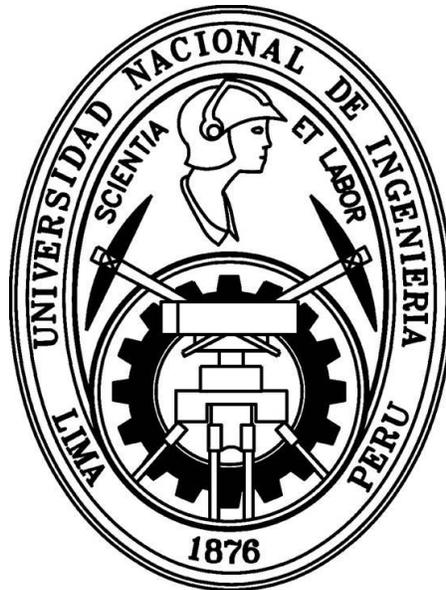


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TOMO I**

**APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES EN LA  
ESTIMACIÓN DE COSTOS DE UNA RED DE AGUA POTABLE**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil**

**ELABORADO POR**

**CESAR PILLACA SICHA**

**ASESOR**

**PhD. JUAN G. RÍOS SEGURA**

**Lima-Perú**

**2018**

© 2018, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados  
**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”**  
Pillaca Sicha, Cesar  
[cesar.pillaca.s@uni.pe](mailto:cesar.pillaca.s@uni.pe)  
977560762

Dedico esta tesis a mis  
padres

A la Universidad  
Nacional de Ingeniería

Al pueblo peruano.

## AGRADECIMIENTOS

- A mi madre, por ser la persona que me orienta con sus sabios consejos, para ser un mejor hombre día a día.
- A mi padre, por las enseñanzas que me ha inculcado.
- A mi hermano y mis hermanas, por el gran afecto que me tienen.
- Al centro de educación continua CEC-FIC-UNI, por brindarme el material teórico y a los respectivos especialistas para absolver cualquier duda.
- Al instituto de investigación de la facultad IIFIC-UNI por facilitarme sus ambientes para hacer realidad este sueño.
- Al Ing. Lucas, gerente general de L.A. Ingenieros S.A por darme las facilidades de ir a campo para la recolección de datos y poder observar los procedimientos constructivos en obra.
- Al CPCC Ángel F., gerente general de EMAPA CAÑETE S.A. por facilitarme la información técnica necesaria.
- A mis amigos y amigas por sus constante apoyo, consejos y humor.
- A Adriana, mi amiga, por su preocupación y apoyo incondicional.
- Al Ing. Lucas, mi profesor de matemáticas del colegio, por su tiempo compartido, sus sabios consejos y apoyo continuo.
- Finalmente, dar un especial agradecimiento a mi asesor el PhD. Ing. Juan G. Ríos Segura por las diferentes sugerencias, consejos, evaluaciones y temas recomendadas durante el desarrollo de la presente investigación.

## INDICE

	Pág.
<b>RESUMEN.....</b>	<b>5</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>7</b>
<b>PRÓLOGO.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>12</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>18</b>
1.1. GENERALIDADES.....	18
1.2. PROBLEMÁTICA.....	19
1.3. OBJETIVOS.....	20
1.3.1. Objetivo General.....	20
1.3.2. Objetivo Específicos.....	20
1.4. Hipótesis General.....	21
1.4.1. Hipótesis Específicas.....	21
1.5. ALCANCE.....	21
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>24</b>
2.1. PLANIFICACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO.....	24
2.1.1. Planeamiento estratégico.....	25
2.1.2. Planificación táctica.....	27
2.1.3. Planificación operativa.....	28
2.1.4. Planificación de contingencias.....	31
2.1.4.1. <i>Teoría de restricciones</i> .....	32
2.1.4.2. <i>Aplicación de la teoría de riesgos</i> .....	38
2.2. ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO DE OBRA.....	40
2.2.1. Sistema convencional de estimación de costos.....	41
2.2.1.1. <i>Parámetros del presupuesto de una obra</i> .....	41
2.2.1.2. <i>Análisis de costo unitario</i> .....	43
2.2.1.3. <i>Los gastos generales</i> .....	46
2.2.1.4. <i>Utilidad</i> .....	47
2.2.1.5. <i>Impuesto general a las ventas (IGV)</i> .....	48
2.2.1.6. <i>Estructura del presupuesto de obra por el método convencional</i> .....	48

