos procedimientos que se podrá realizar de manera diaria, tales como subir cumplimiento y avance, subir control mano de obra, materiales y equipos. Solo se podrá controlar las operaciones programadas en el día.

Figura N° 4.25 Principales Procedimientos para el control diario de productividad  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.26, se muestra el detalle del plan semanal que se puede obtener, se selecciona el plan semanal que se quiera visualizar y nos mostrara el avance real de la semana, el % cumplimiento diario y el % cumplimiento semanal.

Id Frente	IdOperación	Nombre Frente	Nombre Fas	Nombre Operació	Fecha Inicio	Fecha Fir	Metrado Proyectado	Avance Real Semana	Unidad Producció	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
-----------	-------------	---------------	------------	-----------------	--------------	-----------	-----------------------	-----------------------	---------------------	-------------------------	--------------------------

Figura N° 4.26 Detalle del Plan Semanal a obtenerse  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.27, se muestra el detalle del LookAhead que se puede obtener, se selecciona el lookAhead que se quiera visualizar y nos mostrara la fecha inicio planeado, el metrado, unidad de producción y si tiene restricción o no la operación.

Id Frente	Id Operació	Nombre Frente	Nombre Fas	Nombre Operació	Fecha Inicio Planeado	Metrado	Unidad Producció	Restricció	Status Restricció
-----------	-------------	---------------	------------	-----------------	--------------------------	---------	---------------------	------------	----------------------

Figura N° 4.27 Detalle del LookAhead a obtenerse  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.28, se muestra la tabla restricciones, el cual se le debe asignar a una operación del proyecto, entre los atributos de la tabla tenemos un identificador, fecha inicio planeado, fecha fin planeado, descripción, tipo de restricción, prioridad, impacto, acción, responsable de la liberación y fecha compromiso a liberar. En el aplicativo se podrá listar todas las restricciones existentes, actualizar alguna restricción y levantar alguna restricción.

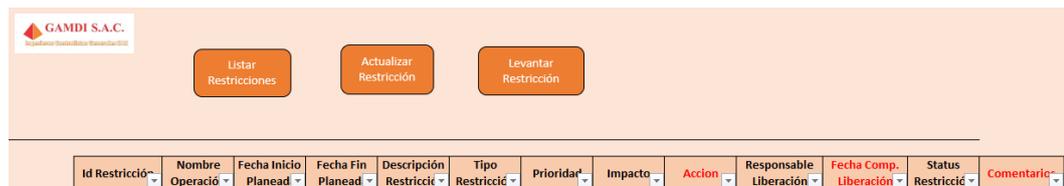


Figura N° 4.28 Atributos de la Tabla Restricciones  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.29, se muestra la tabla de avance real que se puede obtener con el aplicativo.

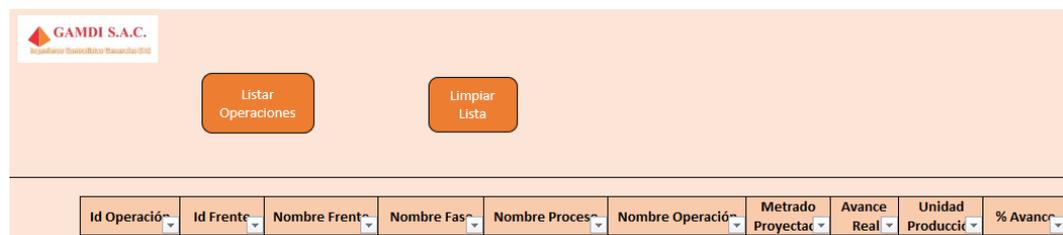


Figura N° 4.29 Detalle de la Tabla Avance Real, en el cual se puede obtener el avance en tiempo real de la obra  
(Fuente: Elaboración Propia)

Se creó un libro de Control de Proyecto, el cual nos servirá para monitorear constantemente el desempeño del proyecto, se controlará el uso de los recursos críticos, como el avance del proyecto, los indicadores de la metodología last planner, etc. Además, se podrá realizar consultas varias a la base de datos, según el reporte que se quiere realizar.

La figura N°4.30, nos muestra los distintos procedimientos que se puede realizar en la hoja Control de Avance, en el cual se puede generar el encabezado con las fechas, días, semanas y meses en el lapso de tiempo planeado en ejecutar el proyecto (ver figura N°4.31), además se actualiza las tablas, de tal manera que en tiempo real se pueda ver el porcentaje de avance de cada tarea y así tener actualizado la curva S y el histograma de PPC, también tenemos un botón que

permite actualizar la curva S y Grafica del PPC, además de un botón que permite limpiar toda la hoja.



Figura N° 4.30 Principales Procedimientos empleados en la hoja Control de Avance del Libro Control de Proyectos  
(Fuente: Elaboración Propia)

Mes	MAY	JUN	JUN	JUN	JUN	JUN	JUN
#Sem.	SEM23						
#Dias	1	2	3	4	5	6	7
Dia	L	M	X	J	V	S	D
Fecha	31-lu	01-ma	02-mi	03-ju	04-vi	05-sá	06-do
% Incidencia	Plan.	Real	Plan.	Real	Plan.	Real	Plan.

Figura N° 4.31 Ejemplo de Encabezado generado en la hoja Control de Avance del Libro Control de Proyectos  
(Fuente: Elaboración Propia)

La figura N°4.32, nos muestra los procedimientos empleados en la hoja Control de Materiales, en el cual podemos seleccionar el control de materiales a visualizar, podemos generar el encabezado donde se mostrara las fechas en el lapso de tiempo a ejecutar dicha operación en el cual se controlara el material, podemos actualizar los datos en tiempo real del consumo de dicho material , actualizar la grafica del reporte de control de materiales y limpiar la hoja, para seleccionar otro reporte algún otro material del proyecto. Del mismo modo se tiene una hoja Control de Mano de Obra y Control de Equipos.



Figura N° 4.32 Procedimientos a emplear en la hoja Control de Materiales del libro Control de Proyectos para obtener los reportes de consumos de materiales críticos  
(Fuente: Elaboración Propia)

Se mostrará con mayor detalle los reportes obtenidos en el capítulo VI y VII, cuando se implemente en un caso real.

### 4.3 Desarrollo de Aplicativo Android

El aplicativo Android que fue desarrollado en el lenguaje Kotlin, se utilizará en la etapa de ejecución para la digitalización del avance diario, subir el cumplimiento o no cumplimiento de las tareas, uso de recursos y también se podrá levantar, actualizar y asignar nuevas restricciones.

En la figura N°4.33, se muestra la página principal una vez iniciado sesión, se selecciona un proyecto e ingresamos al menú principal del aplicativo, el cual contiene los siguientes menús: cumplimiento (el cual permitirá listar las tareas a ejecutar en el día, y se podrá subir el cumplimiento o incumplimiento de esta, además del avance), control mano de obra (el cual permitirá asignar las horas hombres consumidas en las operaciones a controlar), control materiales( el cual permitirá asignar el uso de recursos tales como por ejemplo, bolsas de cemento utilizados en cierta operación), control equipos (el cual permitirá asignar el uso de horas maquinas en cierta operación), lookahead (el cual nos mostrara todas las operaciones guardadas en el lookahead de la semana actual, además de que se podrá asignar nuevas restricciones a cada operación), restricciones( el cual nos permite listar todas las restricciones del proyecto, además de levantar y actualizar restricciones), salir ( el cual nos permitirá salir de la ventana actual, y regresar a la ventana anterior) y cerrar sesión ( el cual nos permitirá salir de la sesión actual e ingresar con otro usuario).

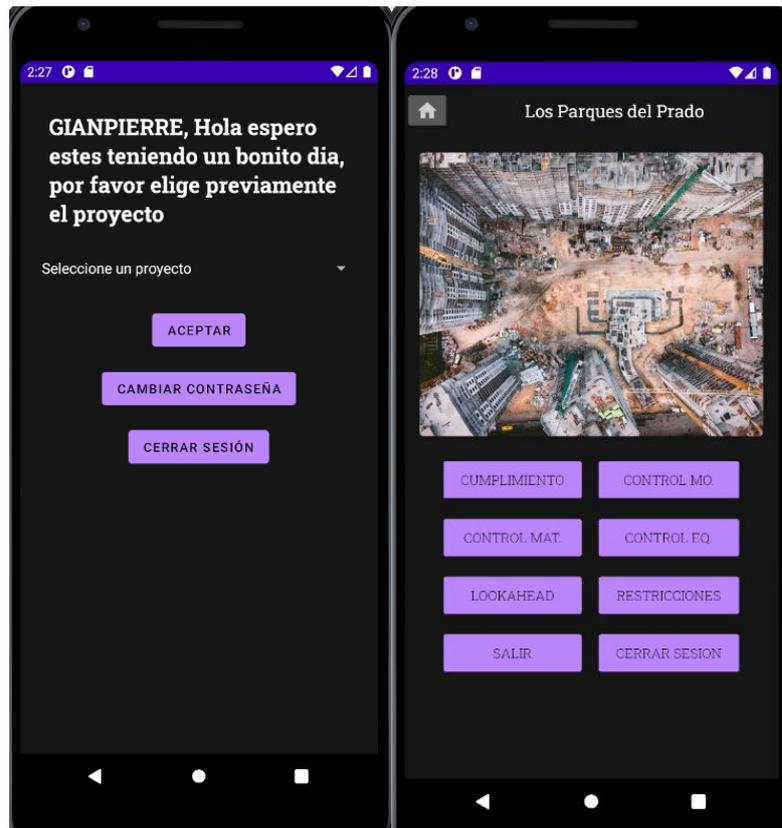


Figura N° 4.33 Página de Inicio y Pagina principal con los principales procedimientos que se pueden realizar en el aplicativo móvil.  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.34, se muestra la ventana que permitirá subir el cumplimiento o incumplimiento de una operación y el avance real, además también muestra la ventana que permitirá subir las horas hombre consumidas en cierta operación que se desea controlar la productividad. Una vez subido el cumplimiento o incumplimiento se podrá modificar, siempre y cuando sea en el mismo día, ya que siempre se listará las tareas programadas en el día, lo mismo con las horas hombres consumidas para controlar la mano de obra.

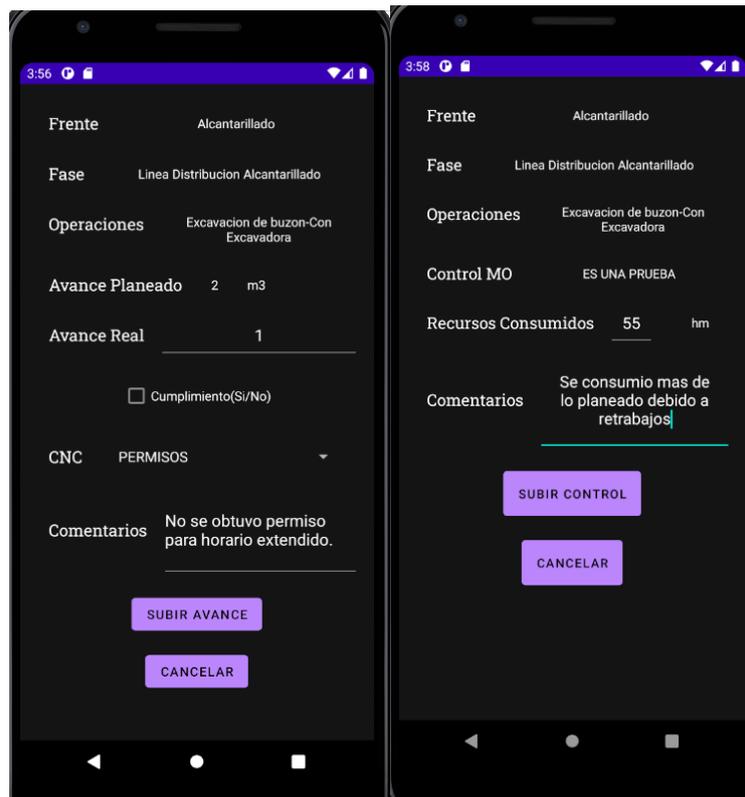


Figura N° 4.34 Página Subir Cumplimiento y Subir Control Mano de Obra  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.35, se muestra las ventanas para el control de materiales y equipos críticos, como se puede observar se sube los recursos consumidos, además se puede añadir comentarios por los cuales justifiquen u expliquen el uso de dichos recursos.

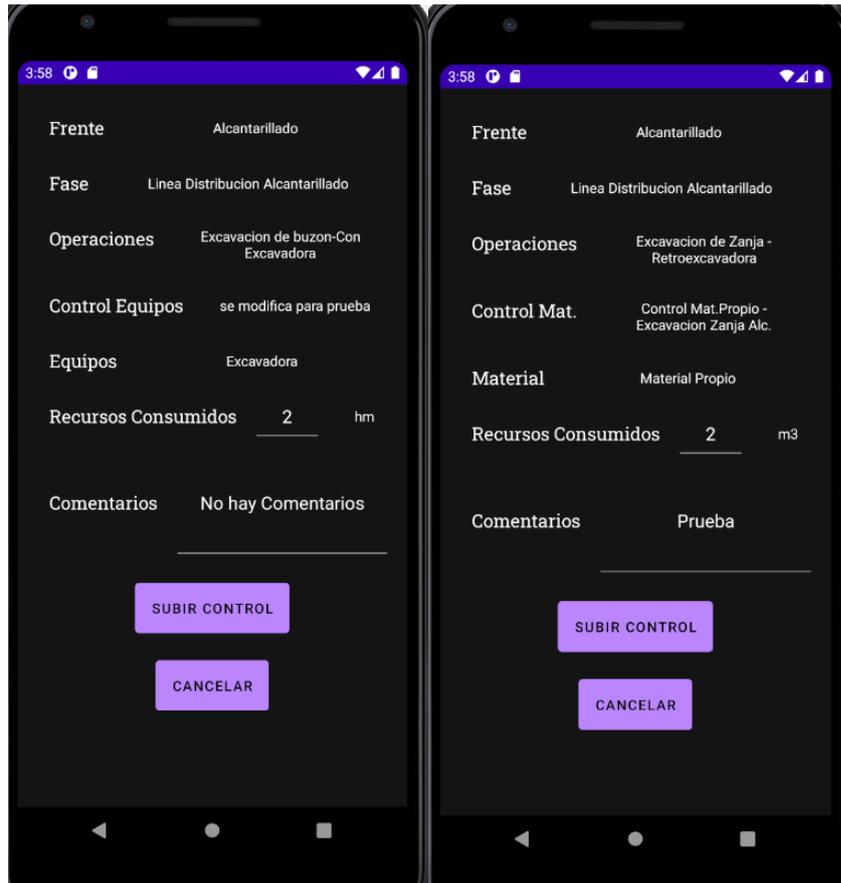


Figura N° 4.35 Página Subir Cumplimiento y Subir Control Materiales y Equipos  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.36, se muestra la ventana que lista las operaciones del lookAhead, indicando el status de cada operación mediante una gama de colores, rojo (operación con restricción sin levantar), amarillo (no se asignó restricción a la operación), verde (operación con restricción levantada), además se puede añadir restricción a cada operación como muestra la figura N°4.37.

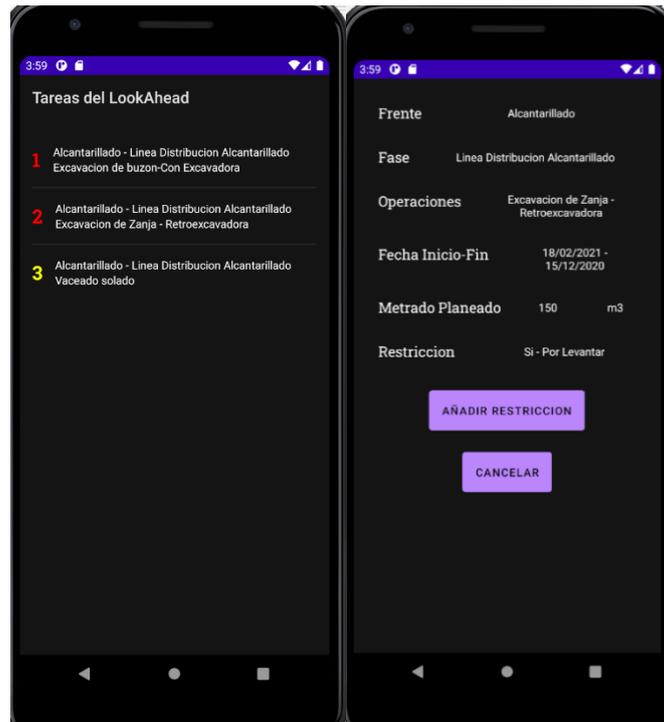


Figura N° 4.36 Página Tareas del LookAhead y Detalle de Tareas del LookAhead  
(Fuente: Elaboración Propia)

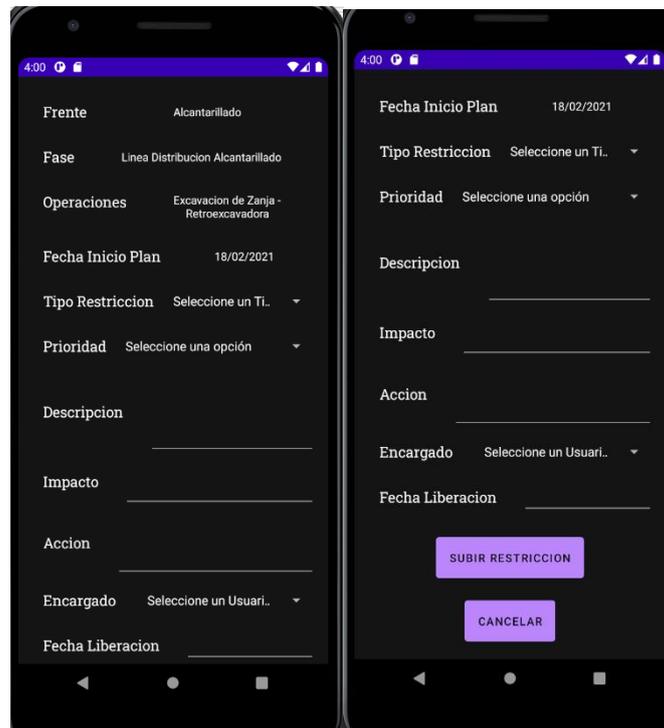


Figura N° 4.37 Página Detalle de Restricción a asignar  
(Fuente: Elaboración Propia)

En la figura N°4.38, se muestra la ventana restricciones del proyecto, el cual permite listar las restricciones del proyecto además de actualizar y levantar restricciones en cualquier momento.

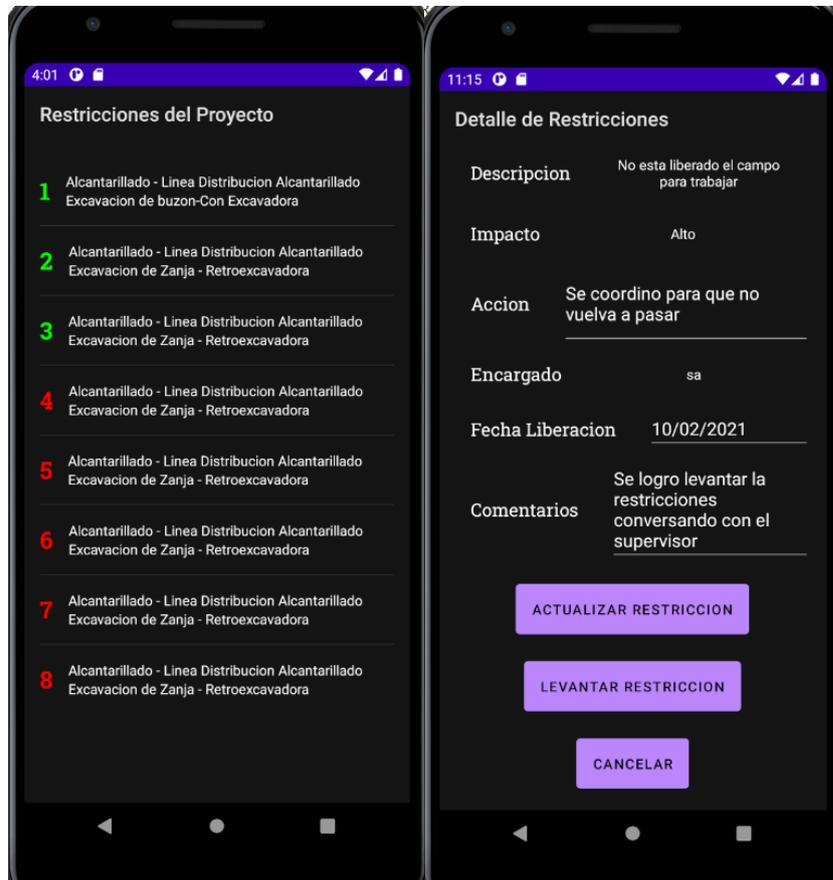


Figura N° 4.38 Página Restricciones del Proyecto y Detalle de Restricciones de cierta Operación  
(Fuente: Elaboración Propia)

## CAPÍTULO V: SIMULACIÓN DE TOMA DE DATOS DE CAMPO

La simulación de toma de datos nos ayudará a validar el funcionamiento óptimo del aplicativo, esto nos servirá como paso previo a la producción e implementación del aplicativo en una obra real. Para ello digitalizaremos los datos de campo de una obra pequeña que a continuación se describirá

El 02 de marzo del 2021 se inició la ejecución de la obra “Instalación de Red y Conexión Domiciliaria de Alcantarillado a beneficio de la Clínica Médica Cayetano Heredia S.A.”, ubicado en la Avenida Honorio Delgado N°370, en el distrito de San Martín de Porres, Provincia y Departamento de Lima. El alcance de dicha obra consistió en la ejecución de un colector de DN 200 mm PVC-U ISO 4435, Serie SN-2 a lo largo de la Av. Honorio Delgado, cuya descarga es hacia el buzón existente N°01, además de 01 conexión domiciliaria de DN 160mm, para el predio a servir, como muestra la Tabla N°5.1 y la Figura N°5.1.

Tabla 5.1: Metrado de Tubería, Conexiones y Buzones de Alcantarillado Instalados.  
(Fuente: Elaboración Propia)

<b>METRADO EJECUTADO</b>		
<b>DESCRIPCION</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Tubería de Alcantarillado DN 200mm PVC SN-2 Instaladas	m.	55.47
Conexiones domiciliarias instalada DN 160mm PVC	m.	3.15
Buzones Instalados	Unid.	02
Altura de buzones: Altura 1.20m a 2.00m = 02 Unid.		

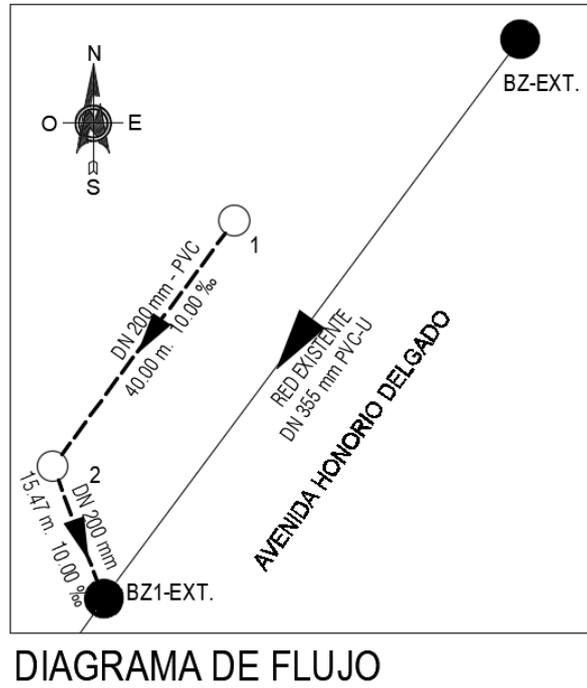


Figura N° 5.1 Esquema de diagrama de flujo de Red de Alcantarillado a instalar  
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 5.2 Porcentaje de Incidencia de Costo de los Principales Procesos de la obra Clínica Cayetano Heredia (Fuente: Elaboración Propia)

PROCESOS	Costo Directo(S/.)	Incidencia
MOVIMIENTO DE TIERRAS	8,693.02	24%
SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS	2,720.97	8%
BUZONES	4,427.79	12%
CONEXIONES DOMICILIARIAS DE ALCANTARILLADO	1,422.60	4%
VARIOS	18,626.52	52%
<b>TOTAL</b>	<b>35,890.90</b>	<b>100%</b>



Figura N° 5.2 Grafica de barras del Costo Directo de los Principales Procesos de la Obra Clínica Cayetano Heredia  
(Fuente: Elaboración Propia)

Como se muestra en la Figura N°5.2, los procesos más incidentes es el de movimiento de tierras y varios, en los cuales debemos enfocar nuestros mayores esfuerzos para controlar dichas partidas.

Para la simulación tomaremos en cuenta lo siguiente:

- La obra se ejecutó cuando aún no se culminaba el aplicativo móvil de digitalización de datos, por lo cual no se digitalizo los datos en tiempo real sino posterior a la ejecución.
- Para la digitalización del avance diario, subir cumplimiento y no cumplimiento de tareas se considera todas las tareas de la programación, para el control de productividad solo se considerará algunas operaciones, las más incidentes en el presupuesto.
- No se controlará la mano de obra, ya que las partidas más incidentes en el presupuesto se utilizó maquinaria pesada (retroexcavadora y minicargador), tampoco materiales ni equipos ya que no se llevó un control de ellos.

En los anexos se presentará, el cronograma meta de la obra, el presupuesto meta, plano as-built.

## 5.1 Resultados de la Simulación de Toma de Datos de Campo

- Se almaceno correctamente los catálogos de Paquete de Proyectos, frentes de Trabajos, fases de Proyecto, Procesos, Operaciones, Materiales y Equipos, utilizando el libro Catálogos del Proyecto para la creación del Proyecto “Clínica Cayetano Heredia”.

En la tabla N° 5.3 y N° 5.4, se puede observar la tabla Procesos y Operaciones del Proyecto almacenadas en la base de datos mediante el aplicativo Excel del Libro Catálogos del Proyecto, el cual es un procedimiento previo al planeamiento del proyecto, ya que como se mencionó anteriormente primero se debe almacenar en catálogos los frentes, fases, procesos, operaciones, materiales y equipos para en el proceso de planeamiento poder asignar a algún proyecto.

Tabla 5.3 Tabla Procesos de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenados en la base de datos  
(Fuente: Elaboración Propia)

	idProceso	idFase	nombre	descripcion
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	1	1	Obras Preliminares	Comprende las obras preliminares
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	2	2	Movimiento de Tierra Alcantarillado	Comprende excavacion, eliminacion de material, con...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	3	2	Buzones-Alcantarillado	Comprende la ejecucion y/o rehabilitacion de buzon...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	4	2	Tuberias y Accesorios Alcantarillado	Comprende las actividades de instalacion de tuberi...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	5	3	Movimiento de Tierra	Comprende la excavacion de zanja para el tendido d...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	6	3	Cajas de Registro-Alcantarillado	Comprende la instalacion de cajas de registro,buzo...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	7	3	Tuberias y Accesorios	Comprende el tendido de la tuberia y accesorios, a...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	8	6	Otros	Comprende la fase denominado como otros
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	9	4	Movimiento Tierras A.P	Comprende el proceso de movimiento de tierras de l...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	10	4	Tuberias y Accesorios A.P	Comprende la instalacion de la red secundaria de a...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	11	4	Valvulas y Grifos ContraIncendio	Comprende la instalacion de valvulas y los grifos ...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	12	5	Movimiento de Tierras C.D.A.P	Comprende el proceso de movimiento de tierras de l...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	13	5	Cajas de Medidor A.P	Comprende la instalacion de caja portamedidor y el...
<input type="checkbox"/> Editar <input type="checkbox"/> Copiar <input type="checkbox"/> Borrar	14	5	Tuberias y Accesorios C.D.A.P	Comprende la instalacion de la tuberia y acceso...

Tabla 5.4 Tabla Operaciones de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenados en la base de datos, donde se muestra solo algunas operaciones  
(Fuente: Elaboración Propia)

	idOperaciones	idProceso	nombre	descripcion	comentario	cre
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	1	Corte de Pavimento Flexible	Corte de pavimento flexible, con cortadora disco, ...	No hay comentarios por ahora	
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	1	Excavacion/Retiro de Pavimento-MiniCargador	Se considera el retiro de pavimento con el rotomar...	No hay comentarios por ahora	
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	1	Eliminacion de Pavimento	Se considera volquete de 18 m3 de capacidad y que ...	No hay comentarios por ahora	
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	4	2	Excavacion de buzón-Con RetroExcavadora	Se considera la excavacion de buzones con excavado...	Se actualizara para prueba/No se tiene los rendimi...	
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	5	2	Excavacion de Zanja - Retroexcavadora	Se considera excavacion de zanja con retroexcavado...	No hay comentarios	
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	6	2	Relleno controlado y compactacion con Mat.Proprio	Se considera relleno con mat propio y compactacion...	No hay comentarios	

- Se asigno correctamente los frentes, operaciones, materiales y equipos a controlar al proyecto “Clínica Cayetano Heredia”, mediante el libro Planeamiento. Como se muestra en la tabla N° 5.5, se tiene almacenado las operaciones del proyecto en la base de datos.

Tabla 5.5 Tabla Detalle de Operaciones de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenados en la base de datos, donde se muestra solo algunas operaciones  
(Fuente: Elaboración Propia)

Mostrando filas 0 - 24 (total de 35, La consulta tardó 0.0005 segundos.)

SELECT \* FROM 'detalleOperacionesProyecto' where idProyecto=3

Perfilando [Editar en línea] [Editar] [E]

1 > >> |  Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas:  | Ordenar según la clave: Ninguna

Opciones	idProyecto	idFrente	idOperaciones	metrado	presupuestoCostoDirecto	fechaInicioMeta	fechaFinMeta	descripcion
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	2	1	129.4	1035.2	2021-03-02	2021-03-02	Se utilizara la cortadora de pavimento, antes de i...
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	2	2	43.2	987.2	2021-03-02	2021-03-02	Se debe demoler toda la tarde
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	2	3	18	655.2	2021-03-03	2021-03-03	Se debe eliminar el pavimento demolido
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	2	4	10.05	527.79	2021-03-03	2021-03-04	Se debe replantar las profundidades y verificar pe...
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	2	5	111.06	1851	2021-03-03	2021-03-04	El topografo debe dejar la altura de excavacion pa...
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	2	6	43.19	2097.8	2021-03-09	2021-03-09	Se rellenara con material propio

- Se creo correctamente los planes diarios de la obra, los cuales están relacionados a un plan semanal, lookAhead y plan Maestro. Como se muestra la figura N°5.3, utilizando el libro programación se crea el plan

diario y además se asigna las operaciones a ejecutar con el avance planeado del día, para posteriormente verificar el cumplimiento de lo programado, además, como muestra la tabla N° 5.6, se almaceno correctamente los planes diarios generados en la base de datos del proyecto.

Id Frente	Id Operación	Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Unidad Productor	Avance Proyectado Semanal	Avance Planeado Dia	Descripción	Comentario
2	6	Alcantarillado	Linea Distribucion	Relleno controlado y compactaci	m2	43.19	25.19		
2	7	Alcantarillado	Linea Distribucion	Relleno y compactacion con Mat	m2	47.39	27.39		
2	26	Alcantarillado	Conexiones Dom	Instalacion de cajas de concreto	und	1	1		
2	28	Alcantarillado	Conexiones Dom	Refine, nivelación y colocacion di	ml	6	6		

Figura N° 5.3 Ejemplo de Plan Diario de la Obra Clínica Cayetano Heredia (Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 5.6 Tabla Plan Diario de la Obra Clínica Cayetano Heredia almacenado en la base de datos, donde se muestra solo algunos planes creados (Fuente: Elaboración Propia)

idPlanDiario	idPlanSemanal	nombrePlanDiario	fechaPlaneada	ruta	descripcion	comentarios
8	8	Plan Diario 03/03/2021 - CCH	2021-03-03	NULL	Plan Diario numero 2 del proyecto CCH	Dia dos
9	8	Plan Diario 04/03/2021 - CCH	2021-03-04	NULL	Plan Diario del dia numero 3	La meta es vacear el cuerpo de ambos buzones
10	8	Plan Diario 05/03/2021 - CCH	2021-03-05	NULL	Dia numero 4 de obra, se tiene como meta vacear el...	Se debe tener cuidado con la seguridad de los cie...
11	8	Plan Diario 06/03/2021 - CCH	2021-03-06	NULL	Se trabajara todo el dia a pesar que es dia sabado...	Se debe dejar la tubería listo para pasar prueba e...
12	9	Plan Diario 08/03/2021 - CCH	2021-03-08	NULL	Plan Diario del lunes de la 2da semana	Se debe pasar la prueba hidraulica de la red princ...
13	9	Plan Diario 09/03/2021 - CCH	2021-03-09	NULL	Plan Diario del dia 2 de la semana numero 2	No hay comentarios
14	9	Plan Diario 10/03/2021 - CCH	2021-03-10	NULL	Plan Diario del miercoles de la semana numero ...	No hay comentarios
15	9	Plan Diario 12/03/2021 - CCH	2021-03-12	NULL	Plan Diario del dia viernes de la semana numero 2	No hay comentarios
16	9	Plan Diario 13/03/2021 - CCH	2021-03-13	NULL	Plan Diario del dia sabado de la semana 2	No hay comentarios

- Con la ayuda del aplicativo móvil y de escritorio se subió el avance diario, cumplimiento y causas de no cumplimiento correctamente. Como muestra la figura N° 5.4 se tiene el avance real, cumplimiento y causas de no cumplimiento del plan diario del 02 de marzo del 2021 de la obra “Clínica

Cayetano Heredia”, además, como muestra la tabla N° 5.7 se almaceno correctamente en la base de datos del proyecto.

Id Frente	Id Operación	Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Unid. Producción	Avance Planeado Di	Avance Real Di	Cumplimiento(SI/NO)	Causas No Cumplie
2	1	Alcantarillado	Obras Preliminares	Corte de Pavimento Flexible	ml	129.4	129.4	SI	
2	2	Alcantarillado	Obras Preliminares	Excavacion/Retiro de Pavimem	m2	43.2	0	NO	PROGRAMACION
2	31	Alcantarillado	Obras Preliminares	Señalización y cierre de vías	global	67.7	67.7	SI	
2	35	Alcantarillado	Obras Preliminares	Ubicación de interferencias	global	2	2	SI	

Figura N° 5.4 Detalle de Cumplimiento/No cumplimiento de las operaciones del Plan Diario del 02 de marzo del 2021 de la Obra Clínica Cayetano Heredia.  
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 5.7 Tabla Detalle de Plan Diario de la Obra Clínica Médica Cayetano Heredia almacenada en la base de datos  
(Fuente: Elaboración Propia)

idPlanDiario	idProyecto	idFrente	idOperaciones	avancePlaneado	avanceReal	horasHombreConsumidas	cumplimiento	causasNoCumplien
7	3	2	1	129.4	129.4		SI	
7	3	2	2	43.2	0		NO	PROGRAMACION
7	3	2	31	67.7	67.7		SI	
7	3	2	35	2	2		SI	
8	3	2	3	18	18		SI	
8	3	2	4	10.05	10.05		SI	
8	3	2	5	36	36		SI	

- Con la ayuda del aplicativo móvil y de escritorio se subió, actualizo y levanto restricciones al proyecto. Como muestra la figura N° 5.5, se tiene las operaciones del LookAhead de la semana número 1 que tienen alguna restricción para iniciar en la fecha planeada. La tabla N° 5.8, nos muestra que se almacena correctamente en la base de datos del proyecto.

Id Frente	Id Operación	Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio Planeado	Metrodo	Unidad Producción	Restricción	Status Restricción
2	1	Alcantarillado	Obras Preliminar	Corte de Pavimento Fie	02/03/2021	129.4	ml	SI	Por Levantar
2	2	Alcantarillado	Obras Preliminar	Excavacion/Retiro de F	02/03/2021	43.2	m2	SI	Por Levantar
2	3	Alcantarillado	Obras Preliminar	Eliminacion de Pavime	03/03/2021	18	m3	NO	-
2	4	Alcantarillado	Linea Distribucion	Excavacion de buzón-C	03/03/2021	10.05	m3	NO	-
2	5	Alcantarillado	Linea Distribucion	Excavacion de Zanja - F	03/03/2021	111.06	m3	SI	Por Levantar

Figura N° 5.5 Detalle de Operaciones del LookAhead Semana Numero 1 – CCH, donde solo se muestra algunas operaciones  
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 5.8 Tabla Detalle de Operaciones del LookAhead de la obra Clínica Cayetano Heredia almacenadas en la base de datos, solo se muestra algunas operaciones  
(Fuente: Elaboración Propia)

Mostrando filas 0 - 2 (total de 3, La consulta tardó 0.0005 segundos.)

SELECT \* FROM "restricciones" WHERE idProyecto=3

Perfilando [Editar en línea] [Editar] [Explicar SQL] [Crear código]

Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas: Buscar en esta tabla | Ordenar según la clave: Ninguna

+ Opciones		idRestriccion	idLookAhead	idProyecto	idFrente	idOperaciones	descripcion	tipoRestriccion	prioridad	impacto	accion
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	21	5	3	2	1	Verificar Estado de Cortadora de Pavimento	Equipos y Herramientas	Alta	Tiempo	Darle mantenimiento preventivo a la cortadora de p...
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	22	5	3	2	2	Alquiler de Minicargador	Equipos y Herramientas	Alta	Alto	Se debe tener definido la empresa proveedora del mi...
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	23	5	3	2	5	Ingreso de Ambulancia de la CCH	Cliente/Supervisión	Alta	Alto	Se debe coordinar con el area encargada clausurar ...

- Con el libro Control de Proyectos, se obtuvo en tiempo real la curva S de avance de obra. Como muestra la figura N°5.6, al término de la semana numero 1 estamos al día en el proyecto, los primeros dos días se avanzó menos de lo planeado, pero a partir del tercer día se replanteo y se pudo culminar de manera óptima.

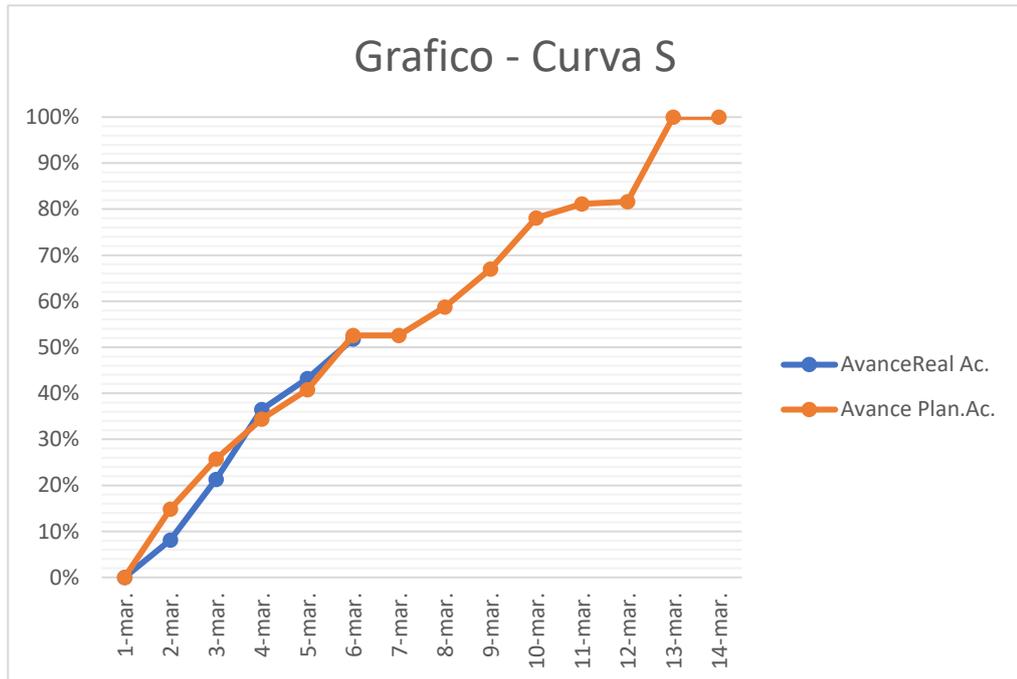


Figura N° 5.6 Grafico de Curva S al término de la semana número 1 de la obra Clínica Cayetano Heredia  
(Fuente: Elaboración Propia)

- Con el libro Control de Proyectos, además, se obtuvo en tiempo real la gráfica de histograma del PPC diario de la obra Clínica Médica Cayetano

Heredia, como muestra la Figura N°5.7, con el cual se puede concluir en relación a la variabilidad e incertidumbre de la planificación de la producción, por ejemplo los primeros 4 días se puede observar cierta variable no controlada que causa el no cumplimiento de lo planificado, sin embargo, luego de ello, se tiene un cierto grado de control de la variabilidad obteniéndose valores constantes.