2.2.2.	Estimación de costos aplicando la teoría de restricciones.....	49
2.2.2.1.	<i>Planificar y controlar un proyecto de construcción.....</i>	50
2.2.2.2.	<i>Planeamiento de obra.....</i>	51
2.2.2.3.	<i>Técnicas de programación de una obra.....</i>	51
2.2.2.4.	<i>Fundamentos de la construcción en cadena.....</i>	52
2.2.2.5.	<i>Relación costo-tiempo.....</i>	64
<b>CAPITULO III: SISTEMA CONVENCIONAL DE ESTIMACION DE COSTOS..</b>		<b>66</b>
3.1.	PRESUPUESTO DE OBRA.....	66
3.2.	PARÁMETROS PARA DETERMINAR LOS COSTOS DIRECTOS.....	66
3.2.1.	Memoria Descriptiva.....	66
3.2.1.1.	<i>Generalidades.....</i>	67
3.2.1.2.	<i>Descripción actual del sistema de agua potable.....</i>	72
3.2.1.3.	<i>Descripción del sistema de agua potable proyectado.....</i>	73
3.2.2.	Especificaciones técnicas.....	80
3.2.3.	Planos.....	80
3.2.4.	Planilla de metrados.....	81
4.1.1.	Análisis de costos unitarios.....	84
4.2.	COSTO DIRECTO.....	85
4.3.	COSTOS INDIRECTOS.....	87
4.4.	PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO.....	88
<b>CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS CON APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES.....</b>		<b>90</b>
4.1.	PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICO.....	91
4.2.	PLANIFICACIÓN TACTICO.....	92
4.3.	PLANIFICACION OPERATIVA.....	94
4.3.1.	Planificación general de obra.....	95
4.3.1.1.	<i>Planeamiento regional.....</i>	95
4.3.1.2.	<i>Planeamiento endógeno.....</i>	96
4.3.2.	Aspectos técnicos para determinar los costos.....	101
4.3.3.	Organización de la construcción en cadena.....	101
4.3.3.1.	<i>Cadena objeto.....</i>	102
4.3.3.2.	<i>Unidades de producción.....</i>	102
4.3.3.3.	<i>Nivel de desmembramiento.....</i>	104
4.3.3.4.	<i>Cadenas Especializadas.....</i>	104

4.3.3.5. <i>Calculo de volumen de trabajo</i> .....	107
4.3.3.6. <i>Cálculo de los parámetros de tiempo</i> .....	109
4.3.3.7. <i>Normal tecnológica de la obra</i> .....	126
4.3.3.8. <i>Asignación de recursos</i> .....	129
4.3.3.9. <i>Ciclograma de la obra</i> .....	134
4.3.3.10. <i>Programación de obra</i> .....	139
4.3.3.11. <i>Asignación de costos directos</i> .....	141
4.3.3.12. <i>Asignación de costos indirectos</i> .....	142
4.4. PLANIFICACION DE CONTINENCIAS.....	151
4.4.1. La meta del sistema.....	153
4.4.2. Las restricciones.....	154
4.4.3. Pasos del pensamiento sistémico.....	154
4.4.4. Aplicación de la teoría de riesgos.....	164
4.4.4.1. <i>Simulación de Monte Carlo</i> .....	165
4.4.4.2. <i>Parámetros de entrada al modelo matemático</i> .....	166
4.4.4.3. <i>Parámetros de la función probabilidad: Impacto y Probabilidad de ocurrencia</i> .....	167
4.4.4.4. <i>Diseño del modelo de la curva de distribución de probabilidad</i> .....	175
4.4.4.5. <i>Costo estimado de riesgo</i> .....	180
4.5. COSTO ESTIMADO TOTAL DEL PROYECTO.....	181
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE ESTIMACION DE COSTOS; CONVENCIONAL Y CON APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES</b> .....	<b>182</b>
5.1. GENERALIDADES.....	182
5.2. ANALISIS COMPARATIVO DE ESTIMACION DE PRESUPUESTO DE OBRA.....	184
5.3. CAUSAS DE LA VARIACION DE COSTOS.....	185
5.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS METODOLOGIAS UTILIZADAS EN LA ESTIMACION DE COSTOS.....	187
5.4.1. Ventajas y desventajas de la estimación de costos con la metodología convencional.....	187
5.4.2. Ventajas y desventajas de la estimación de costos aplicando TOC .....	188
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>193</b>