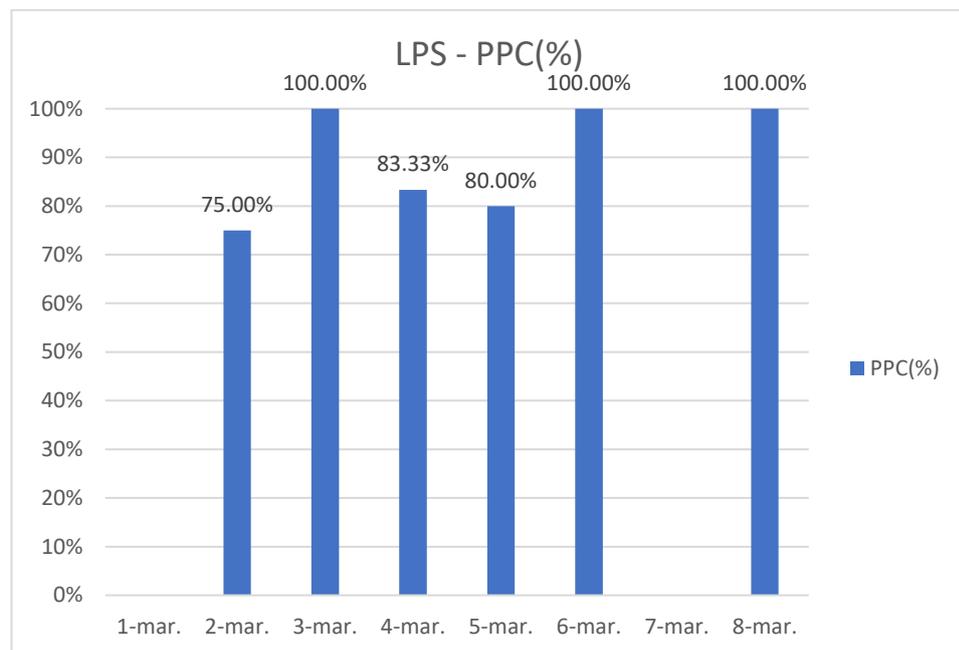


Figura N° 5.7 Histograma del Porcentaje de Plan Cumplido (PPC) en la planificación de la obra Clínica Médica Cayetano Heredia  
 (Fuente: Elaboración Propia)

## CAPÍTULO VI: IMPLEMENTACIÓN APLICATIVO EN CASO REAL

Se implementará el aplicativo a una obra de saneamiento, para verificar y comprobar los beneficios obtenidos con la digitalización de datos en la ejecución de obras de construcción.

### 6.1 Descripción de la obra a ejecutar

El 31 de mayo del 2021 se inició la ejecución de la obra “Rehabilitación de Red y Conexión Domiciliaria de Agua Potable a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium”, ubicado en el Jirón Salaverry 245 esquina con Jirón Tacna 360 a 380, en el distrito de Magdalena del Mar, Provincia y Departamento de Lima. El alcance de dicha obra consistió en la ejecución de una red de agua de aproximadamente 220 m DN 250mm PN 10 PE-100 PEAD color Azul a lo largo del Jirón Salaverry y sus respectivos accesorios, además de 02 conexiones domiciliaria nuevas de DN 40mm, (1 ½”) para el predio a servir y rehabilitar 23 conexiones domiciliarias existentes.



Figura N° 6.1 Fotografía del Condominio Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)



Figura N° 6.2 Ubicación del inmueble que se beneficiara de la obra de Rehabilitación  
(Fuente: Elaboración Propia)

En los anexos se presentará el plano de red de Agua Potable (AP-1) a ejecutarse aprobado por SEDAPAL.

## 6.2 Planeamiento

La etapa de planeamiento inicio una vez obtenido el certificado de aprobación de proyectos por SEDAPAL, aprobado el presupuesto por parte del cliente y firmado el contrato de ejecución de obra.

La estrategia de ejecución se diseñó teniendo en cuenta el plan de desvío de tránsito aprobado por la autoridad competente (Gerencia de Movilidad Urbana de la Municipalidad de Lima), el cual comprendía en tres etapas como se muestra en la Figura N° 6.3, es por ello que el proyecto se dividió en tres frentes: tramo 1, tramo 2 y tramo 3, ejecutados secuencialmente.

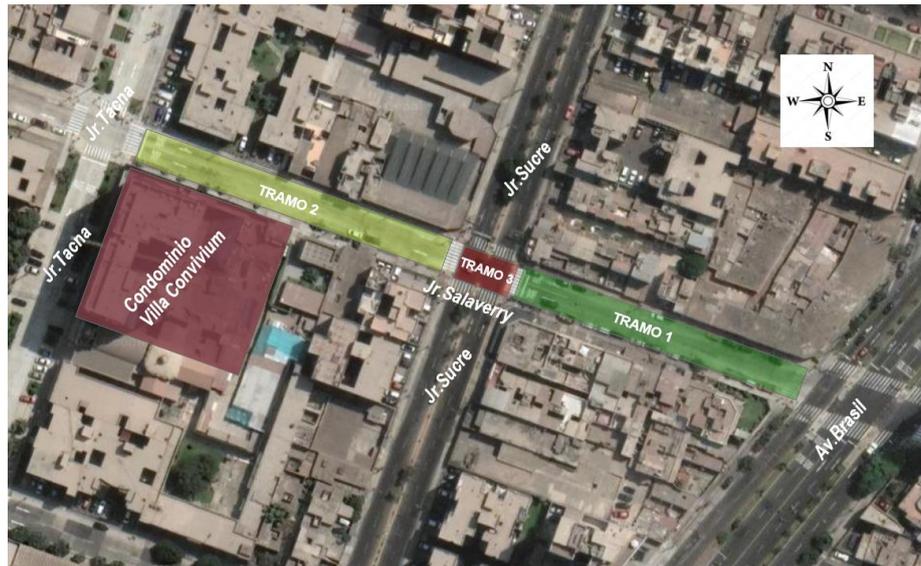


Figura N° 6.3 Secuencia de Ejecución de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium”.  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 6.2.1 Cronograma Meta

La figura N° 6.4, muestra el cronograma por Hitos de la obra, el cronograma detallado se mostrará en los anexos.

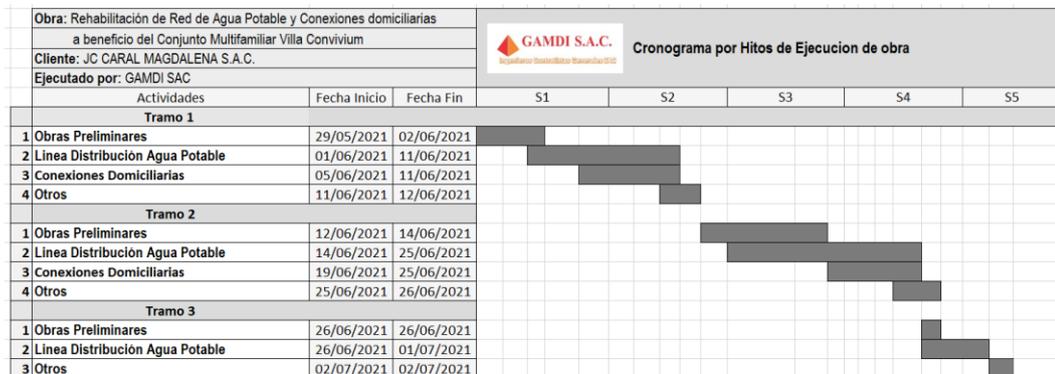


Figura N° 6.4 Cronograma Por Hitos de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium”.  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 6.2.2 Estructura de Control

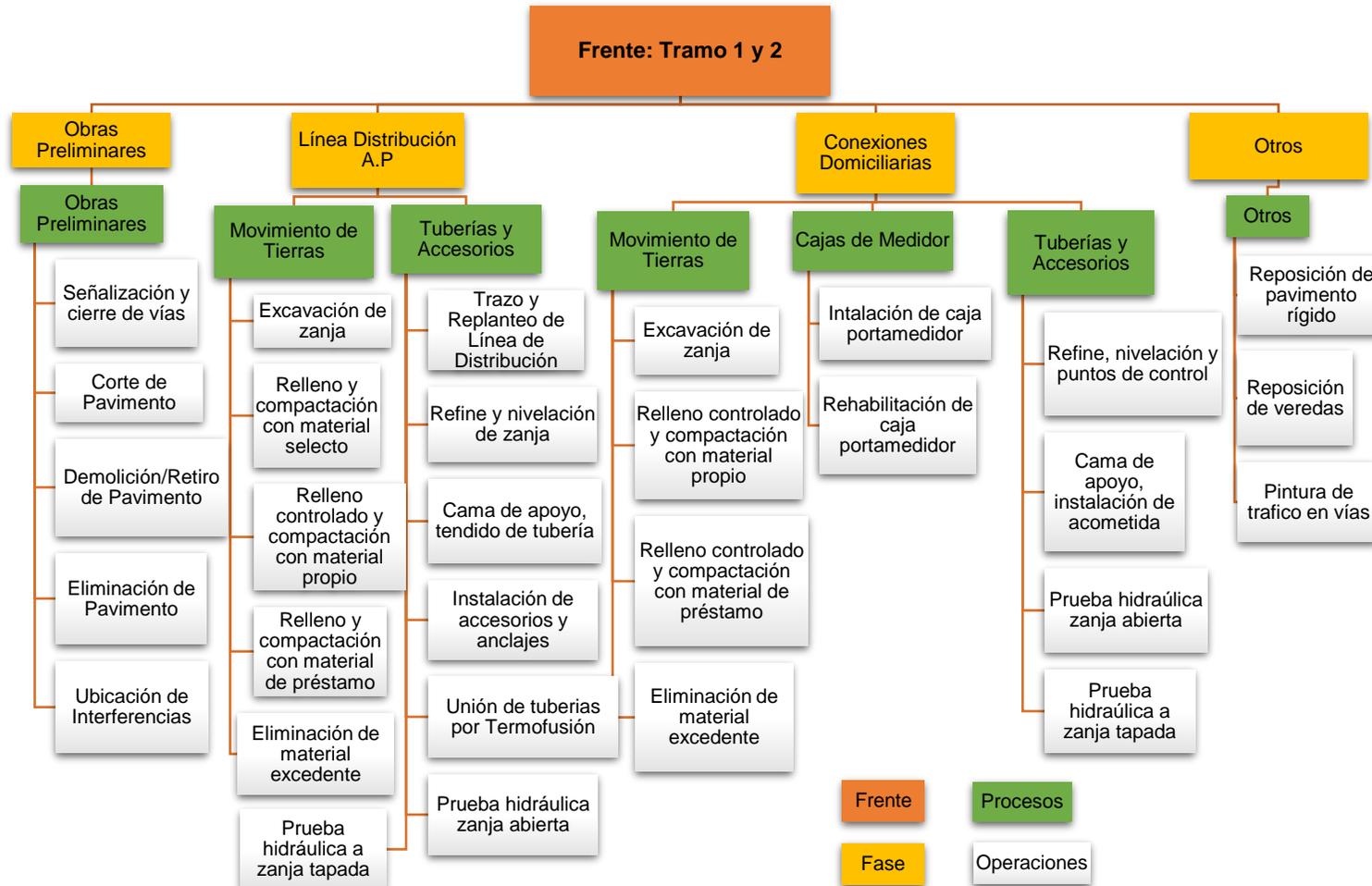


Figura N° 6.5 Estructura de Control del Tramo 1 y 2 de Obra de Rehabilitación de Red y Conexiones de Agua Potable  
(Fuente: Elaboración Propia)

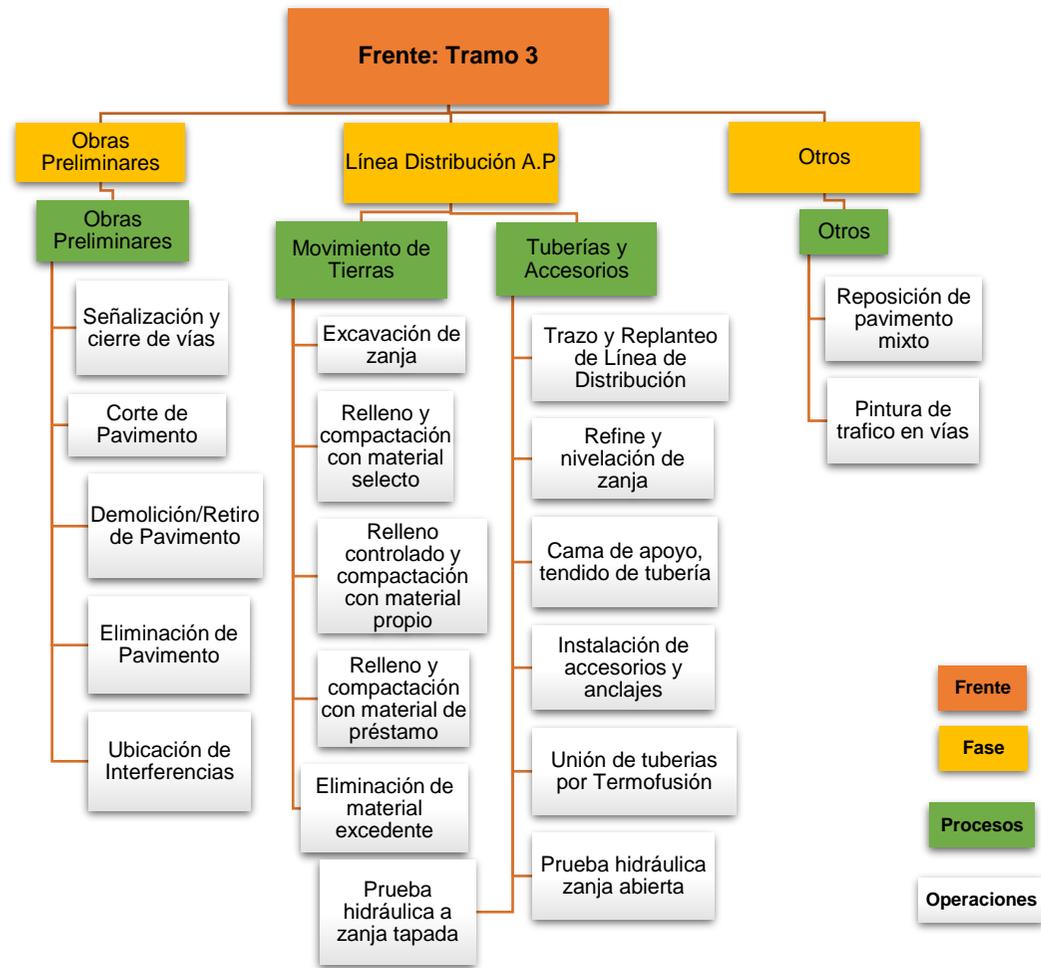


Figura N° 6.6 Estructura de Control del Tramo 3 de Obra de Rehabilitación de Red y Conexiones de Agua Potable  
(Fuente: Elaboración Propia)

La figura N° 6.5 y N° 6.6, muestra la estructura de control planteada para la planificación y control de la producción siguiendo la metodología planteada para el tramo 1, 2 y 3 de la Obra “Rehabilitación de Redes y Conexiones de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium”.

### 6.2.3 Valor Planeado

La figura N°6.7, muestra el valor planeado del proyecto, calculado con el aplicativo de escritorio presentado, esto nos servirá para conocer el desempeño del proyecto respecto al tiempo. Se puede observar que, al término del primer frente, el 12 de junio se tiene un avance planeado del 45.46% y al término del segundo frente, el 26 de junio se tiene un avance planeado del 96.25 % y el 02 de julio, fecha en la cual se tiene previsto culminar la obra se tiene un avance planeado del 100%.

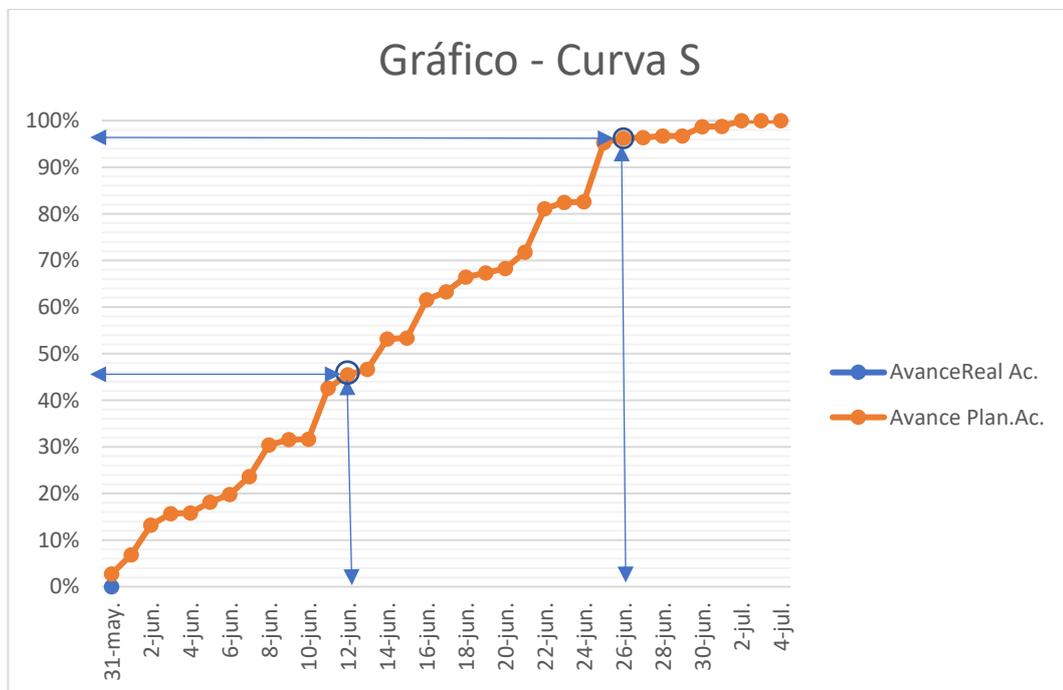


Figura N° 6.7 Valor Planeado de la Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium”.  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 6.3 Programación

La programación se realizará siguiendo la metodología de Last Planner System, el cual comprenderá la elaboración del plan maestro y/o plan de fases, LookAhead Planning, análisis de restricciones, plan semanal y plan diario.

### 6.3.1 Plan Maestro o Plan por Fases

El proceso comienza reuniéndose con el capataz encargado, mostrándole el alcance del proyecto, estrategia de ejecución e hitos contractuales. El capataz da su aprobación y se compromete a cumplir con los plazos propuestos, además sugiere y comenta propuestas de mejora en la estrategia de ejecución, el proceso culmina con el compromiso de las partes en cumplir con los plazos propuestos.

La figura N° 6.8, muestra el plan maestro resumido, en el cual se puede observar los principales hitos del proyecto.



Figura N° 6.8 Plan Maestro de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium”.  
(Fuente: Elaboración Propia)

Mostrando filas 0 - 24 (total de 79, La consulta tardó 0.0006 segundos.)

```
SELECT * FROM `detallePlanMaestro` WHERE idProyecto=4
```

1 > >> |  Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas:  Ordenar seg

+ Opciones		idPlanMaestro	idProyecto	idFrente	idOperaciones	fechaInicioMeta	fechaFinMet
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	4	5	3	2021-06-01	2021-06-01
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	4	5	30	2021-06-11	2021-06-11
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	4	5	31	2021-05-31	2021-05-31
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	4	5	33	2021-05-31	2021-05-31
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	4	5	35	2021-06-01	2021-06-02
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	4	5	42	2021-06-11	2021-06-11
<input type="checkbox"/>	Editar Copiar Borrar	6	4	5	44	2021-06-12	2021-06-12

Figura N° 6.9 Algunas Operaciones del Plan Maestro de Obra “Rehabilitación de Red y Conexiones Domiciliarias de Agua Potable a beneficio del Condominio Villa Convivium”.  
(Fuente: Elaboración Propia)

La figura 6.9, muestra algunas operaciones del Plan Maestro almacenados en la base de datos, se tiene almacenado un total de 79 operaciones, que fueron digitalizados utilizando el libro Planeamiento y asignadas al Plan Maestro creado con el libro Programación.

### 6.3.2 LookAhead Planning

El intervalo de tiempo utilizado en el LookAhead Planning para la obra fue de 02 semanas, ya que la duración promedio del tramo 1 y 2 es de 02 semanas cada una, además cada semana se actualizará el lookAhead siguiendo la metodología planteada y la digitalización se realizará utilizando el libro Programación propuesto.

La figura N°6.10, muestra algunas operaciones del LookAhead Planning de la semana número 01, en el cual se puede observar que se tiene operaciones con restricciones pendientes por levantar, el éxito de la metodología Last Planner se centra en la gestión de las restricciones, por lo cual es importante asignarse todas las restricciones posibles a cada operación del LookAhead y dar seguimiento de estas.

La figura N°6.11, muestra cómo se almacenan en la base de datos las operaciones del LookAhead Planning de la semana 01, son en total 29 operaciones almacenadas.

En los anexos se mostrará el LookAhead Planning de cada semana.

Id Frente	Id Operación	Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio Planeado	Metrado	Unidad Producción	Restricción	Status Restricción
5	31	Tramo 1 - Agua Po	Obras Preliminar	Señalización y cierre de	31/05/2021	180.35	global	NO	-
5	33	Tramo 1 - Agua Po	Obras Preliminar	Trazo y Replanteo de P	31/05/2021	87.5	ml	NO	-
5	35	Tramo 1 - Agua Po	Obras Preliminar	Ubicación de interferencia	01/06/2021	3	global	NO	-
5	72	Tramo 1 - Agua Po	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de f	31/05/2021	61.25	m2	SI	Por Levantar
5	73	Tramo 1 - Agua Po	Obras Preliminar	Corte de pavimento rig	31/05/2021	87.5	ml	SI	Por Levantar
5	47	Tramo 1 - Agua Po	Línea Distribución	Excavacion Zanja AP-R	01/06/2021	105	m3	SI	Levantado
5	48	Tramo 1 - Agua Po	Línea Distribución	Relleno y Compactacion	05/06/2021	61.25	m2	NO	-
5	49	Tramo 1 - Agua Po	Línea Distribución	Relleno controlado y c	05/06/2021	61.25	m2	NO	-

Figura N° 6.10 Algunas Operaciones del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

Mostrando filas 0 - 24 (total de 29, La consulta tardó 0.0005 segundos.)

SELECT \* FROM `detalleLookAhead` WHERE idLookAhead=14

Perfilando [Editar]

1 > >> |  Mostrar todo | Número de filas: 25 | Filtrar filas:  Ordenar según la clave:

+ Opciones

	idLookAhead	idProyecto	idFrente	idOperaciones	fechalnicioPlaneado	fechaFinPlaneado
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	14	4	5	30	2021-06-11	2021-06-11
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	14	4	5	31	2021-05-31	2021-05-31
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	14	4	5	33	2021-05-31	2021-05-31
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	14	4	5	35	2021-06-01	2021-06-02
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	14	4	5	42	2021-06-11	2021-06-11
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	14	4	5	44	2021-06-12	2021-06-12
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	14	4	5	47	2021-06-01	2021-06-02

Figura N° 6.11 Operaciones del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium almacenadas en la base de datos  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 6.3.3 Análisis de Restricciones

El proceso de análisis de restricciones comprende la asignación de la restricción, el seguimiento y levantamiento de la restricción.

La figura N°6.12, muestra la asignación de restricción a la actividad Reposición de pavimento rígido del tramo 1 con la ayuda del libro Tareas, el cual nos ayudara para digitalizar la restricción asignada y almacenarlo correctamente a la base de datos del servidor.

Añadir Restricción ✕

Nombre Fase: <input type="text" value="Otros"/>	Nombre Frente: <input type="text" value="Tramo 1 - Agua Potable"/>
Nombre Operación: <input type="text" value="Reposicion de pavimento rig"/>	Fecha Inicio Planeado: <input type="text" value="11/06/2021"/>
Tipo Restricción: <input type="text" value="Administrativos"/>	Prioridad: <input type="text" value="Media"/>
Descripción Restricción: <input type="text" value="Empresa Proveedora de concreto premezclado"/>	
Impacto: <input type="text" value="Medio"/>	
Acción: <input type="text" value="Cerrar con alguna empresa proveedora de concreto premezclado"/>	
Encargado Liberar Restricción: <input type="text" value="sa"/>	Fecha Compromiso Liberación: <input type="text" value="10/06/2021"/>

Figura N° 6.12 Ejemplo de Asignación de Restricción del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium con el Libro Tareas propuesto.  
(Fuente: Elaboración Propia)

La figura N°6.13 y 6.14, muestra la lista de operaciones con restricciones por levantar en el LookAhead número 01 y 02, el cual nos servirá para dar seguimiento a las restricciones que no se han levantado y ponen en peligro el seguimiento de la programación, esto se realizó con el Libro Tareas que nos muestra una tabla de las restricciones del LookAhead y nos filtra fácilmente las restricciones actuales.

Id Frente	Id Operación	Nombre Frente	Nombre Fases	Nombre Operación	Fecha Inicio Planeado	Metrado	Unidad Producción	Restricción	Status Restricción
6	31	Tramo 2 - Agua Po	Obras Preliminar	Señalización y cierre de	14/06/2021	208.58	ml	SI	Por Levantar
6	72	Tramo 2 - Agua Po	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de f	15/06/2021	160.84	m2	SI	Por Levantar
5	49	Tramo 1 - Agua Po	Línea Distribucio	Relleno controlado y c	07/06/2021	61.25	m2	SI	Por Levantar
5	50	Tramo 1 - Agua Po	Línea Distribucio	Relleno y compactacio	08/06/2021	61.25	m2	SI	Por Levantar
6	57	Tramo 2 - Agua Po	Línea Distribucio	Union de Tuberías por	18/06/2021	17	P.Sold.	SI	Por Levantar
5	30	Tramo 1 - Agua Po	Otros	Reposicion de pavimer	14/06/2021	61.25	m2	SI	Por Levantar

Figura N° 6.13 Lista de Operaciones con Restricciones del LookAhead Semana 1 – Obra Villa Convivium con el Libro Tareas propuesto.  
(Fuente: Elaboración Propia)

Id Frente	Id Operación	Nombre Frente	Nombre Fases	Nombre Operación	Fecha Inicio Planeado	Metrado	Unidad Producción	Restricción	Status Restricción
5	72	Tramo 1 - Agua Po	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de f	31/05/2021	61.25	m2	SI	Por Levantar
5	73	Tramo 1 - Agua Po	Obras Preliminar	Corte de pavimento rig	31/05/2021	87.5	ml	SI	Por Levantar
5	47	Tramo 1 - Agua Po	Línea Distribucio	Excavacion Zanja AP-R	01/06/2021	105	m3	SI	Por Levantar
5	57	Tramo 1 - Agua Po	Línea Distribucio	Union de Tuberías por	03/06/2021	15	P.Sold.	SI	Por Levantar
5	67	Tramo 1 - Agua Po	Conexiones Don	Rehabilitacion de caja	07/06/2021	13	und	SI	Por Levantar
5	30	Tramo 1 - Agua Po	Otros	Reposicion de pavimer	11/06/2021	61.25	m2	SI	Por Levantar
5	44	Tramo 1 - Agua Po	Otros	Pintura de trafico en vi	12/06/2021	87.5	ml	SI	Por Levantar

Figura N° 6.14 Lista de Operaciones con Restricciones del LookAhead Semana 2 – Obra Villa Convivium con el Libro Tareas propuesto.  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 6.3.4 Plan Semanal

La figura N°6.15, nos muestra el tablero de plan semanal número 1, obtenidos con la ayuda del Libro Tareas, el cual en tiempo real nos mostrara el avance real de cada operación, además del cumplimiento diario y semanal de cada uno.

El conocer el porcentaje de cumplimiento semanal y diaria de cada operación, nos servirá para identificar qué operación tuvo alta variabilidad en la semana y fue la causante de obtener un PPC bajo, y a partir de ello, poder tomar decisiones.

Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Metrado Proyectado Semana	Avance Real Semanz	Unidad Producción	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Señalización y cierre de	31/05/2021	31/05/2021	180.35		ml		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Trazo y Replanteo de P	31/05/2021	31/05/2021	87.5		ml		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Ubicación de interferen	01/06/2021	02/06/2021	3		global		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de f	31/05/2021	01/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Corte de pavimento rig	31/05/2021	01/06/2021	87.5		ml		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Excavacion Zanja AP-R	01/06/2021	02/06/2021	105		m3		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y Compactacio	05/06/2021	05/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno controlado y c	05/06/2021	07/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y compactacio	07/06/2021	07/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Eliminacion de materia	01/06/2021	02/06/2021	87.5		m3		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Trazo y Replanteo de L	01/06/2021	01/06/2021	87.5		ml		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Refine y Nivelacion de	02/06/2021	02/06/2021	87.5		ml		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Cama de apoyo y tendi	02/06/2021	02/06/2021	87.5		ml		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Union de Tuberias por	03/06/2021	03/06/2021	15		P.Sold.		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Prueba Hidraulica de la	04/06/2021	04/06/2021	1		red		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Instalacion de Accesor	03/06/2021	03/06/2021	4		und		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dom	Excavacion de zanja C.	05/06/2021	05/06/2021	30		ml		0.0%

Figura N° 6.15 Tablero de Operaciones del Plan Semanal 1 – Obra Villa Convivium generados a partir del Libro Tareas propuesto.  
(Fuente: Elaboración Propia)

Este proceso se desarrollará semana tras semana, ya que, conociendo el avance de las operaciones no completadas, se reprogramará la próxima semana y se tomará medidas correctivas para no afectar el plazo, en el capítulo VII se analizará el cuadro del plan semanal de todas las semanas y se sacará conclusiones a partir de ello.

### 6.3.5 Plan Diario

La figura N°6.16, muestra el tablero del plan diario número 01, en el cual lista las actividades planeadas y, además, el avance real y las causas de no cumplimiento de las actividades. Esto nos servirá para poder reprogramar las actividades no cumplidas y además tomar atención a la causa raíz que impido realizar la actividad planeada.

Nombre Frente	Nombre Operación	Unid. Producción	Avance Planeado Día	Avance Real Día	Cumplimiento (SI/NO)	Causas No Cumplimiento	Comentarios No Cumplim.
Tramo 1 - Agua Po	Señalización y cierre de vía	ml	180.35	180.35	SI		
Tramo 1 - Agua Po	Trazo y Replanteo de Proy	ml	87.5	87.5	SI		
Tramo 1 - Agua Po	Demolicion/Retiro de Pavim	m2	50	0	NO	PROGRAMACION	No se libero cancha a tiempo
Tramo 1 - Agua Po	Corte de pavimento rigido	ml	100	80	NO	CLIENTE - SUPERVISION	El inspector aprobo tarde el tarso

Figura N° 6.16 Tablero de Operaciones del Plan Diario 1 – Obra Villa Convivium generados a partir del Libro Tareas propuesto.  
(Fuente: Elaboración Propia)

En el capítulo VII, se analizará las causas de no cumplimiento y el impacto de estas al proyecto.

## 6.4 Ejecución

Con la metodología propuesta, se podrá conocer en tiempo real el trabajo ejecutado, el cual servirá como base para realizar el proceso de seguimiento y control, y la mejora continua del proceso.

### 6.4.1 Trabajo Semanal Ejecutado

La figura N°6.17, muestra el trabajo ejecutado al término de la semana 1, el cual nos muestra que no se pudo realizar la prueba hidráulica a zanja abierta de la red, ni tampoco se inició el relleno masivo, el análisis y consecuencias de ello se mostrara con mayor detalle en el capítulo VII.

Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Metrado Proyectado Semana	Avance Real Semana	Unidad Producción	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Eliminación de Pavimen	01/06/2021	01/06/2021	18	18.00	m3	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Señalización y cierre de	31/05/2021	31/05/2021	180.35	180.35	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Trazo y Replanteo de P	31/05/2021	31/05/2021	87.5	87.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Ubicación de interferen	01/06/2021	02/06/2021	3	3.00	global	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de f	31/05/2021	01/06/2021	119.75	119.75	m2	33.3%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Corte de pavimento rig	31/05/2021	01/06/2021	185	185.00	ml	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Excavacion Zanja AP-R	01/06/2021	02/06/2021	105	105.00	m3	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y Compactacio	05/06/2021	05/06/2021	61.25	28.00	m2	100.0%	45.7%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno controlado y c	05/06/2021	07/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y compactacio	07/06/2021	07/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Eliminacion de materia	01/06/2021	02/06/2021	87.5	87.50	m3	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Trazo y Replanteo de L	01/06/2021	01/06/2021	87.5	87.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Refine y Nivelacion de	02/06/2021	02/06/2021	87.5	87.50	ml	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Cama de apoyo y tendi	02/06/2021	02/06/2021	87.5	87.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Union de Tuberias por	03/06/2021	03/06/2021	15	15.00	P.Sold.	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Prueba Hidraulica de la	04/06/2021	04/06/2021	1		red		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Instalacion de Accesor	03/06/2021	03/06/2021	4	4.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dom	Excavacion de zanja C.	05/06/2021	05/06/2021	30	30.00	ml	100.0%	100.0%

Figura N° 6.17 Tablero de Operaciones ejecutadas en la Semana 01 – Obra Villa Convivium generados a partir del Libro Tareas propuesto.

(Fuente: Elaboración Propia)

## 6.5 Seguimiento y Control

El libro Control de Proyectos, nos ayudara a conocer el desempeño del proyecto en tiempo real, con el podremos obtener la curva S de avance, la gráfica del PPC diario, las causas de no cumplimiento más frecuentes y el control de la productividad.

### 6.5.1 Control de Avance y Plazo

La figura 6.18, nos muestra la curva S de la semana N°01, en el cual se puede apreciar que nos encontramos atrasados y ello se refleja en el indicador SPI=0.91, por lo cual se debe tomar medidas correctivas para poder recuperar el atraso y no poner el peligro el plan.

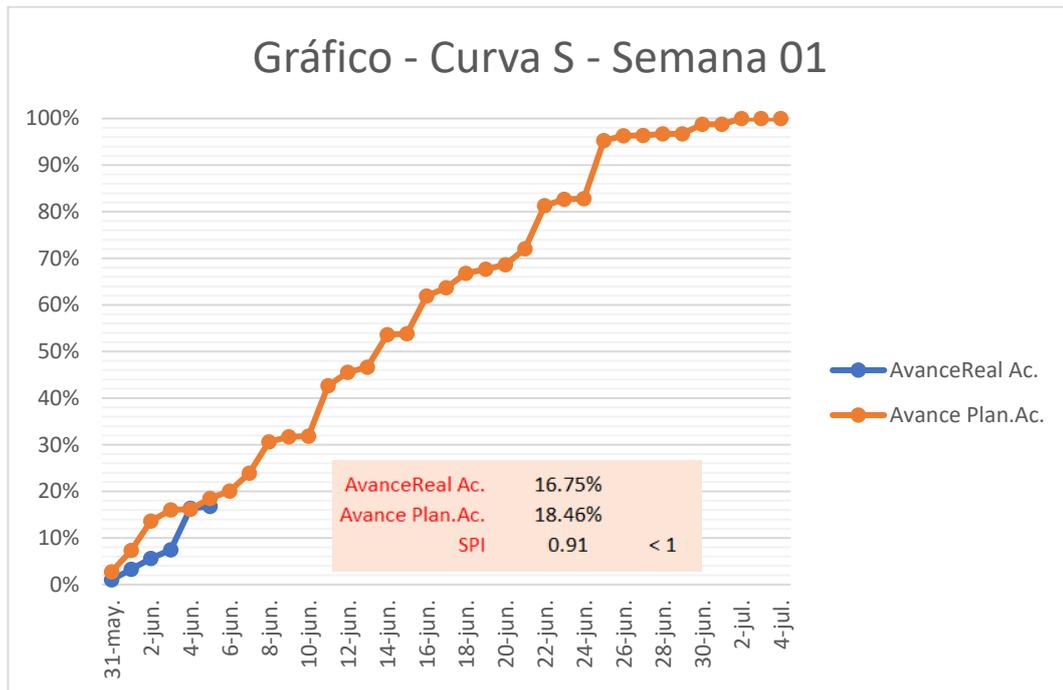


Figura N° 6.18 Gráfico de Curva S de la Semana 01 – Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

En el capítulo VII, se mostrara de manera más detallada la curva S , semana tras semana.

### 6.5.2 Porcentaje de Plan Completado (PPC)

La principal herramienta de control de productividad según la metodología Last Planner System, es el PPC, por lo cual es de suma importancia obtener el reporte de PPC, de manera diaria, para conocer el desempeño de la confiabilidad en la programación diaria.

La figura N° 6.19, nos muestra el reporte de PPC de la semana 01, obtenidos automáticamente con el Libro Control de proyectos, en el cual se puede observar que los primeros 04 días se obtuvo mucha variabilidad ya que se iniciaba la obra, los últimos dos días de la semana, se obtuvo un mayor desempeño, en el capítulo VII se estudiara más a detalle ello.

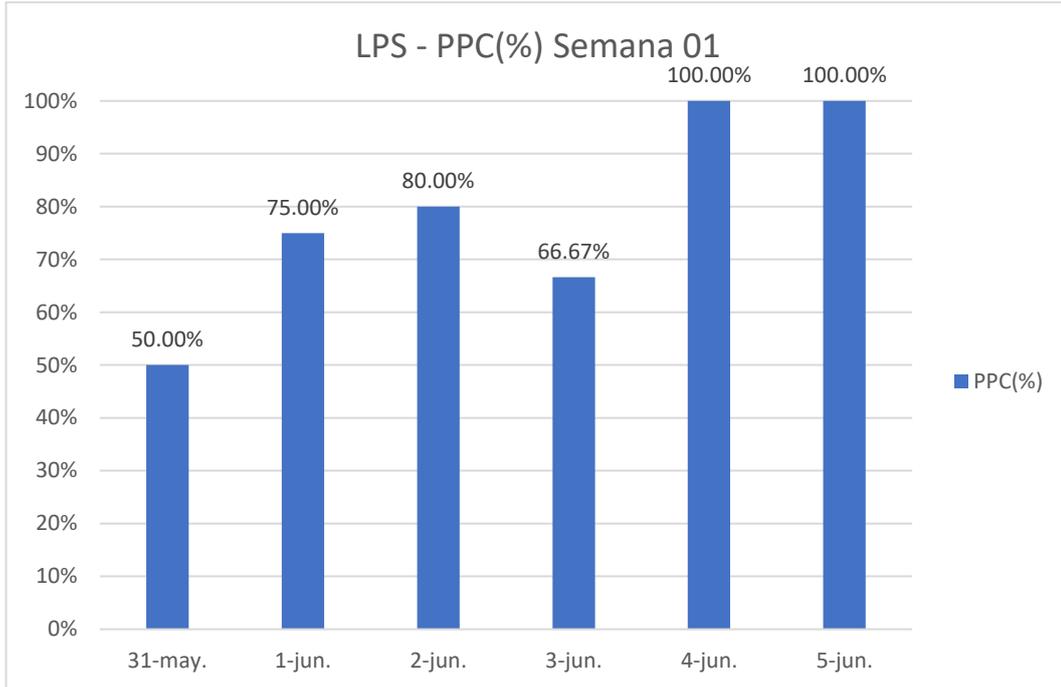


Figura N° 6.19 Gráfico de PPC's Diarios de la Semana 01– Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

### 6.5.3 Causas de No Cumplimiento

Teniendo acceso a la base de datos se puede realizar distintos tipos de reporte, como en este caso el reporte de causas de no cumplimiento de la obra en mención.

Teniendo acceso a la base de datos se puede realizar distintos tipos de consulta para obtener los reportes deseados, por ejemplo, como muestra la figura N°, se realiza la consulta a la base de datos para obtener los no cumplimientos totales del proyecto en mención.

```
Su consulta se ejecutó con éxito.
SELECT COUNT(cumplimiento) AS NoCumplimientoTotal FROM `detallePlanDiario` where idProyecto=4 and cumplimiento='NO'
```

+ Opciones

**NoCumplimientoTotal**

15

Figura N° 6.20 Ejemplo de consulta a la base de datos para obtener los no cumplimientos totales  
(Fuente: Elaboración Propia)

Tabla 6.1 Tabla de Causas de No Cumplimiento de la Obra Villa Convivium

	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
PROGRAMACIÓN	9	60.00%
CLIENTE - SUPERVISIÓN	2	13.33%
ERRORES DE EJECUCIÓN	1	6.67%
MANTENIMIENTO DE EQUIPOS	1	6.67%
LOGISTICA	1	6.67%
PERMISOS	1	6.67%
<b>TOTAL</b>	<b>15</b>	<b>100.00%</b>

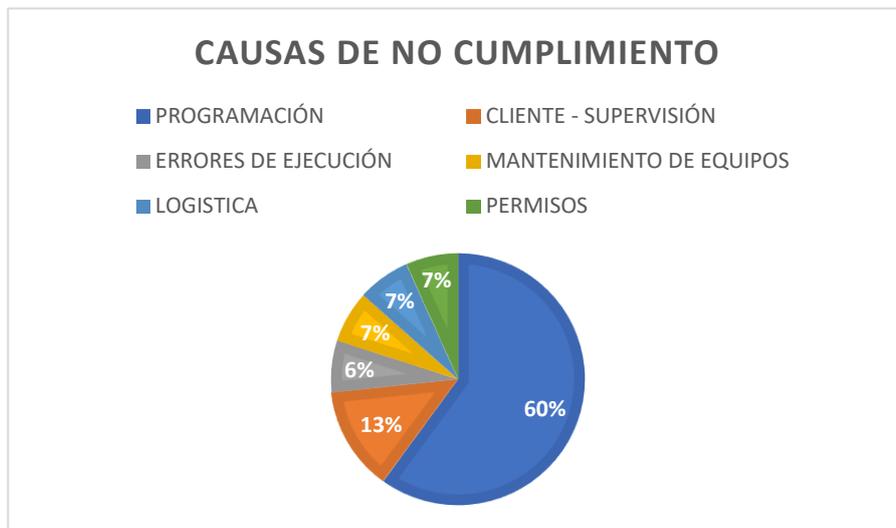


Figura N° 6.21 Grafica de Torta de las Causas de No Cumplimiento de la Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

#### 6.5.4 Control de la Productividad

Debido a que la duración de las principales actividades en cada frente fue a lo mucho de dos días, no se le sacó provecho a la herramienta de control de productividad como debería, sin embargo, se mostrara las principales ratios medidos en campo.