---

<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>196</b>
<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>198</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>200</b>
ANEXO A – CARTA ADICIONAL DE OBRAS	
ANEXO B – RENDIMIENTO DE CAMPO	
ANEXO C – DESCRIPCION DEL PROYECTO	
ANEXO D – ESPECIFICACIONES TECNICAS	
ANEXO E – PLANILLA DE METRADOS	
ANEXO F – ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS	
ANEXO G – RELACION DE INSUMOS	
ANEXO H – PRESUPUESTO BASE	
ANEXO I – CRONOGRAMA DE DESEMBOLSOS	
ANEXO J – CRONOGRAMA VALORIZADO	
ANEXO K – CRONOGRAMA OBRA	
ANEXO L – COSTO DIRECTO POR VOLUMEN DE TRABAJO	
ANEXO M – COTIZACIONES	
ANEXO N – PLANOS	

## RESUMEN

A través de los años se ha detectado que las entidades públicas y empresas privadas ligadas al sector de la construcción en su cultura de elaboración de costos de un proyecto, carecen de metodologías o herramientas fiables para desarrollar los estimado de costos, ya que cuando planifican el proyecto, estiman un valor de inversión, que resulta hasta cinco veces menor al valor con que se concluye el proyecto (Hinostraza J., 2016). Por ende, la capacidad de realizar mejores predicciones de costos es fundamental para el desarrollo exitoso del proyecto (Peter E. D. & Love, 2013).

Ante esta situación, surge la necesidad de proponer una nueva metodología de estimar costos, enfocado en la lógica de causa-efecto para identificar la causa raíz de los problemas que conlleva a la mala estimación de costos, donde básicamente se busca minimizar la diferencia entre el costo real y el costo estimado del proyecto. La presente investigación tiene por objetivo demostrar los beneficios que se obtiene al aplicar la Teoría de Restricciones en la estimación de costos, donde se combinan los Fundamentos de la Construcción en Cadena y los principios de la Teoría de Restricciones. La investigación se llevó a cabo, con la estimación del presupuesto base del proyecto de ampliación y mejoramiento de agua potable en la ciudad de Cañete en la etapa de elaboración de expediente técnico, como caso de estudio.

La Teoría de Restricciones desarrollado por Eliyahu Goldratt (1984), busca identificar las diferentes restricciones que surgen durante la etapa de construcción del proyecto, se encontró restricciones que surgen a causa de factores controlables al proyecto y restricciones que surgen a causa de factores no controlables al proyecto, esto debido a la gran incertidumbre que rodea la naturaleza misma del proyecto. Estas restricciones son sometidas a un proceso de mejora continúa denominado “los cinco pasos de la focalización”, con la cual se busca eliminar todas las restricciones. Sin embargo, existen restricciones que no se eliminan, la cuales en el desarrollo de la tesis son considerados como riesgos. Un paso fundamental para terminar dentro del costo, tiempo y calidad es eliminar los riesgos. La cual se garantizó con el análisis de cuantificación de riesgos planteado dentro del marco de la gestión de riesgos, con lo que se estimó el costo de contingencia mediante la simulación de un modelo matemático. La cual

debe ser considerada por los requerientes del proyecto, para evitar futuros inconvenientes durante el desarrollo del proyecto.

Mientras que el sistema de planeamiento y programación de obra planteado por M.S. Budnikov (1961), plasmada en su libro "Fundamentos de la Construcción en Cadena" en donde el proyecto se considera como un producto industrial, la producción de cual, es modelado en un ciclograma. La producción industrial muestra que el mejor método de su organización es el sistema de la cadena de producción que se diferencia por la uniformidad y continuidad del proceso tecnológico. La continuidad y uniformidad de la producción se expresan con un proceso continuo y consumo uniforme de los recursos laborales y técnico materiales, y también por la calidad del producto terminado de manera continua y uniforme.