La figura N°6.22, nos muestra la productividad de la retroexcavadora, donde se a consumido 2.51 horas mas de lo planeado, esto se obtuvo debido a que existía muchas interferencias de redes de servicios, por lo cual como prevención se excavo de manera segura y evitando la rotura de alguna red de servicio. La figura N°6.23 y 6.24, igualmente nos muestra la productividad del vaceado de concreto rígido, donde se muestra que se consumió alrededor de 2 m<sup>3</sup> más de lo planeado esto se dio debido a que se vaceo mas metrado de lo previsto y se obtuvo mayor desperdicio del material, respecto a la productividad de la eliminación de material

se consumió 01 volquete mas de lo planeado esto se debió ya que eliminar el concreto demolido tiene un porcentaje de desperdicio mayor al previsto.

	Ratio Meta	Und	Tramo 1		Tramo 2	
			Ratio	HM Gana/Perd	Ratio	HM Gana/Perd
<b>Excavacion de Zanja C/Retroexcavadora</b>	0.076	hm/m3	0.090	-1.53	0.082	-0.77
<b>Pavimento C/Retroexcavadora</b>	0.11	hm/m2	0.117	-0.73	0.106	0.52
<b>Horas Totales Ganadas/Perdidas</b>						<b>-2.51</b>

Figura N° 6.22 Productividad de la Retroexcavadora obtenida en Obra Villa Convivium (Fuente: Elaboración Propia)

	Ratio Meta	Und	Tramo 1		Tramo 2	
			Ratio	HM Gana/Perd	Ratio	HM Gana/Perd
<b>Vaceado de concreto en pavimento rigido</b>	0.22	m3/m2	0.227	-0.84	0.230	-1.25
<b>M3 Totales Ganadas/Perdidas</b>						<b>-2.09</b>

Figura N° 6.23 Productividad del Concreto en Pavimento Rígido obtenida en Obra Villa Convivium (Fuente: Elaboración Propia)

	Ratio Meta	Und	Tramo 1		Tramo 2	
			Ratio	HM Gana/Perd	Ratio	HM Gana/Perd
<b>Eliminacion de material</b>	0.067	volq/m3	0.072	-0.60	0.071	-0.50
<b>Volq. Totales Ganadas/Perdidas</b>						<b>-1.10</b>

Figura N° 6.24 Productividad de Eliminación de Material Excedente obtenida en Obra Villa Convivium (Fuente: Elaboración Propia)

## CAPÍTULO VII: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se mostrará los principales resultados obtenidos a partir de los datos digitalizados de obra, con lo cual se demostrará los beneficios obtenidos del sistema planteado.

### 7.1 Porcentaje de Plan Completado (PPC)

La digitalización de datos en la construcción, nos permite consultar en cualquier momento dichos datos y obtener múltiples reportes tales como, el indicador PPC, utilizado en la metodología Last Planner, el cual nos brindara el grado de confiabilidad de nuestra programación.

La metodología propuesta nos permite conocer el porcentaje de cumplimiento diario y semanal, ya que el conocer únicamente el cumplimiento semanal es engañarse y no conocer la causa raíz que produjo los resultados semanales del PPC, por ejemplo, la figura N° 7.1 muestra que no se realizó el relleno controlado y compactación con material propio y préstamo y además, no se realizó la prueba hidráulica de la red principal a zanja abierta y la causa raíz se muestra analizando el cumplimiento diario ya que desde la actividad de corte de pavimento no se avanzó según lo planificado lo que origino en cadena no realizar todas las tareas planeadas de la semana.

Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Metrado Proyectado Semana	Avance Real Semana	Unidad Producción	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Eliminacion de Pavime	01/06/2021	01/06/2021	18	18.00	m3	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Señalización y cierre de	31/05/2021	31/05/2021	180.35	180.35	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Trazo y Replanteo de P	31/05/2021	31/05/2021	87.5	87.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Ubicación de interfere	01/06/2021	02/06/2021	3	3.00	global	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de f	31/05/2021	01/06/2021	119.75	119.75	m2	33.3%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Obras Preliminar	Corte de pavimento rig	31/05/2021	01/06/2021	185	185.00	ml	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Excavacion Zanja AP-R	01/06/2021	02/06/2021	105	105.00	m3	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y Compactacio	05/06/2021	05/06/2021	61.25	28.00	m2	100.0%	45.7%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno controlado y c	05/06/2021	07/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y compactacio	07/06/2021	07/06/2021	61.25		m2		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Eliminacion de materia	01/06/2021	02/06/2021	87.5	87.50	m3	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Trazo y Replanteo de L	01/06/2021	01/06/2021	87.5	87.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Refine y Nivelacion de	02/06/2021	02/06/2021	87.5	87.50	ml	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Cama de apoyo y tendi	02/06/2021	02/06/2021	87.5	87.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Union de Tuberias por	03/06/2021	03/06/2021	15	15.00	P.Sold.	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Prueba Hidraulica de la	04/06/2021	04/06/2021	1		red		0.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Instalacion de Accesor	03/06/2021	03/06/2021	4	4.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Don	Excavacion de zanja C.	05/06/2021	05/06/2021	30	30.00	ml	100.0%	100.0%
<b>PPC Semanal</b>								<b>77.78%</b>	

Figura N° 7.1 Tablero Semanal de la semana 01 obtenido en Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

La figura N° 7.2, 7.3 y 7.5, muestran un PPC Semanal de 100 por ciento en la semana 2 y 3, sin embargo, se tienen ciertas actividades cuyo cumplimiento diario

no es del 100 por ciento sino del 50 por ciento, lo cual demuestra que se utilizó correctamente el sábado, como buffer de tiempo, que protege al plan contra la variabilidad no controlada por la metodología last planner.

Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Metrado Proyectado Semana	Avance Real Semana	Unidad Producción	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y Compactacio	07/06/2021	07/06/2021	33.25	33.25	m2	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno controlado y c	07/06/2021	08/06/2021	61.25	61.25	m2	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Relleno y compactacio	08/06/2021	09/06/2021	61.25	61.25	m2	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Prueba Hidraulica de la	07/06/2021	07/06/2021	1	1.00	red	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Excavacion de zanja C.	07/06/2021	08/06/2021	67.5	67.50	ml	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Relleno Controlado y c	11/06/2021	12/06/2021	97.5	97.50	ml	50.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Relleno controlado y c	12/06/2021	14/06/2021	45	97.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Eliminacion de Materia	08/06/2021	08/06/2021	18	18.00	m3	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Rehabilitacion de caja	08/06/2021	09/06/2021	13	13.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Refine, nivelacion y pui	08/06/2021	09/06/2021	97.5	97.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Cama de apoyo e insta	09/06/2021	10/06/2021	97.5	97.50	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Prueba hidraulica a zar	10/06/2021	10/06/2021	1	1.00	und	100.0%	100.0%
<b>PPC Semanal</b>								<b>100.0%</b>	

Figura N° 7.2 Tablero Semanal de la semana 02 obtenido en Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Metrado Proyectado Semana	Avance Real Semana	Unidad Producción	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
Tramo 2 - Agua F	Obras Preliminar	Eliminacion de Pavime	15/06/2021	15/06/2021	18	18.00	m3	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Obras Preliminar	Señalización y cierre de	14/06/2021	14/06/2021	208.58	208.58	ml	50.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Obras Preliminar	Trazo y Replanteo de P	14/06/2021	14/06/2021	101.2	101.20	ml	50.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Obras Preliminar	Ubicación de interferen	15/06/2021	15/06/2021	4	4.00	global	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de f	15/06/2021	15/06/2021	160.84	160.84	m2	50.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Obras Preliminar	Corte de pavimento rig	14/06/2021	15/06/2021	191.2	191.20	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Linea Distribucio	Excavacion Zanja AP-Ri	16/06/2021	17/06/2021	121.44	121.44	m3	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Linea Distribucio	Eliminacion de materia	16/06/2021	17/06/2021	101.2	101.20	m3	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Linea Distribucio	Trazo y Replanteo de L	16/06/2021	16/06/2021	101.2	101.20	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Linea Distribucio	Refine y Nivelacion de	17/06/2021	18/06/2021	101.2	101.20	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Linea Distribucio	Cama de apoyo y tendi	18/06/2021	18/06/2021	101.2	101.20	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Linea Distribucio	Union de Tuberias por	19/06/2021	19/06/2021	17	17.00	P.Solid.	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Linea Distribucio	Prueba Hidraulica Red	14/06/2021	14/06/2021	1	1.00	Red	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Linea Distribucio	Instalacion de Accesor	18/06/2021	18/06/2021	4	4.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Conexiones Dorr	Excavacion de zanja C.	18/06/2021	21/06/2021	60	60.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Conexiones Dorr	Prueba hidraulica a zar	14/06/2021	14/06/2021	1	1.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Otros	Reposicion de pavimer	14/06/2021	14/06/2021	61.25	61.25	m2	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Otros	Reposicion de veredas	14/06/2021	14/06/2021	21.6	21.60	m2	100.0%	100.0%
Tramo 1 - Agua F	Otros	Pintura de trafico en vi	15/06/2021	15/06/2021	87.5	87.50	ml	100.0%	100.0%
<b>PPC Semanal</b>								<b>100.0%</b>	

Figura N° 7.3 Tablero Semanal de la semana 03 obtenido en Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

La figura N° 7.4, muestra un PPC semanal del 95.24 por ciento, ya que una actividad no se completó según lo establecido en el plan semanal, y la causa fue un error de programación ya que no se estimó bien la duración de las actividades predecesoras.

Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Metrado Proyectado Semana	Avance Real Semana	Unidad Producción	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
Tramo 3 - Agua	Obras Prelimina	Señalización y cierre	26/06/2021	26/06/2021	11	11.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua	Obras Prelimina	Trazo y Replanteo de	26/06/2021	26/06/2021	11	11.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua	Obras Prelimina	Corte de pavimento r	26/06/2021	28/06/2021	6	6.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua	Obras Prelimina	Demolicion/Retiro de	26/06/2021	28/06/2021	4.2	0.00	m2	0.0%	0.0%
Tramo 2 - Agua	Linea Distribuci	Relleno y Compactaci	21/06/2021	21/06/2021	70.84	70.84	m2	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Linea Distribuci	Relleno controlado y	21/06/2021	22/06/2021	70.84	70.84	m2	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Linea Distribuci	Relleno y compactaci	22/06/2021	23/06/2021	70.84	70.84	m2	50.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Linea Distribuci	Prueba Hidraulica Rec	25/06/2021	25/06/2021	1	1.00	Red	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Linea Distribuci	Prueba Hidraulica de	21/06/2021	21/06/2021	1	1.00	red	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Excavacion de zanja C	21/06/2021	21/06/2021	30	30.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Relleno Controlado y	24/06/2021	24/06/2021	90	90.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Relleno controlado y	24/06/2021	25/06/2021	90	90.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Eliminacion de Mater	22/06/2021	22/06/2021	18	18.00	m3	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Instalacion de caja po	24/06/2021	24/06/2021	2	2.00	und	50.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Rehabilitacion de caja	22/06/2021	23/06/2021	10	10.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Refine, nivelacion y p	21/06/2021	22/06/2021	90	90.00	ml	50.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Cama de apoyo e inst	22/06/2021	23/06/2021	90	90.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Prueba hidraulica a z	23/06/2021	23/06/2021	1	1.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Conexiones Dor	Prueba hidraulica a z	25/06/2021	25/06/2021	1	1.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Otros	Reposicion de pavime	25/06/2021	26/06/2021	124.84	124.84	m2	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua	Otros	Reposicion de vereda	26/06/2021	26/06/2021	18	18.00	m2	100.0%	100.0%
<b>PPC Semanal</b>								<b>95.24%</b>	

Figura N° 7.4 Tablero Semanal de la semana 04 obtenido en Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

Nombre Frente	Nombre Fase	Nombre Operación	Fecha Inicio	Fecha Fin	Metrado Proyectado Semana	Avance Real Semana	Unidad Producción	%Cumplimiento Diario	%Cumplimiento Semanal
Tramo 3 - Agua F	Obras Preliminar	Ubicación de interfere	28/06/2021	28/06/2021	2	2.00	global	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Obras Preliminar	Corte de pavimento rig	28/06/2021	28/06/2021	5	5.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Obras Preliminar	Demolicion/Retiro de	28/06/2021	28/06/2021	7.7	7.70	m2	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Relleno y Compactaci	01/07/2021	01/07/2021	7.7	7.70	m2	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Relleno controlado y c	01/07/2021	01/07/2021	7.7	7.70	m2	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Relleno y compactaci	01/07/2021	01/07/2021	7.7	7.70	m2	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Eliminacion de materia	01/07/2021	01/07/2021	11	11.00	m3	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Excavacion de zanja - f	28/06/2021	28/06/2021	13.2	13.20	m3	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Trazo y Replanteo de L	28/06/2021	28/06/2021	11	11.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Refine y Nivelacion de	28/06/2021	28/06/2021	11	11.00	ml	50.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Cama de apoyo y tend	30/06/2021	30/06/2021	11	11.00	ml	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Union de Tuberias por	30/06/2021	30/06/2021	3	3.00	P.Sold.	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Prueba Hidraulica Red	01/07/2021	01/07/2021	1	1.00	Red	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Prueba Hidraulica de la	30/06/2021	30/06/2021	1	1.00	red	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Linea Distribuci	Instalacion de Accesori	30/06/2021	30/06/2021	2	2.00	und	100.0%	100.0%
Tramo 3 - Agua F	Otros	Reposicion de pavime	01/07/2021	01/07/2021	7.7	7.70	m2	100.0%	100.0%
Tramo 2 - Agua F	Otros	Pintura de trafico en vi	28/06/2021	28/06/2021	101.2	101.20	ml	100.0%	100.0%
<b>PPC Semanal</b>								<b>100.00%</b>	

Figura N° 7.5 Tablero Semanal de la semana 05 obtenido en Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

La figura N° 7.6, nos muestra el histograma del PPC semanal de la obra, en el cual incorrectamente se podría inferir que la variabilidad fue controlada a partir de la semana 02, ya que tenemos el indicador PPC casi constante, sin embargo, si analizamos la figura N°7.7, podemos concluir que la variabilidad siempre estuvo presente en los primeros días de la semana, sin embargo, debido a que se consideró ciertos buffers de tiempo en el plan semanal, los últimos días de la semana se obtuvo resultados y programas más confiables.

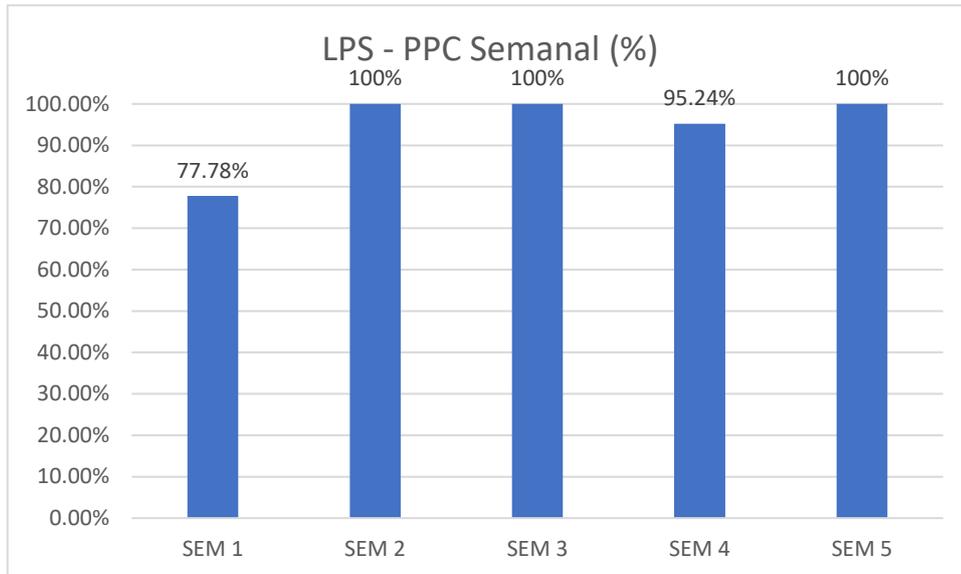


Figura N° 7.6 Histograma de PPC (%) Semanal obtenido en Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

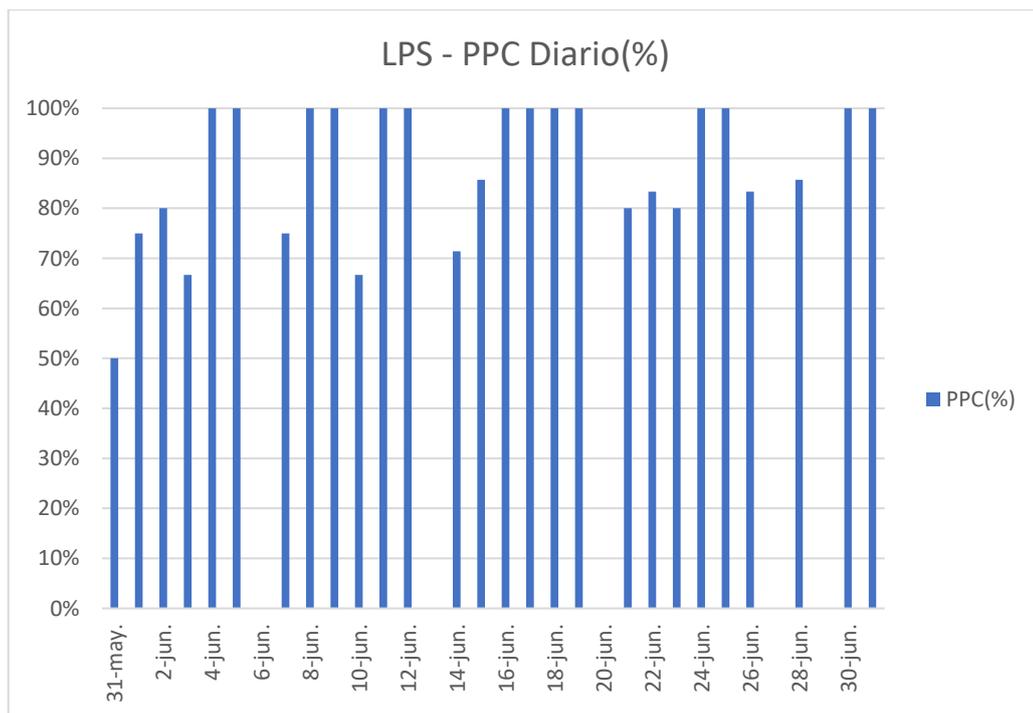


Figura N° 7.7 Histograma de PPC (%) Diario obtenido en Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