En base a ello, la nueva metodología desarrollada para efectos de la tesis se pretende relacionar los diferentes escenarios que podría desencadenar el fracaso del proyecto, pero en base al nivel de planificación desarrollada por la organización, con la finalidad de proteger la continuidad del proceso constructivo y aumentar la confiabilidad de un trabajo continuo. Se debe tener en cuenta que el costo del proyecto es una derivada del sistema de planeamiento de obra. Con el sistema de planeamiento de obra se asegura que cada cadena especializa, proceso simple u operación tenga la oportunidad de ser ejecutada adecuadamente, en el lugar y momento apropiado, y con los recursos necesarios.

El resultado obtenido demuestra que la nueva metodología propuesta en estimación de costos, en la etapa de elaboración de expediente técnico, aplicado a proyectos de agua potable, ayuda a obtener un presupuesto más aproximado al costo real para el requeriente de la obra, donde además se consideró los costos de contingencia. Se concluye que en la cultura de la elaboración de los presupuestos bases aún existen defectos o vicios ocultos debido a que no se está tomando en consideración las diferentes restricciones que se podrían presentar durante la ejecución del proyecto. Entonces, para tales condiciones, aplicar la Teoría de Restricciones en la estimación de costos en obras de ampliación y mejoramiento del sistema de red de agua potable es factible.

## ABSTRACT

Over the years it has been detected that public entities and private companies linked to the construction sector in their culture of elaborating project costs, lack of reliable methodologies or tools to develop cost estimates, since when planning the project, they estimate an investment value, which is up to five times lower than the value at which the project is concluded (Hinostrroza J., 2016). Therefore, the ability to make better cost predictions is fundamental to the successful development of the project (Peter E. D. & Love, 2013).

In this situation, there is a need to propose a new methodology for estimating costs, focused on the cause-effect logic to identify the root cause of the problems that lead to the poor estimation of costs, where the aim is basically to minimize the difference between the real cost and the estimated cost of the project. The objective of this current research is to demonstrate the benefits obtained by applying the Theory of Restrictions in the estimation of costs, where the Fundamentals of Chain Construction are combined with the principles of the Theory of Restrictions. The investigation was carried out, with the estimation of the base budget of the project of expansion and improvement of drinkable water in the city of Cañete in the stage of preparation of technical file, as a case of study.

The Theory of Restrictions developed by Eliyahu Goldratt (1984), looks for identifying the different restrictions which arise during the construction phase of the project; it was found restrictions that arise due to controllable factors to the project and restrictions that arise due to uncontrollable factors to the project, this is because of the great uncertainty surrounding the very nature of the project. These restrictions are undergone to a process of continuous improvement called "the five steps of targeting", with which it seeks to eliminate all restrictions. However, there are restrictions that are not eliminated, which in the development of the thesis are considered as risks. A fundamental step to finish within cost, time and quality is to eliminate the risks. This was guaranteed with the risk quantification analysis proposed within the framework of risk management, with which the contingency cost was estimated by simulating from a mathematical

model, which should be considered by the project's requirements, to avoid future problems during the development of the project.

While the system of planning and programming of work proposed by M.S. Budnikov (1961), reflected in his book "Fundamentals of Construction in Chain" where the project is considered as an industrial product, the production of which, is modeled in a cyclogram. The Industrial production shows that the best method of their organization is the chain of the production that is differentiated by the uniformity and continuity of the technological process. The continuity and uniformity of production are expressed through a continuous process and uniform consumption of labor and technical material resources, and also by the quality of the finished product in a continuous and uniform manner.

Based on this, the new methodology developed for purposes of the thesis is intended to relate the different scenarios that could trigger the failure of the project, but based on the level of planning developed by the organization, in order to protect the continuity of the construction process and increase the reliability of continuous work. It must be taken into account that the cost of the project is a derivative of the work planning system. With the work planning system, it is ensured that each chain specializes; simple process or operation has the opportunity to be performed properly, in the appropriate place and time, and with the necessary resources.

The result obtained shows that the new methodology proposed in cost estimation, in the stage of elaboration of technical file, applied to drinkable water projects, helps to obtain a budget more approximate to the real cost for the request of the work, where it is also considered the contingency costs. It is concluded that in the culture of the preparation of the basic budgets there are still hidden defects or vicious due to the different restrictions that could occur during the performance of the project are not being taken into account. Then, for such conditions, apply the Theory of Restrictions in the estimation of costs in works of extension and improvement of the drinking water network system is feasible.