## 7.1 Curva S de avance

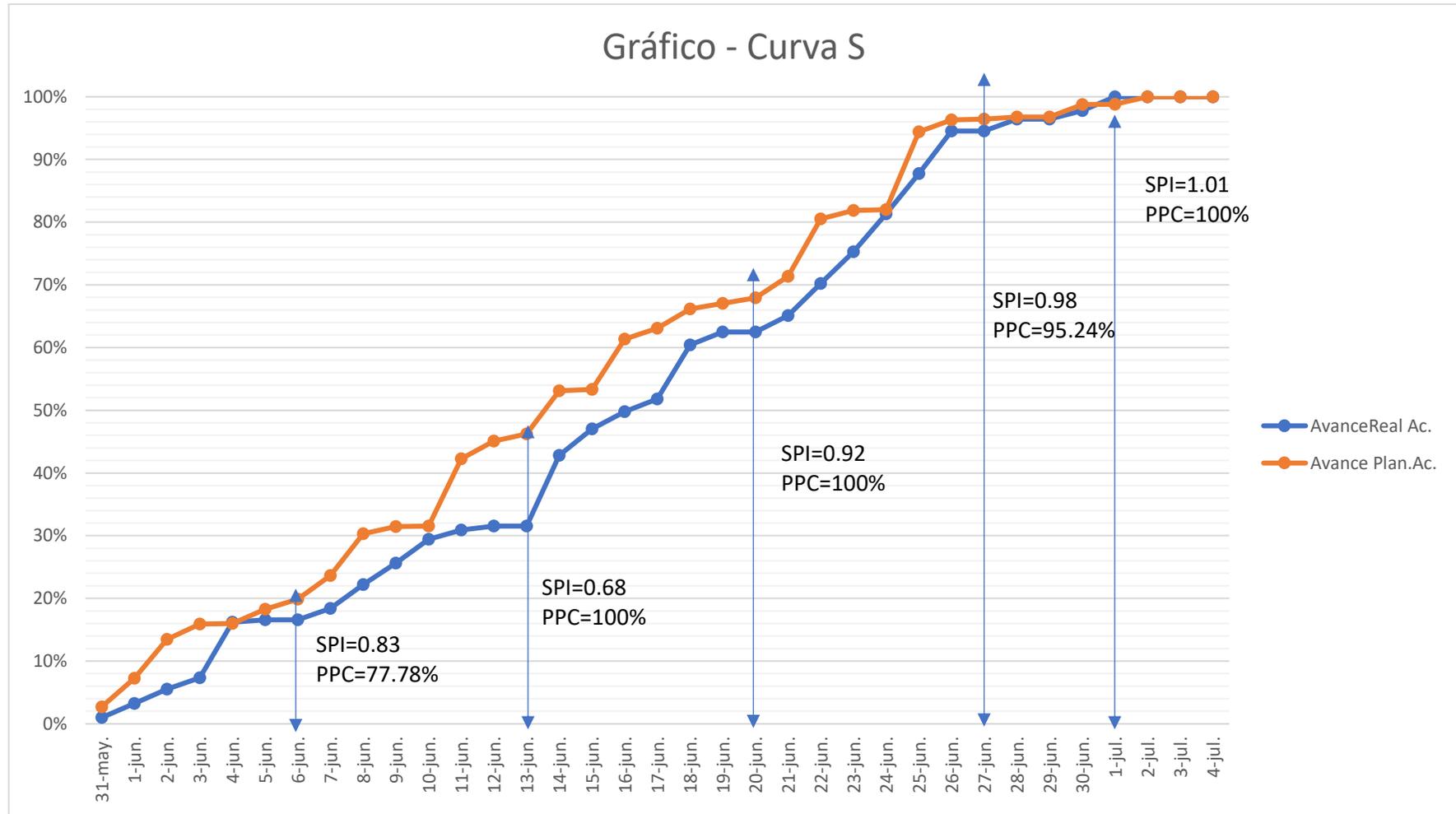


Figura N° 7.8 Relación de SPI y PPC obtenidos en la Obra Villa Convivium  
(Fuente: Elaboración Propia)

Como se puede apreciar en la figura N°7.8, la primera semana se culminó con un SPI de 0.83, el cual nos muestra que estamos atrasados, esto fue debido a que los 4 primeros días que no se cumplió el plan según lo planificado como muestra la figura N° 7.7, con indicadores del PPC muy por debajo del 100 por ciento, la siguiente semana se planifico de una manera más realista y confiable pero culminamos con un SPI de 0.68 , esto se debió a que no se realizó la tarea de reposición de pavimento que tiene un porcentaje de incidencia alto en la curva S, la tercera semana debido al aprendizaje ganado en el tramo 1 se puso en práctica una mejor estrategia para recuperarnos en el plan y realizar una programación más confiable , y se culminó con un SPI del 0.92, con tendencia a recuperarnos y culminar según el plan, la cuarta semana se obtuvo un SPI del 0.98 muy cercano a 1 y la quinta semana se culminó la obra con 1 día de anticipación.

Se puede observar, que el Last Planner System con el método del Valor ganado, se complementan muy bien, además, la figura N° 7.8, nos muestra la relación del SPI y PPC obtenidos semana tras semana en la Obra Villa Convivium, en la cual se puede concluir que un PPC del 100 por ciento no indica que se esté teniendo un buen desempeño necesariamente en la obra ya que como en este caso estamos atrasados en la semana 02 y 03 a pesar que se tiene un PPC del 100%.

## CONCLUSIONES

- El aplicativo de digitalización de datos permite obtener datos confiables en tiempo real y tomar decisiones de manera temprana para obtener mejores resultados en el proyecto.
- El aplicativo es viable para la recolección, procesamiento y visualización en tiempo real de datos de campo en obras de construcción.
- El aplicativo permite implementar el LPS a los proyectos de construcción obteniéndose programas confiables y gestionándose correctamente las restricciones.
- El aplicativo permite conocer la productividad de los principales recursos críticos de las obras de construcción.
- El aplicativo permite conocer el avance del proyecto en tiempo real
- El aplicativo permite integrar la metodología LPS y EVM.
- La metodología LPS y EVM se complementan muy bien para controlar de manera integral la producción en la construcción.
- El indicador PPC del LPS no permite conocer el desempeño del proyecto respecto al tiempo ni costo sino más bien permite conocer el grado de confiabilidad de la planificación.
- La digitalización de datos permite minimizar las posibles alteraciones de resultados de los indicadores por parte de terceros, y así conocer de manera real y confiable el desempeño de los proyectos.
- La digitalización de datos promueve la mejora continua entre los proyectos de la empresa, ya que se almacena los errores frecuentes y además las soluciones innovadoras de diversos proyectos de la empresa.
- La implementación del aplicativo propuesto conllevó a culminar la obra a tiempo con 01 día de anticipación, ya que se pudo tomar acciones correctivas a tiempo y así, enrumbar la obra según lo planificado.
- La digitalización de datos en la obra en mención, demostró múltiples beneficios tales como: recolección eficiente de datos, simplificación del proceso de toma de datos generando ahorro de tiempo, automatización del last planner system, automatización en la elaboración de reportes diarios y semanales, visualización en línea por parte de los gerentes de la empresa del desempeño del proyecto.

## RECOMENDACIONES

- Se debe realizar encuestas y estudios entre los gestores de proyectos para lograr la estandarización en la digitalización de los principales datos de las obras de construcción y obtener mayores beneficios.
- Se debe aplicar las herramientas propuestas en distintos tipos de proyectos de construcción para poder verificar los beneficios obtenidos y poder mejorar las herramientas propuestas.
- Se debe estudiar los beneficios obtenidos de digitalizar únicamente la gestión de restricciones mediante herramientas digitales en las obras de construcción.
- Se debe estudiar el uso de machine learning para realizar predicciones y generar alertas automatizadas para el control de proyectos de construcción, teniendo como base la digitalización de datos.
- Se debe estudiar la posibilidad que los obreros cuenten con aplicativos móviles donde puedan visualizar las tareas planeadas a ejecutar y ellos mismos suban su tareo, avance diario, cumplimiento, restricciones, entre otros.
- Las universidades deberían tener herramientas digitales para que los alumnos digitalicen los datos de sus obras a estudiar en tiempo real, y así obtener estudios más reales con datos inalterables.
- En la actualidad existen distintas herramientas digitales que contribuyen en aumentar la productividad en la construcción, sin embargo, las herramientas no garantizan el éxito de los proyectos de construcción, ya que estos únicamente muestran indicadores de desempeño del proyecto, se debe complementar con sistemas de producción *lean* eficientes en las obras de construcción y promover la cultura *lean* entre el equipo de proyecto.
- Es común que las empresas constructoras tengan ya implementados herramientas digitales para controlar los costos, sin embargo, estos deben ser complementados con herramientas digitales para controlar la producción de campo, de tal manera que se tenga controlado de manera integral el desempeño de las obras y se puedan tomar mejores decisiones.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abd El-Razek, M., Bassioni, H. y Mobarak, A. (2008). Causes of Delay in Building Construction Projects in Egypt. *Journal of Construction Engineering and Management ASCE*,134(11),831-841. doi: 10.1061 / (ASCE) 0733-9364 (2008) 134: 11 (831).
2. Abudayyeh, O., Temel, B., Al-Tabtabai,H. y Hurley,B.(2001). An Intranet – based cost control system. *Advances in Engineering Software*,32, 87-94.
3. Aljohani, A., Ahiaga-Dagbui, D. y Moore, D. (2017). Construction Projects Cost Overrun: ¿What Does the Literature Tell Us? *International Journal of Innovation, Management and Technology*,8(2). doi: 10.18178/ijimt.2017.8.2.717.
4. Alarcón, L., Gonzáles, V. (2003). Buffers de programación: Una estrategia complementaria para reducir la variabilidad en los procesos de construcción. *Revista Ingeniería de Construcción*,18(2),109-119.
5. Alarcón, L., Serpell, A. (2001). *Planificación y Control de Proyectos*. Chile. Santiago: Ediciones Universidad Católica de Chile.
6. Cabezas, J. (2015). *La gran Oportunidad: Claves para liderar la transformación digital en las empresas y en la economía*. Barcelona: Grupo Planeta.
7. Campero, M. y Alarcón, L. (2014). *Administración de Proyectos Civiles (3era Edición Ampliada)*. Santiago, Chile: Ediciones Universidad Católica de Chile
8. Chen, Y., Kamara, J. (2008). The Mechanisms of Information Communication on Construction Sites.*Forum Ejournal*. 8, 1-32.
9. Dave, B., Boddy, S. y Koskela, L. (2010). Improving Information Flow within the Production Management System with Web Services. In: *IGLC 18: 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, 14-16th July 2010, Haifa, Israel.
10. Gao, S., Low, S.P. (2014). *Lean Construction Management The Toyota Way*. Doi:10.1007/978-981-287-014-8.
11. Ghio, V. (2001). *Productividad en obras de construcción, Diagnostico, critica y propuesta*. Perú Lima: Fondo Editorial de la Pontifica Universidad Católica del Perú.
12. Guerra, I. (2017). *La transformación digital de la empresa (Trabajo Fin de Grado)*. Universidad Politécnica de Valencia. España

13. Gustavo, B. (2020). Glosario MySQL. Hostinger Tutoriales: Hostinger. Recuperado de: <https://www.hostinger.es/tutoriales/que-es-mysql/>
14. Hirano, H. (1995). 5 pillars of the visual workplace: The sourcebook for 5-S implementation. New York, NY: Productivity Press.
15. Liker, J. L. (2006). The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer. New York. EEUU: McGraw - Hill
16. Koskela, L. (1992). Application of The New Production Philosophy to Construction. CIFE Technical Report #72. Stanford University, Finlandia.
17. Koskela, L. (2000). An Exploration Towards a Production Theory and its Application to Construction. Ph D Dissertation, VTT Building Technology, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.
18. Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., y Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. Design and construction: Building in value, 291, 211-226
19. Martínez Rojas, M., Marín Ruiz, N., y Vila Miranda, M. A. (2014). Aplicación de las TICs en el Ámbito de la Construcción. Iniciación a La Investigación. Recuperado a partir de <https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/ininv/article/view/1743>
20. Nevado, M.V. (2010). Introducción a las Bases de Datos relacionales. Madrid, España: Visión Libros
21. Ohno, T. (1988). Toyota Production System:beyond large – scale production. Cambridge, Productivity Press.
22. Orihuela, P., Orihuela, J., Pacheco, S. (2016). Information and Communications Technology in Construction: A Proposal for Production Control. *Procedia Engineering*, 164,150-157.
23. Pons, J. y Rubio, I. (2019). Lean Construction y la Planificacion Colaborativa Metodología del Last Planner System.España. Madrid: Consejo General de la Arquitectura Técnica de España.
24. Pons, J. (2014). Introducción a Lean Construction. España. Madrid: Fundación Laboral de la Construcción.
25. Porto, J. y Gardey, A. (2019). Actualizado: 2020. Definicion.de: Definición de MySQL. Recuperado de <https://definicion.de/mysql/>
26. Real Academia Española [RAE].2020.

27. Rodríguez, A., Alarcón, L., Pellicer, E. (2011). La gestión de la obra desde la perspectiva del último planificador. *Revista de obras públicas*, 158(3518), 35-44.
28. Sanchis, I. (2013). Last Planner System Un Caso de Estudio (Tesis de Grado en Ingeniería de Edificación-Grau). Recuperado de <http://hdl.handle.net/10251/29693>.
29. Serpell, A. (1993). Administración de obras de Construcción. Santiago, Chile: Ediciones de la Universidad Católica de Chile
30. Womack, P., Jones, T., Roos, D. (2017). La máquina que cambio el mundo. España. Barcelona: Profit Editorial.

## ANEXOS

## **ANEXO N° 01**



## **ANEXO N° 02**

# GAMDI INGENIEROS CONSTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Asociacion de Vivienda San Francisco de Cayran Mz. D1 Lote 13 - Distrito de San Martin de Porres - RUC : 20600218001  
E-mail:gamdisac@gmail.com - gilberto.gamarra.d@uni.pe / Teléfonos:01-5317423 - 998738886

## PRESUPUESTO DE OBRA A TODO COSTO

OBRA RED COMPLEMENTARIA DE ALCANTARILLADO Y CONEXIÓN DOMICILIARIA  
A BENEFICIO DE LA CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA S.A.  
UBICACIÓN AV.HONORIO DELGADO N°370 - URBANIZACIÓN INGENIERIA - S.M.P  
CONTRATANTE CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA S.A.  
PROPIETARIO CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA S.A.  
FECHA **Oct-20**

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO	SUBTOTAL
<b>1.00</b>	<b>OBRAS Y SERVICIOS PRELIMINARES</b>				<b>14,760.91</b>
1.01	Movilizacion y desmovilizacion de equipos	gbl	1.00	1,500.00	1,500.00
1.02	Campamento de obra	mes	1.00	1,500.00	1,500.00
1.03	Señalización de obra	ml	67.70	5.00	338.50
1.04	SSH p/obra	mes	1.00	450.00	450.00
1.05	Paz Laboral (sindicato)	mes	1.00	2,500.00	2,500.00
1.06	Agua p/obra	mes	1.00	1,500.00	1,500.00
1.07	Ubicación de interferencias (energia, gas, comunicaciones, etc)	und	4.00	450.00	1,800.00
1.08	Permisos municipales GDU y GTU - Lima	gbl	1.00	2,500.00	2,500.00
1.09	Permisos municipales San Martin de Porres	gbl	1.00	1,500.00	1,500.00
1.10	Pago supervision Sedapal	gbl	1.00	1,172.41	1,172.41
	<b>REDES DE ALCANTARILLADO</b>				<b>35,890.90</b>
<b>1.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>8,693.02</b>
1.01	Trazo y replanteo inicial de obra	ml	61.70	2.30	141.91
1.02	Corte de pavimento rigido	ml	123.40	8.00	987.20
1.03	Demolicion de pavimento rigido	ml	61.70	16.00	987.20
1.04	Excavacion de zanja H=2.00 mts	ml	61.70	30.00	1,851.00
1.05	Refine de zanja	ml	61.70	5.50	339.35
1.06	Cama de arena h=0.10 mts	ml	61.70	12.00	740.40
1.07	Proteccion de tubería c/arena h=0.50 mts	ml	61.70	18.00	1,110.60
1.08	Relleno compactado de zanja H=2.00 mts	ml	61.70	34.00	2,097.80
1.09	Prueba de compactacion de suelos (proctor modificado y de control de compactacion - densidad de campo)	und	3.00	72.52	217.56
1.10	Pruebas de resistencia del concreto	und	4.00	55.00	220.00
<b>2.00</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS</b>				<b>2,720.97</b>
2.01	Suministro e instalacion de tubería PVC ISO 4435 DN 200 SN2	ml	61.70	38.90	2,400.13
2.02	Pruebas hidráulicas Tub. PVC IDDO 4435 DN 200 mm	ml	61.70	5.20	320.84
<b>3.00</b>	<b>BUZONES</b>				<b>4,427.79</b>
3.01	Excavacion de buzones	m3	10.05	52.50	527.79
3.03	Buzon tipo I, H<2.00 mts	und	2.00	1,950.00	3,900.00
<b>4.00</b>	<b>CONEXIONES DOMICILIARIAS DE ALCANTARILLADO</b>				<b>1,422.60</b>
4.01	Trazo y replanteo inicial de obra	ml	6.00	2.30	13.80
4.02	Corte de pavimento	ml	6.00	8.00	48.00
4.03	Demolcion de pavimento	ml	6.00	16.00	96.00
4.04	Excavacion de zanja H=1.50 mts	ml	6.00	26.00	156.00
4.05	Refine de zanja	ml	6.00	3.50	21.00
4.06	Cama de arena h=0.10 mts	ml	6.00	7.30	43.80
4.07	Proteccion de tubería c/arena h=0.50 mts	ml	6.00	12.00	72.00
4.08	Relleno compactado de zanja	ml	6.00	32.00	192.00
4.09	Conexión domiciliaria de desague completa PVC ISO 4435 DN 160 mm	und	1.00	780.00	780.00

# GAMDI INGENIEROS CONSTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Asociacion de Vivienda San Francisco de Cayran Mz. D1 Lote 13 - Distrito de San Martin de Porres - RUC : 20600218001  
E-mail:gamdisac@gmail.com - gilberto.gamarra.d@uni.pe / Teléfonos:01-5317423 - 998738886

## PRESUPUESTO DE OBRA A TODO COSTO

OBRA RED COMPLEMENTARIA DE ALCANTARILLADO Y CONEXIÓN DOMICILIARIA  
UBICACIÓN A BENEFICIO DE LA CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA S.A.  
UBICACIÓN AV.HONORIO DELGADO N°370 - URBANIZACIÓN INGENIERIA - S.M.P  
CONTRATANTE CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA S.A.  
PROPIETARIO CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA S.A.  
FECHA **Oct-20**

5.00 VARIOS					<b>18,626.52</b>
5.01 Reparación de pavimento rígido (Ancho =0.80m), incluye afirmado	ml	67.70	85.00		5,754.50
5.02 Empalme de redes alcantarillado	und	1.00	650.00		650.00
5.03 Eliminación de excedentes	m3	78.69	36.40		2,864.35
5.04 Reparación de jardines	m2	4.20	20.16		84.67
5.05 Reparación de rompemuelle de adoquín y concreto	m2	2.10	130.00		273.00
5.06 Plan de Vigilancia COVID-19 e implementación	und	1.00	3,000.00		3,000.00
5.07 Mitigación ambiental	und	1.00	1,500.00		1,500.00
5.08 Plan de Desvío de Tránsito	und	1.00	2,500.00		2,500.00
5.09 Planos de replanteo de obra y expediente de recepción	und	1.00	2,000.00		2,000.00

<b>COSTO DIRECTO</b>		<b>50,651.81</b>
<b>GASTOS GENERALES</b>	<b>8%</b>	<b>4,052.14</b>
<b>UTILIDAD</b>	<b>5%</b>	<b>2,532.59</b>
<b>SUBTOTAL</b>		<b>57,236.54</b>
<b>IGV 18%</b>	<b>18%</b>	<b>10,302.58</b>
<b>TOTAL</b>		<b>S/. 67,539.12</b>

**SON : SESENTA Y SIETE MIL QUINIENTOS TREINTA Y NUEVE CON 12/100 SOLES**

### NOTA

- 1 LA REPOSICIÓN DEL PAVIMENTO CORRESPONDE AL ANCHO DE ZANJA, SIN EMBARGO LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL PUEDE REQUERIR MAYOR AREA, SEGÚN LO INDIQUE EN EL PERMISO MUNICIPAL, POR LO CUAL EL METRADO PODRÍA VARIAR
- 2 LOS EMPALMES DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO SE EJECUTAN EN OBRA
- 3 SE CONSIDERA QUE EL PAVIMENTO A REPONER ES DE CONCRETO, EN CASO REQUIERA UN PAVIMENTO MIXTO (CONCRETO Y ASFALTO), SE REESTRUCTURARÁ EL COSTO UNITARIO
- 4 SE INCLUYE LA REPOSICIÓN DE LAS SEÑALIZACIONES DE TRÁNSITO SOLO SOBRE EL AREA INTERVENIDA

### PLAZOS PROPUESTOS

- Permisos municipales	30 días útiles
- Permisos Sedapal	3 días útiles
- Ejecución de Obra	30 días útiles
- Recepción de Obra	15 días útiles
Total	78 días útiles

### FORMA DE PAGO

- 40% a la firma de contrato
- 20% al inicio de la obra
- saldo en valorizaciones semanales