## PRÓLOGO

En la rama de la construcción, los proyectos de ingeniería de infraestructuras públicos y privados muestran frecuentes, y en ocasiones substanciales incrementos en sus costos reales con respecto a los costos estimados en la etapa de elaboración del expediente técnico. Esto debido a la gran incertidumbre que implica la naturaleza misma de los proyectos y principalmente a la ausencia de una metodología adecuada para la estimación de costos. La estimación ineficaz ha sido identificada durante mucho tiempo como una de las principales causas del fracaso de un proyecto. Por ejemplo, de acuerdo a la base de datos del portal de transparencia del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), los proyectos con presupuestos mayores a S/. 5'000,000.00 terminan por encima del plazo establecido y costo estimado en el presupuesto base del proyecto.

En la tesis se plantea una nueva metodología para la estimación de costos de un proyecto en la etapa de elaboración del expediente técnico, donde principalmente se utiliza la teoría de la producción en cadena para el planeamiento de obra y los principios de la teoría de restricciones complementada con la teoría de riesgos para el estimado de costos de contingencia. Lo cual permite elaborar un presupuesto base de mayor confiabilidad que el presupuesto base obtenido de manera tradicional. La aplicación eficaz de esta metodología evidentemente, exige un cambio cultural en los profesionales que realizan la estimación de costos en proyectos de ingeniería de infraestructura.

Por último, se concluye que los resultados obtenidos en la tesis de grado profesional son alentadores, al lograr aumentar la confiabilidad en la estimación de costos, pero con un enfoque innovador donde se analiza y cuantifican las diferentes situaciones imprevistas; donde el análisis tiene un sustento lógico en los procedimientos planteados en la Teoría de Restricciones y mediante la aplicación de la teoría de riesgos se cuantificó la variación del costo del proyecto, ocasionado por las diferentes situaciones imprevistas, la cual motiva a utilizar esta nueva metodología en la estimación de costos en todo tipo de proyectos de infraestructura, como un gran inicio en la búsqueda de cambiar la cultura existente en la estimación de costos actual e incentivar el uso de la nueva metodología como un cambio cultural para las nuevas generaciones. A la vez se han identificado posibles temas de interés para futuras investigaciones.

PhD. Juan G. Ríos Segura.  
Asesor

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 2.1</b>	Resultados de la implementación de la TOC.....	38
<b>Tabla 2.2</b>	Remuneración básica de jornal diario.....	44
<b>Tabla 2.3</b>	Estructura de presupuesto de obras por contrata.....	49
<b>Tabla 3.1</b>	Sectores de abastecimiento de la Línea de Aducción N°1.....	75
<b>Tabla 3.2</b>	Sectores de abastecimiento de la Línea de Aducción N°2.....	76
<b>Tabla 3.3</b>	Demanda Proyectada por Sectores al horizonte.....	78
<b>Tabla 3.4</b>	Metrado de redes por instalar.....	79
<b>Tabla 3.5</b>	Metrado de obras provisionales.....	82
<b>Tabla 3.6</b>	Metrado de redes de distribución principales “Matrices”.....	82
<b>Tabla 3.7</b>	Metrado de conexiones domiciliarias en redes principales.....	83
<b>Tabla 3.8</b>	Metrado de Micromedición.....	83
<b>Tabla 3.9</b>	Análisis de costos unitarios de una partida.....	85
<b>Tabla 3.10</b>	Análisis de costos unitarios de una subpartida.....	85
<b>Tabla 3.11</b>	Subpresupuesto de obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud.....	86
<b>Tabla 3.12</b>	Costo directo de los sub-proyectos.....	87
<b>Tabla 3.13</b>	Total presupuesto de obra.....	88
<b>Tabla 3.14</b>	Total presupuesto del proyecto.....	89
<b>Tabla 4.1</b>	Volumen de trabajo en la línea de aducción N° 01.....	107
<b>Tabla 4.2</b>	Unidades de producción en el proceso simple de líneas de aducción N°01 y N°02.....	112
<b>Tabla 4.3</b>	Unidades de producción en el proceso simple de redes primarias...	115
<b>Tabla 4.4</b>	Número de conexiones nuevas por sector.....	117
<b>Tabla 4.5</b>	Unidades de producción en el proceso simple de conexiones domiciliarias.....	118
<b>Tabla 4.6</b>	Agrupamiento de cuadrillas.....	122
<b>Tabla 4.7</b>	Unidades de producción en el proceso simple de cámaras de concreto .....	122
<b>Tabla 4.8</b>	Unidades de producción en el proceso simple de instalación de medidores.....	126
<b>Tabla 4.9</b>	Normal tecnológica para el proceso simple de líneas de aducción N° 01.....	127
<b>Tabla 4.10</b>	Recursos diarios para todas las unidades de producción del objeto construcción.....	129

<b>Tabla 4.11</b>	Costo directo del Objeto de Construcción.....	141
<b>Tabla 4.12</b>	Análisis de gastos generales y utilidad.....	143
<b>Tabla 4.13</b>	Duración promedio de EPP's.....	146
<b>Tabla 4.14</b>	Índice de Capacitación en S&SO.....	147
<b>Tabla 4.15</b>	Costo directo para Seguridad y Salud Ocupacional.....	148
<b>Tabla 4.16</b>	Costo de implementación de la estrategia de manejo medioambiental .....	150
<b>Tabla 4.17</b>	Costo relativo de calidad.....	151
<b>Tabla 4.18</b>	Definición de escalas de impacto.....	168
<b>Tabla 4.19</b>	Matriz de probabilidad e impacto.....	169
<b>Tabla 4.20</b>	Principales operaciones de proyecto.....	170
<b>Tabla 4.21</b>	Impacto positivo en el costo directo del proyecto.....	171
<b>Tabla 4.22</b>	Probabilidad de ocurrencia de las oportunidades en el costo directo de las operaciones del proyecto.....	172
<b>Tabla 4.23</b>	Análisis cualitativo de las oportunidades en el costo del proyecto..	172
<b>Tabla 4.24</b>	Impacto negativo en el costo directo del proyecto.....	173
<b>Tabla 4.25</b>	Probabilidad de ocurrencia de las amenazas en el costo directo de La operaciones del proyecto.....	173
<b>Tabla 4.26</b>	Probabilidad de ocurrencia de las amenazas en el costo directo de La operaciones del proyecto.....	174
<b>Tabla 4.27</b>	Cuantificación de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo.....	174
<b>Tabla 4.28</b>	Probabilidad de ocurrencia del costo modal.....	176
<b>Tabla 4.29</b>	Variable de riesgo en los costos.....	180
<b>Tabla 4.30</b>	Costo estimado de los riesgos.....	180
<b>Tabla 4.31</b>	Costo total estimado del proyecto.....	181

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b> Ciclo de inversiones.....	22
<b>Figura 2.1:</b> Proceso de planificación.....	25
<b>Figura 2.2:</b> Proceso de gestión de riesgos.....	39
<b>Figura 2.3:</b> Presupuesto de obra por contrata.....	41
<b>Figura 2.4:</b> Ciclograma de construcción en cadena.....	53
<b>Figura 2.5:</b> Sistema de red de agua potable existente en Imperial y San Vicente.....	55
<b>Figura 2.6:</b> Esquematización del desmembramiento de un Objeto de Construcción .....	57
<b>Figura 2.7:</b> Variedades de cadenas de construcción.....	59
<b>Figura 2.8:</b> Relación costo-tiempo.....	64
<b>Figura 2.9:</b> Comportamiento del costo total de un proyecto.....	65
<b>Figura 3.1:</b> Ubicación de la Provincia de Cañete.....	67
<b>Figura 3.2:</b> Ubicación del Distrito Imperial.....	68
<b>Figura 3.3:</b> Área de influencia del Proyecto y Sectores de abastecimiento.....	69
<b>Figura 3.4:</b> Esquema de sectorización de abastecimiento de agua.....	74
<b>Figura 4.1:</b> Involucrados al proyecto.....	91
<b>Figura 4.2:</b> Distribución en planta de instalaciones auxiliares.....	97
<b>Figura 4.3:</b> Descripción de las unidades de producción.....	103
<b>Figura 4.4:</b> Normal tecnológica del objeto de construcción.....	128
<b>Figura 4.5:</b> Ciclograma del objeto de construcción líneas de aducción N° 01 sin nivelar ritmos.....	134
<b>Figura 4.6:</b> Ciclograma del objeto de construcción líneas de aducción N° 01 con ritmo nivelado.....	135
<b>Figura 4.7:</b> Ciclograma del objeto de construcción sin ritmo nivelado.....	137
<b>Figura 4.8:</b> Ciclograma del objeto de construcción con ritmos nivelados.....	138
<b>Figura 4.9:</b> Es cronograma de duración teórica del desarrollo del objeto de construcción.....	141
<b>Figura 4.10:</b> Distribución de probabilidad.....	167
<b>Figura 4.11:</b> Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación Instalación de Medidor.....	178
<b>Figura 4.12:</b> Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación Montaje y colocación de tuberías y accesorios.....	178