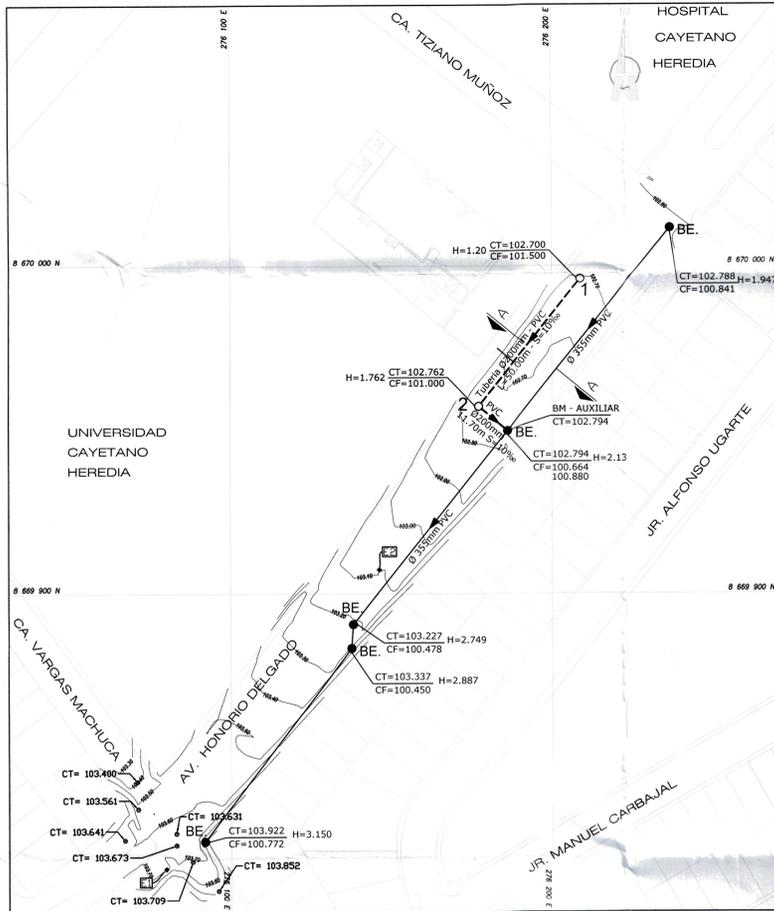
### COMENTARIOS

- La ejecución de los trabajos concluye con la recepción de obra y la puesta en servicio por parte de SEDAPAL

## **ANEXO N° 03**

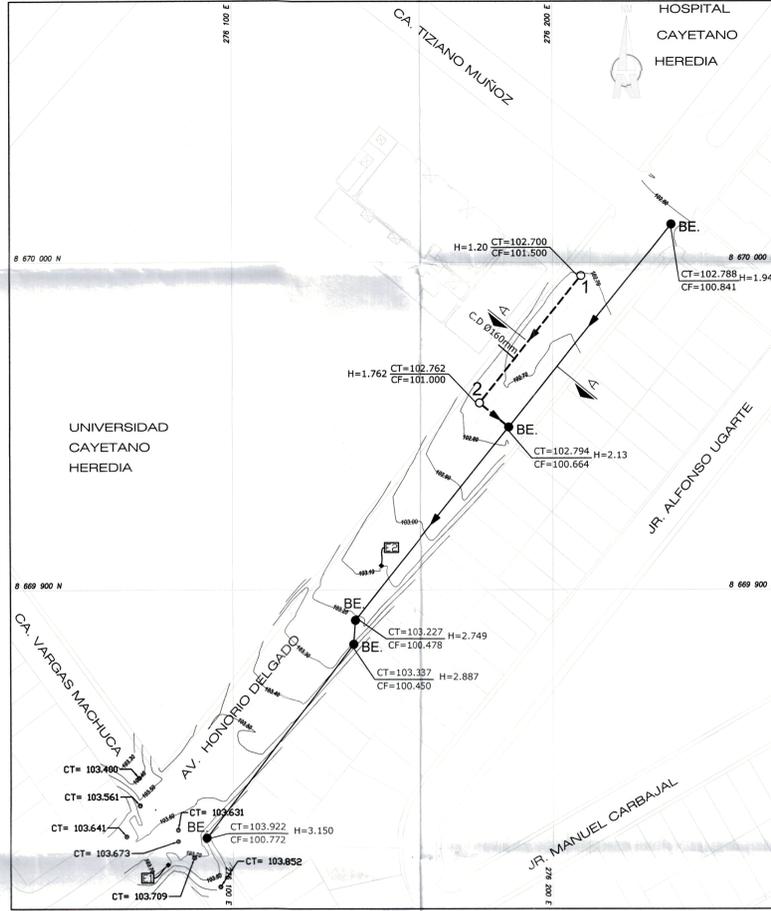
# RED DE ALCANTARILLADO

Escala : 1/ 1000



# CONEXIONES DOMICILIARIAS

Escala : 1/ 1000

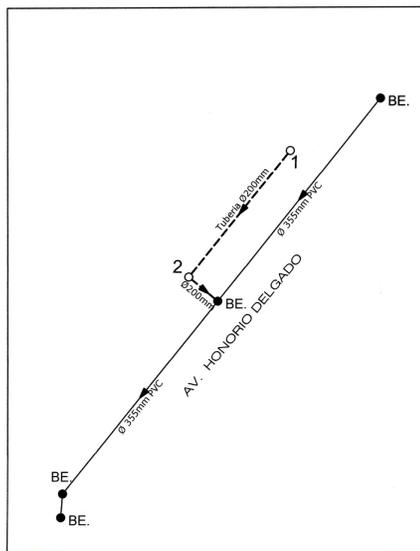


# UBICACION

ESC - 1/5000

# RED DE ALCANTARILLADO

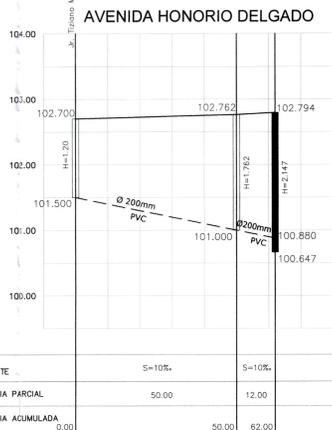
Escala : 1/ 1000



LEYENDA	
SIMBOLO	DESCRIPCION
	TUBERIA DE DESAGUE EXISTENTE
	TUBERIA DE DESAGUE PROYECTADA
	BUZON EXISTENTE
	BUZON PROYECTADO
	CONEXION DOMICILIARIA DE DESAGUE PROYECTADA

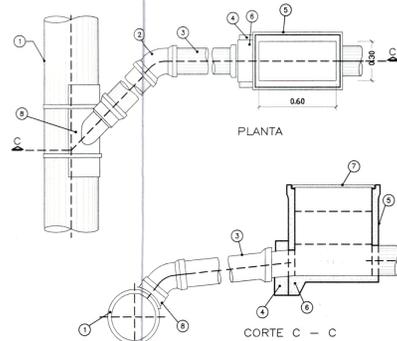
## PERFIL LONGITUDINAL

ESCALA : H = 1:1000  
V = 1: 50



PENDIENTE	S=10%	S=10%
DISTANCIA PARCIAL	50.00	12.00
DISTANCIA ACUMULADA	0.00	50.00 62.00

## DETALLE TIPICO CONEXION DOMICILIARIA DE DESAGUE

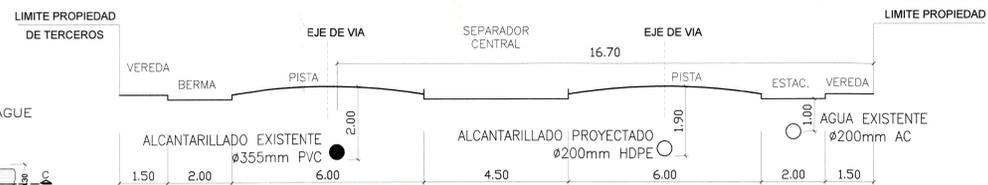


## CONEXION DOMICILIARIA DE DESAGUE LEYENDA

ITEM	DESCRIPCION
1	TUBERIA MATRIZ VARIABLE PVC ISO 4435 S-20 DN 200
2	GOBO PVC DESAGUE UF DN160 x 45'
3	TUBERIA DE DESCARGA PVC, UF, ISO 4435 S-20, DN160
4	ANCLAJE CONCRETO f <sub>c</sub> =140 Kg/cm <sup>2</sup>
5	CAJA DE REGISTRO ESTANDAR CONCRETO
6	RESANE DE MORTERO 1:3
7	TAPA DE CONCRETO 0.30 x 0.60 m.
8	SILLA YEE PVC DN 200x160 mm. (CACHIMBA)

# SECCIONES DE VIAS

ESCALA 1/100



## SECCION A-A AV. HONORIO DELGADO

NORMAS TECNICAS VIGENTES	
DESCRIPCION	NORMA/ESPECIFICACION
TUBERIA DE POLICLORURO DE VINILO NO PLASTIFICADO PVC-U SERIE 25	N.T.P. ISO 4435 : 1998
TAPA DE CONCRETO ARMADO PARA BUZON	N.T.P. 338.111 : 1997
TAPA DE CONCRETO ARMADO PARA CAJA DE REGISTRO	N.T.P. 350.085 : 1997
MARCO DE FIERRO FUNDIDO GRIS PARA BUZON	N.T.P. 338.111 : 1997
CAJA PRE-FABRICADA DE CONCRETO PARA REGISTRO	N.T.P. 334.081 : 1999
CACHIMBA	N.T.P. ISO 4435 : 1998
ANILLO DE CAUCHO	N.T.P. ISO : 4633 : 1999
CEMENTO DISOLVENTE PARA UNION DE TUBERIAS Y CONEXIONES DE PVC-U (PEGAMENTO)	N.T.P. 339.090 : 2002

CUADRO DE METRADOS	
DESCRIPCION	CANTIDAD
TUBERIA PROYECTADA Ø 200mm HDPE PE-100	62.00 M.L.
No. DE BUZONES TÍPICOS	02 UNID.
TOTAL CONEXION DOMICILIARIA Ø 160mm PVC	1 UNID.

NOTA: EL CEMENTO A UTILIZAR SERA EL PORTLAND TIPO I

PROYECTISTA	SEDAPAL
 EQUIPO TECNICO NORTE PLANO APROBADO N° 332-2619 ETN (Escala 1:1000) Carta N° 1558-R ETN Fecha 26-11-19 Informa N° 487-19 Fecha 26-11-19 ARCHIVO N°	

PROPIETARIO: <b>CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA</b>	
PROYECTISTA:	ING. ALEJANDRINO YUPANQUI RAMIREZ CIP 82752
PROYECTO:	REDES SECUNDARIAS DE ALCANTARILLADO CLINICA MEDICA CAYETANO HEREDIA
SEÑALADO:	SAN MARTIN DE PORRES
DISEÑO:	A.Y.R.
VERIFICACION:	CONTTOP
ESCALA:	1/1000
FECHA:	OCTUBRE 2019
PLANO DE:	ING. ALEJANDRINO YUPANQUI RAMIREZ CIP 82752
REVISADO:	ING. ALEJANDRINO YUPANQUI RAMIREZ CIP 82752
APROBADO:	
TOTAL DE PLANOS: 01 DE 01	

D-01

## **ANEXO N° 04**



**ANEXO N° 05**

# GAMDI INGENIEROS CONSTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Asociación de Vivienda San Francisco de Cayran Mz. D1 Lote 13 - Distrito de San Martín de Porres - RUC : 20600218001  
E-mail: gamdisac@gmail.com - gilberto.gamarra.d@uni.pe / Teléfonos: 01-5317423 - 998738886

## PRESUPUESTO DE OBRA A TODO COSTO

OBRA REDES Y CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO  
"CONJUNTO MULTIFAMILIAR - MAGDALENA"  
UBICACION JR. SALAVERRY 245 ESQUINA JR. TACNA 360 a 380 - DISTRITO DE MAGDALENA  
CONTRATANTE JC CARAL MAGDALENA S.A.C.  
CONTRATISTA GAMDI S.A.C.  
ATENCIÓN ING. GIANFRANCO ESCAJADILLO PONCE - JEFE DE PROYECTOS  
FECHA Dic-20

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO	SUBTOTAL
<b>1.00</b>	<b>OBRAS PRELIMINARES</b>				<b>30,119.60</b>
1.01	Movilización y desmovilización de equipos	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
1.02	Campamento de obra	mes	2.00	1,800.00	1,800.00
1.03	Señalización de obra	ml	411.60	6.00	2,469.60
1.04	SSH p/obra	mes	1.50	450.00	675.00
1.05	Paz Laboral (sindicato)	mes	1.50	3,500.00	5,250.00
1.06	Agua p/obra	mes	1.50	1,250.00	1,875.00
1.07	Ubicación de interferencias (energía, gas, comunicaciones, etc)	und	9.00	450.00	4,050.00
1.08	Permisos municipales GDU y GTU - Lima	glb	1.00	2,000.00	2,000.00
1.09	Permisos municipales Magdalena del Mar	glb	1.00	1,500.00	1,500.00
1.10	Pago supervisión Sedapal	glb	1.00	5,500.00	5,500.00
1.11	Plan Desvío de tránsito	glb	1.00	3,000.00	3,000.00
	<b>REDES DE AGUA POTABLE</b>				<b>174,750.47</b>
<b>1.00</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>29,092.22</b>
1.01	Trazo y replanteo inicial de obra	ml	224.10	2.40	537.84
1.02	Corte de pavimento de concreto	ml	224.10	10.00	2,241.00
1.03	Demolición de pavimento de concreto	ml	224.10	25.00	5,602.50
1.04	Excavación de zanja H=1.20 mts	ml	224.10	30.00	6,723.00
1.05	Refine de zanja	ml	224.10	3.00	672.30
1.06	Cama de arena h=0.10 mts	ml	224.10	8.50	1,904.85
1.07	Protección de tubería c/arena h=0.50 mts	ml	224.10	12.50	2,801.25
1.08	Relleno compactado de zanja	ml	224.10	35.00	7,843.50
	Prueba de compactación de suelos (proctor modificado y de control de compactación - densidad de campo)	und	5.00	72.52	362.60
1.09	Riego de zona de trabajo para mitigar la contaminación - polvo (Incl. Costo de agua y transporte)				403.38
1.10	Surtidor a obra)	ml	224.10	1.80	
				5,602.50	<b>29,469.15</b>
<b>2.00</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS</b>				<b>29,469.15</b>
2.01	Suministro e instalación de tubería HDPE PE100,PN10 DN 250	ml	224.10	125.00	28,012.50
2.02	Pruebas hidráulicas	ml	224.10	6.50	1,456.65
<b>3.00</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS</b>				<b>4,200.00</b>
3.01	Codo 45° DN 250mm	und	4.00	600.00	2,400.00
3.02	Tapón DN 250 mm	und	6.00	300.00	1,800.00
<b>4.00</b>	<b>CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA</b>				<b>49,687.70</b>
4.01	Trazo y replanteo inicial de obra	ml	187.50	2.40	450.00
4.02	Corte de pavimento de concreto	ml	187.50	10.00	1,875.00
4.03	Demolición de pavimento de concreto	ml	187.50	22.00	4,125.00
4.04	Excavación de zanja H=1.20 mts	ml	187.50	25.00	4,687.50
4.05	Refine de zanja	ml	187.50	3.00	562.50
4.06	Cama de arena h=0.10 mts	ml	187.50	6.50	1,218.75
4.07	Protección de tubería c/arena h=0.50 mts	ml	187.50	10.50	1,968.75
4.08	Relleno compactado de zanja	ml	187.50	28.00	5,250.00
	Prueba de compactación de suelos (proctor modificado y de control de compactación - densidad de campo)	und	10.00	72.52	725.20
4.09	Rehabilitación de conexión domiciliar de agua	und	23.00	875.00	20,125.00
4.11	Conexión dom. especial de DN 40 mm(1 1/2") inc. caja portamedidor	und	2.00	2,500.00	5,000.00
4.12	Medidor de caudal diam 40mm (1 1/2")	und	2.00	1,850.00	3,700.00
<b>5.00</b>	<b>VARIOS</b>				<b>62,301.40</b>
5.01	Reposición de pavimento de concreto F'c=210 kg/cm2(Ancho=0.70m), incluye afirmado	ml	391.60	108.00	42,292.80
5.02	Prueba de resistencia a la compresión concreto	und	10.00	55.00	550.00
	Reposición de pavimento mixto (concreto F'c=210 kg/cm2 / asfalto e=2") (Ancho=0.70m), incluye afirmado	ml	20.00	135.00	2,700.00
5.03	Eliminación de excedentes	m3	218.04	48.00	10,465.80
5.04	Planos de replanteo de obra y expediente de recepción	und	1.00	3,000.00	3,000.00
5.06	Pintura de tráfico en vía afectada	ml	411.60	8.00	3,292.80

# GAMDI INGENIEROS CONSTRATISTAS GENERALES S.A.C.

Asociación de Vivienda San Francisco de Cayran Mz. D1 Lote 13 - Distrito de San Martín de Porres - RUC : 20600218001  
E-mail:gamdisac@gmail.com - gilberto.gamarra.d@uni.pe / Teléfonos:01-5317423 - 998738886

## PRESUPUESTO DE OBRA A TODO COSTO

OBRA REDES Y CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO  
"CONJUNTO MULTIFAMILIAR - MAGDALENA"  
UBICACION JR. SALAVERRY 245 ESQUINA JR. TACNA 360 a 380 - DISTRITO DE MAGDALENA  
CONTRATANTE JC CARAL MAGDALENA S.A.C.  
CONTRATISTA GAMDI S.A.C.  
ATENCIÓN ING. GIANFRANCO ESCAJADILLO PONCE - JEFE DE PROYECTOS  
FECHA Dic-20

ITEM	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO	SUBTOTAL
<b>REDES DE ALCANTARILLADO</b>					<b>41,600.00</b>
<b>1.00</b>	<b>CONEXIONES DOMICILIARIAS DE ALCANTARILLADO</b>				<b>41,600.00</b>
1.01	Instalación de conexiones domiciliaria de PVC ISO 4435 DN 160mm(Incluye gestiones administrativas)	und	8.00	5,200.00	41,600.00
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>246,470.07</b>
<b>GASTOS GENERALES</b>					19,717.61
<b>UTILIDAD</b>					17,252.91
<b>SUBTOTAL</b>					<b>283,440.59</b>
<b>IGV 18%</b>					51,019.31
<b>TOTAL</b>					<b>S/. 334,459.89</b>

SON: TRESCIENTOS VEINTICINCO MIL SETESIENTOS SESENTA Y CINCO CON 16/100 SOLES

**NOTA IMPORTANTE:** DE ACUERDO A LA CARTA N° 749 - 2020 - ET - C DE FECHA 02/12/2020, LAS CONEXIONES DOMICILIARIAS DE ALCANTARILLADO, SE GESTIONARÁN EN LA OPORTUNIDAD EN QUE SE EJECUTE Y RECEPCIONEN LAS OBRAS COMPLEMENTARIAS DE AGUA POTABLE

### NOTAS:

- 1 LA REPOSICION DEL PAVIMENTO CORRESPONDE AL ANCHO DE ZANJA, SIN EMBARGO LA MUNICIPALIDAD DE MAGDALENA DEL MAR PUEDE REQUERIR MAYOR AREA, SEGÚN LO INDIQUE EN EL PERMISO MUNICIPAL, ESTO DEPENDE DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO Y COMO ELLOS LO REQUIERAN, LO CUAL PODRIA AUMENTAR EL METRADO PRESUPUESTADO, LOS MISMOS QUE SERAN CONSIDERADOS COMO METRADOS ADICIONALES AL PRESENTE PRESUPUESTO
- 3 SE CONSIDERA QUE EL PAVIMENTO A REPONER ES DE CONCRETO SIMPLE DE F'c=210 KG/CM2
- 4 LOS EMPALMES DE AGUA POTABLE A LAS REDES EXISTENTES, SERAN EJECUTADOS POR SEDAPAL (NO CONSIDERADOS EN LA PROPUESTA)
- 5 SE INCLUYE POLIZA DE RESPONSABILIDAD CIVIL EXTRA CONTRACTUAL POR UN MONTO ASEGURABLE DE S/500,000.00 POR EL PLAZO DE EJECUCION DE OBRA
- 6 LA PRESENTE OFERTA INCLUYE LA RECEPCION Y PUESTA EN SERVICIO DE LA OBRA A CONFORMIDAD DE SEDAPAL Y EL PROPIETARIO
- 7 EL PLAN DE VIGILANCIA COVID 19, ASI COMO SU IMPLEMENTACION SE CONSIDERAN EN OTRA PROPUESTA

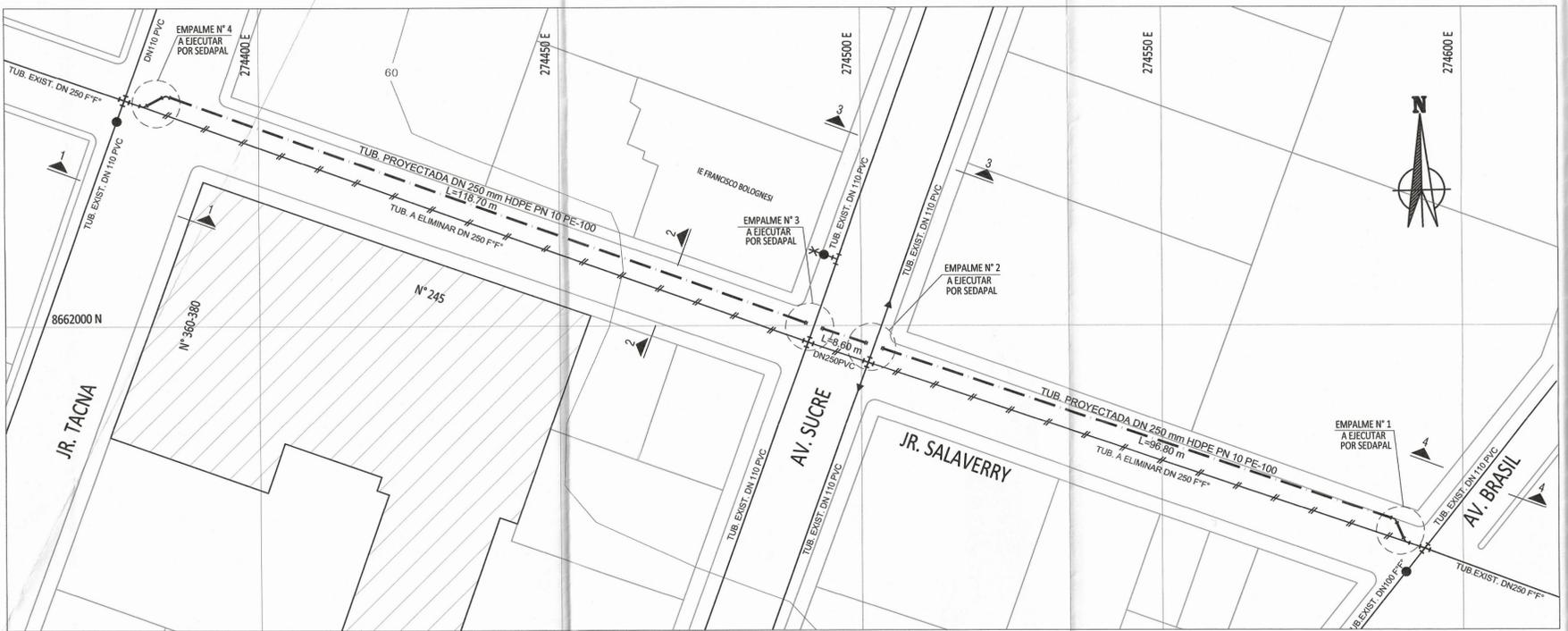
### PLAZOS PROPUESTOS

- Permisos municipales	60 dias utiles
- Permisos SEDAPAL	3 dias utiles
- Ejecucion de Obra	60 dias utiles
- Recepcion de Obra	15 dias utiles
Total	138 dias utiles

### COMENTARIOS

- LA FORMA DE PAGO SERA DE ACUERDO A LOS TERMINOS DEL CONTRATO DE OBRA
- EL PROPIETARIO FACILITARA LA DOCUMENTACION NECESARIA CON LA FINALIDAD DE REALIZAR TODAS LAS GESTIONES ANTE LAS ENTIDADES CORRESPONIENTES (SEDAPAL, LUZ DEL SUR, CALIDDA, ETC)

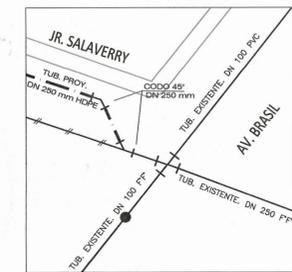
**ANEXO N° 06**



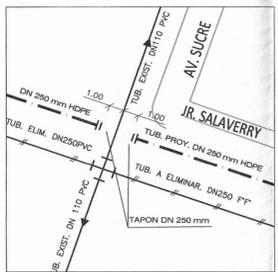
**PLANTA GENERAL - RED DE AGUA POTABLE**  
ESC. 1/500



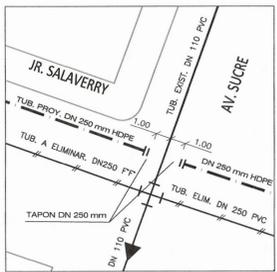
**PLANTA GENERAL - CONEXION DOMICILIARIA**  
ESC. 1/500



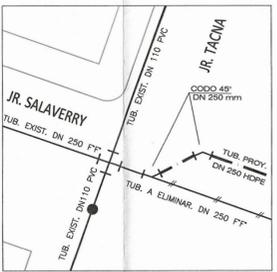
**DETALLE DE EMPALME N° 1**  
ESC. 1/250



**DETALLE DE EMPALME N° 2**  
ESC. 1/250



**DETALLE DE EMPALME N° 3**  
ESC. 1/250

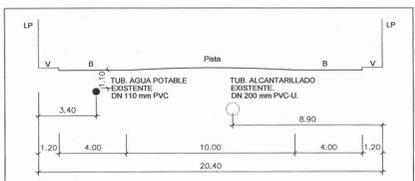


**DETALLE DE EMPALME N° 4**  
ESC. 1/250

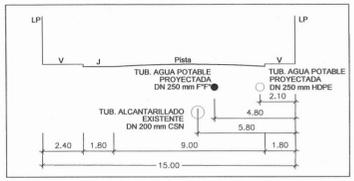
METRADO DE ACCESORIOS		
DESCRIPCION	UNID.	CANT.
TAPON DN 250 mm.	und.	04
CODO 45° DN 250 mm	und.	04

ACCESORIOS PROYECTADOS	
	CODO 45°
	TAPON

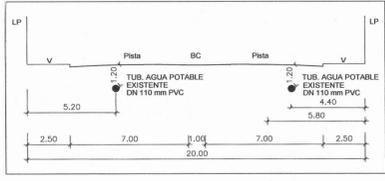
ACCESORIOS EXISTENTES	
	CRUZ



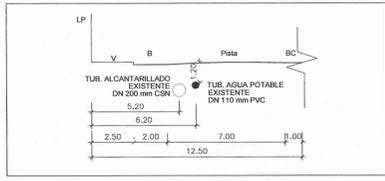
**SECCION 1-1**  
JR. TACNA - ESC. 1/200



**SECCION 2-2**  
JR. SALAVERRY - ESC. 1/200



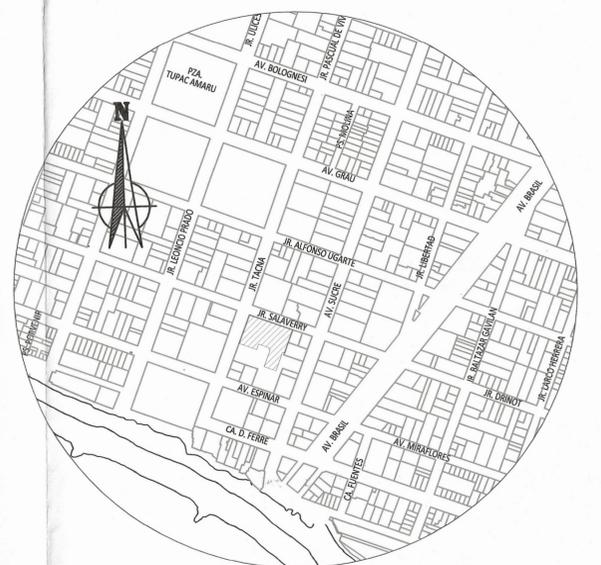
**SECCION 3-3**  
AV. SUCRE - ESC. 1/200



**SECCION 4-4**  
AV. BRASIL - ESC. 1/200

METRADO		
DESCRIPCION	UNID.	CANT.
TUBERIA AGUA POTABLE POLIETILENO PEAD DN 250 mm PN 10 PE-100 COLOR AZUL	ml.	224.10
CONEXION NUEVA DN 40 mm (1 1/2")	und.	02
CONEXION DOMICILIARIA REHABILITADAS	und.	23

LEYENDA	
DESCRIPCION	SIMBOLO
TUBERIA DE AGUA POTABLE EXISTENTE	
TUBERIA DE AGUA POTABLE PROYECTADA	
CONEXION DOMICILIARIA NUEVA	
CONEXION DOMICILIARIA REHABILITADA	
TUBERIA DE AGUA POTABLE A ANULAR	



**LOCALIZACION**  
ESC. 1/5000

DEPARTAMENTO : LIMA  
 PROVINCIA : LIMA  
 DISTRITO : MAGDALENA DEL MAR  
 NOMBRE DE LA VIA : JR. TACNA N° 360-380, ESQUINA JR. SALAVERRY N° 245

NORMAS TÉCNICAS VIGENTES (AGUA POTABLE)	
PRODUCTO	NORMA / ESPECIFICACIÓN TÉCNICA
TUBERIA DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD) (COLOR AZUL)	PE100 PN10 NTP: ISO 4427-2008
TAPAS Y MARCOS DE F" PARA CAJA VÁLVULAS	N.T.P. ISO 350-106-1998
ABRAZADERA PARA CONEXIÓN DOMICILIARIA	N.T.P. 339.137 : 2009 ABRAZADERAS TERMOPLÁSTICAS
VÁLVULAS DE PASO C/INPLE TELES C/OPICO Y SALIDA AUXILIAR PARA CONEXIÓN DOMICILIARIA	N.T.P. 339.165 : 2016 TERMOPLÁSTICAS
VÁLVULA DE COMPUERTA DE F"	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SEDAPAL RGG 047-2018, BASADAS EN LA N.T.P. - ISO 7759 : 2015
GRIFO CONTRA INCENDIO (HIDRANTE PÚBLICO) DE POSTE	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SEDAPAL CTPS-E-03
VÁLVULA DE TOMA (CORPORATION) Y DE PASO	N.T.P. 339.034 : 1997 DE RESINA TERMOPLÁSTICA
CAJA PORTAMEDIDOR DE CONCRETO	N.T.P. 334.081 : 1999
MARCO Y TAPA PARA CAJA PORTAMEDIDOR	N.T.P. 350.05 : 1997 DE ACERO GALVANIZADO
ACOPLES FLEXIBLES DE ALTO RANGO	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SEDAPAL CTPS-E-01 APROBADA CON RGG. 100-2000-GG (BASADA EN ANSIAWMA C219)
ANILLO DE CAUCHO	N.T.P. ISO 4633 : 1999
CEMENTO DISOLVENTE PARA UNIÓN DE TUBERÍAS Y CONEXIONES DE SU PESAMENTO	N.T.P. 399.090 : 2002 - CONSISTENCIA MEDIA
ACCESORIOS DE FIERRO FUNDIDO GRIS	N.T.P. 350.104 : 1997

NOTA 1:  
 LA OMISSION EN ESTOS CUADROS, DE ALGUN MATERIAL Y/O PROCESO CONSTRUCTIVO DE OBRA A SER REQUERIDO, DEBERÁ AJUSTARSE A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE SEDAPAL Y NORMAS TÉCNICAS VIGENTES.

NOTA 2:  
 EL CAMBIO INTEGRAL DE TODAS CON CONEXIONES DOMICILIARIAS EXISTENTES EN EL ÁREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO ES OBLIGATORIO, POR TANTO, EL NÚMERO Y UBICACIÓN DE LAS CONEXIONES DOMICILIARIAS A CAMBIAR SON REFERENCIALES.

NOTA 3:  
 LA UBICACION FINAL DE LA RED DE AGUA POTABLE SERA COORDINADO EN EL REPLANTEO, ANTES DEL INICIO DE OBRA



JOSE LUIS BALTODANO CAJAMUNI  
 INGENIERO SANITARIO  
 Reg. CIP N° 142456

JC CARAL MAGDALENA S.A.C.			
PROYECTO:	RED COMPLEMENTARIA Y CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE PARA EDIFICACION MULTIFAMILIAR, UBICADA EN EL JR. TACNA N° 360-380, ESQUINA JR. SALAVERRY N° 245 - DISTRITO MAGDALENA DEL MAR.	DISTRITO:	MAGDALENA DEL MAR
DIRECCION:	Jr. Tacna N° 360 - 380, esquina Jr. Salaverry N° 245	N° PROYECTO:	
DISEÑO:	J.R.C	N° PLANOTECNA:	
TOPOGRAFIA:	J.R.C		
ESCALA:	INDICADA		
FECHA:	JUNIO 2019		
PROF. RESP.:	ING. JOSE LUIS BALTODANO CAJAMUNI - CIP 142456		
REVISADO:			
APROBADO:			
			<b>AP-01</b>
			TOTAL DE PLANOS: 01 DE 01

**ANEXO N° 07**



**ANEXO N° 08**



**Cronograma Ejecucion de obra**

Obra: Rehabilitación de Red de Agua Potable y Conexiones domiciliarias a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium		Mes	JUN													
		#Sem.	SEM24							SEM25						
Cliente: JC CARAL MAGDALENA S.A.C.		#Dias	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Ejecutado por: GAMDI SAC		Dia	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Actividades		Fecha	07-lun	08-mar	09-mié	10-jue	11-vie	12-sáb	13-dom	14-lun	15-mar	16-mié	17-jue	18-vie	19-sáb	20-dom
<b>1</b>	<b>Obras Preliminares</b>															
1.01	Señalización del area de trabajo y desvío de tránsito															
1.02	Instalación de Campamento de Obra															
1.03	Trazo y replanteo inicial									T2						
1.04	Corte de pavimento de concreto									T2	T2					
1.05	Demolición/Retiro de pavimento de concreto										T2					
1.06	Ubicación de Interferencias										T2					
1.07	Eliminación de excedentes										T2					
1.08	Corte de rampa, vereda de concreto y/o jardín para conexión domiciliaria										T2					
<b>2</b>	<b>Linea Distribución Agua Potable</b>															
2.01	Trazo y Replanteo de Linea de Distribución											T2				
2.02	Excavación de zanja											T2	T2			
2.03	Eliminación de excedentes											T2	T2			
2.04	Refine y nivelación de zanja												T2	T2		
2.05	Cama de apoyo y tendido de tubería													T2		
2.06	Instalación de accesorios y anclajes													T2		
2.07	Unión de tuberías por Termofusión													T2		
2.08	Prueba hidráulica a zanja abierta	T1													T2	
2.09	Relleno y compactación con material selecto	T1														
2.1	Relleno y compactación con material propio	T1	T1													
2.11	Relleno y compactación con material de préstamo		T1	T1												
2.12	Prueba hidráulica a zanja tapada									T1						
<b>3</b>	<b>Conexiones Domiciliarias</b>															
3.01	Excavación de zanja	T1	T1												T2	
3.02	Eliminación de excedentes		T1													
3.03	Refine, nivelación y colocación de puntos de control		T1	T1												
3.04	Rehabilitación y/o Instalación de caja portamedidor		T1	T1												
3.05	Cama de apoyo e instalación de acometida			T1	T1											
3.06	Prueba Hidráulica ( Red + Conexiones) a zanja abierta				T1											
3.07	Relleno controlado y compactación con material propio					T1	T1									
3.08	Relleno controlado y compactación con material de préstamo						T1			T1						
3.09	Prueba Hidráulica ( Red + Conexiones) a zanja tapada									T1						
<b>4</b>	<b>Otros</b>															
4.01	Reposición de pavimento rígido									T1						
4.02	Reposición de veredas									T1						
4.03	Pintura de tráfico en vías										T1					

**ANEXO N° 09**



**ANEXO N° 10**



**Cronograma Ejecucion de obra**

Obra: Rehabilitación de Red de Agua Potable y Conexiones domiciliarias a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium		Mes	JUN	JUL	JUL	JUL	JUL									
		#Sem.	SEM26							SEM27						
Cliente: JC CARAL MAGDALENA S.A.C.		#Dias	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Ejecutado por: GAMDI SAC		Dia	L	M	X	J	V	S	D	L	M	X	J	V	S	D
Actividades		Fecha	21-lun	22-mar	23-mié	24-jue	25-vie	26-sáb	27-dom	28-lun	29-mar	30-mié	01-jue	02-vie	03-sáb	04-dom
<b>1</b>	<b>Obras Preliminares</b>															
1.01	Señalización del area de trabajo y desvío de tránsito															
1.02	Instalación de Campamento de Obra															
1.03	Trazo y replanteo inicial							T3								
1.04	Corte de pavimento de concreto							T3		T3						
1.05	Demolición/Retiro de pavimento de concreto							T3		T3						
1.06	Ubicación de Interferencias									T3						
1.07	Eliminación de excedentes															
1.08	Corte de rampa, vereda de concreto y/o jardín para conexión domiciliaria															
<b>2</b>	<b>Linea Distribución Agua Potable</b>															
2.01	Trazo y Replanteo de Linea de Distribución															
2.02	Excavación de zanja									T3						
2.03	Eliminación de excedentes									T3						
2.04	Refine y nivelación de zanja									T3						
2.05	Cama de apoyo y tendido de tubería											T3				
2.06	Instalación de accesorios y anclajes											T3				
2.07	Unión de tuberías por Termofusión											T3				
2.08	Prueba hidráulica a zanja abierta		T2									T3				
2.09	Relleno y compactación con material selecto		T2										T3			
2.1	Relleno y compactación con material propio		T2	T2									T3			
2.11	Relleno y compactación con material de préstamo			T2	T2								T3			
2.12	Prueba hidráulica a zanja tapada							T2					T3			
<b>3</b>	<b>Conexiones Domiciliarias</b>															
3.01	Excavación de zanja		T2													
3.02	Eliminación de excedentes			T2												
3.03	Refine, nivelación y colocación de puntos de control		T2	T2												
3.04	Rehabilitación y/o Instalación de caja portamedidor			T2	T2	T2										
3.05	Cama de apoyo e instalación de acometida			T2	T2											
3.06	Prueba Hidráulica ( Red + Conexiones) a zanja abierta				T2											
3.07	Relleno controlado y compactación con material propio					T2										
3.08	Relleno controlado y compactación con material de préstamo					T2	T2									
3.09	Prueba Hidráulica ( Red + Conexiones) a zanja tapada						T2									
<b>4</b>	<b>Otros</b>															
4.01	Reposición de pavimento rígido						T2	T2					T3			
4.02	Reposición de veredas							T2								
4.03	Pintura de tráfico en vías									T2						

## **ANEXO N° 11**



**Cronograma Ejecucion de obra**

Obra: Rehabilitación de Red de Agua Potable y Conexiones domiciliarias a beneficio del Conjunto Multifamiliar Villa Convivium	Mes	JUN	JUN	JUN	JUL	JUL	JUL	JUL
	#Sem.	SEM27						
Cliente: JC CARAL MAGDALENA S.A.C.	#Dias	31	32	33	34	35	36	37
Ejecutado por: GAMDI SAC	Dia	L	M	X	J	V	S	D
Actividades	Fecha	28-lun	29-mar	30-mié	01-jue	02-vie	03-sáb	04-dom
<b>1 Obras Preliminares</b>								
1.01 Señalización del área de trabajo y desvío de tránsito								
1.02 Instalación de Campamento de Obra								
1.03 Trazo y replanteo inicial								
1.04 Corte de pavimento de concreto		T3						
1.05 Demolición/Retiro de pavimento de concreto		T3						
1.06 Ubicación de Interferencias		T3						
1.07 Eliminación de excedentes					T3			
1.08 Corte de rampa, vereda de concreto y/o jardín para conexión domiciliaria								
<b>2 Línea Distribución Agua Potable</b>								
2.01 Trazo y Replanteo de Línea de Distribución								
2.02 Excavación de zanja		T3						
2.03 Eliminación de excedentes					T3			
2.04 Refine y nivelación de zanja		T3						
2.05 Cama de apoyo y tendido de tubería				T3				
2.06 Instalación de accesorios y anclajes				T3				
2.07 Unión de tuberías por Termofusión				T3				
2.08 Prueba hidráulica a zanja abierta				T3				
2.09 Relleno y compactación con material selecto					T3			
2.1 Relleno y compactación con material propio					T3			
2.11 Relleno y compactación con material de préstamo					T3			
2.12 Prueba hidráulica a zanja tapada					T3			
<b>3 Conexiones Domiciliarias</b>								
3.01 Excavación de zanja								
3.02 Eliminación de excedentes								
3.03 Refine, nivelación y colocación de puntos de control								
3.04 Rehabilitación y/o Instalación de caja portamedidor								
3.05 Cama de apoyo e instalación de acometida								
3.06 Prueba Hidráulica ( Red + Conexiones) a zanja abierta								
3.07 Relleno controlado y compactación con material propio								
3.08 Relleno controlado y compactación con material de préstamo								
3.09 Prueba Hidráulica ( Red + Conexiones) a zanja tapada								
<b>4 Otros</b>								
4.01 Reposición de pavimento rígido					T3			
4.02 Reposición de veredas								
4.03 Pintura de tráfico en vías		T2						