---

<b>Figura 4.13:</b> Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación Cámaras de concreto.....	179
<b>Figura 4.14:</b> Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación Excavación de zanja.....	179
<b>Figura 5.1:</b> Interdependencia de los objetivos de un proyecto de construcción....	183
<b>Figura 5.2:</b> Sistema de objetivos de un proyecto de construcción y sus respectivos interfaces .....	183

## LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS

### SÍMBOLOS

$\alpha$	Indicadores de la uniformidad de la cadena.
A	Punto de mínimo tiempo o de máxima aceleración.
$\beta$	Indicadores de la productividad de la cadena.
c	Factor del módulo de ciclicidad.
$C_i$	Cantidad de días por tramo.
cm	Centímetro.
e	Espesor.
h-h	Hora-hombre.
h-m	Hora-maquina.
i	Intensidad de la cadena.
I	Índice de capacitaciones.
I	Intensidad de la cadena de construcción.
kg	Kilogramos.
kg-cm	Kilogramos por centímetro.
km	Kilometro.
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado.
k	Módulo de ciclicidad.
K	Ritmo de la cadena particular.
l/s	Litros por segundo.
m	Metro.
m <sup>3</sup>	Metro cubico.
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado.
m/seg	Metros por segundo.
mm <sup>2</sup> /día	Metro cuadrado por día.
ml/hr	Metro lineal por hora.
m <sup>2</sup> /hr	Metro cuadrado por hora.
m <sup>3</sup> /hr	Metro cubico por hora.
máx.	Máximo.
mm	Milímetros.
msnm	Metros sobre el nivel del mar.
m	Unidad de producción.

$n$	Número de cadenas particulares.
$N$	Punto de duración normal.
of	Oficial.
op	Operario
$P$	Volumen de trabajo.
$P_{cc}$	Volumen de trabajo de la cadena de construcción.
pe	Peón
p2	Pie cuadrado
$Q$	Trabajosidad.
$Q_{md}$	Caudal media diario.
$Q_{mh}$	Caudal medio horario.
$Q_{min}$	Caudal mínimo.
$Q_p$	Caudal promedio.
$r$	Pendiente.
RE	Reservorio.
$S$	Rendimiento de la cuadrilla por unidad de tiempo.
$t$	Duración de la cadena particular.
$T$	Tiempo total de ejecución de la cadena de construcción.
$T'$	Periodo de crecimiento de la potencia de producción
$T''$	periodo desplegado estabilizado de la cadena
$T'''$	Periodo de finalización de los trabajos.
$T_L$	Tiempo contractual.
$T_p$	Tiempo preparatorio.
$T_{co}$	Duración de la cadena de construcción.
$T_o$	Periodo de entrega final del objeto de construcción.
$T_r$	Periodo de reserva del objeto de construcción
$t_{fnc}$	Tiempo de factores no controlables.
$t_{pr}$	Tiempo de parámetros restrictivos.
$t_{1,mov}$	Tiempo de movilización de equipos y/o herramientas.
$t_{1,desmov}$	Tiempo de desmovilización de equipos y/o herramientas.
$t_{2,int}$	Tiempo de instalación.
$t_{2,desint}$	Tiempo de desinstalación.
Und	Unidad.
$V$	Ritmo de la cadena de construcción.

Vol	Volumen.
$V_T$	Volumen de trabajo.
X	Costo de la operación en el presupuesto.
$\gamma$	Indicadores del consumo del tiempo por unida producción.
$\delta$	Indicadores de uniformidad de consumo de recursos.
°C	Grados Celsius.

## SIGLAS

A.C.	Asbesto cemento.
AT&T	American Telephone and Telegraph
CD	Costo directo.
CDC	Costos de calidad.
CIS	Cámaras de ingreso al sector.
CNC	Costos de no calidad.
CNX	Conexión domiciliaria.
CRC	Costos relativos a la calidad.
DN	Diámetro nominal.
EMAPA	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Cañete
CAÑETE S.A.	S.A.
EQ.	Equipo.
EPP	Equipos de protección personal
EPS	Empresa prestadora de saneamiento.
G.G.F	Gastos generales fijos.
G.G.V.	Gastos generales variables.
IGV	Impuesto general a las ventas.
INVIERTE.PE	Sistema nacional de programación multianual y gestión de inversiones.
INS	Instalación de medidores.
lps	Litros por segundo.
MTC	Ministerio de Transportes y Comunicaciones
MVCS	Ministerio de vivienda construcción y saneamiento.
NTP	Norma Técnica Peruana.
ONG	Organismos no gubernamentales.

PERT	Program Evaluation Review Technique.
PIP	Proyectos de inversión pública.
PTAP	Planta de tratamiento de agua potable.
PTAR	Planta de tratamiento de agua residual.
PVC	Policloruro de vinilo.
SSI	Sistema de seguimiento de inversiones.
SUNASS	Superintendencia nacional de servicio de agua y saneamiento.
S&SO	Seguridad y salud ocupacional.
TOC	Teory of constraints.
VA	Válvula de aire.
VRP	Válvula reductora de presión.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. GENERALIDADES

En las últimas décadas los excesos de costo y tiempo aún persisten en los proyectos de construcción. Por ejemplo, se hizo una revisión, de la base de datos en el portal de transparencia del Ministerio de Vivienda, Construcción, y Saneamiento de proyectos públicos finalizados con presupuestos mayores a S/. 5'000,000.00 en Lima y provincias, encontrándose que más del 90% no cumplen con sus objetivos de costo y/o tiempo (Hinostroza J.,2016).

La gran mayoría de los proyectos de construcción experimentan sobrecostos de tiempo y costo. Este es especialmente el caso con el tamaño y la complejidad crecientes de los proyectos de construcción modernos, donde los excesos de tiempo y costo causan una pérdida de capital significativa para los propietarios del proyecto. (Chen, Jin, Xia, & Skitmore, 2015)

La capacidad de hacer predicciones de costos precisas es fundamental para la entrega exitosa del proyecto (Peter E. D. Love, 2013). En un intento de evaluar la probabilidad de sobrecostos y poner en marcha mecanismos para reducir su impacto, se han adoptado varias técnicas (Jahren y Ashe 1990, Flyvbjerg 2008). A pesar de la aplicación de tales técnicas y de la adopción de prácticas organizativas y de gestión innovadoras, los excesos de costos en los proyectos siguen siendo un problema generalizado (Hester y otros 1991, Ibbs y Allen 1995, Love 2002, Bhargava et al., 2010). De acuerdo a Flyvbjerg y Cowi (2004), los presupuestos imprecisos de esta naturaleza son el resultado de un sesgo de optimismo. Como resultado, el pronóstico de la clase de referencia se desarrolló para mitigar el riesgo de sesgo de optimismo que puede surgir durante la formulación de un presupuesto (Flyvbjerg y Cowi 2004; Flyvbjerg 2007a, 2008).

Este enfoque no intenta pronosticar eventos inciertos específicos que afectarán a un proyecto en particular, sino que coloca un proyecto en una distribución estadística de los resultados de la clase de puntos de referencia. Esencialmente, Flyvbjerg (2008) ha supuesto que los proyectos del mismo tipo experimentan

grados similares de sesgo de optimismo y sobrecostos, lo que es contrario a los hallazgos informados en otros lugares.

Un caso más específico en nuestro medio, en el año 2016 el Consorcio Ermitaño envía la carta No 1468-2016-EGP-N del proyecto “Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable y alcantarillado del esquema Independencia-Unificada y Ermitaño, Distrito de Independencia” a SEDAPAL solicitando un Adicional de obra, donde la entidad resuelve aprobar la elaboración del expediente técnico de la prestación Adicional de obra No 01 – modificación de las buzetas proyectadas en pasajes estrechos, correspondiente al contrato N° 069-2016-SEDAPAL (Ver anexo A), y por ende, se genera una elevación en el tiempo y costo total del proyecto.

## 1.2. PROBLEMÁTICA

Durante la fase de planeamiento del proyecto, uno de los procesos que se lleva a cabo es la estimación de la duración de las actividades a ejecutar y la estimación del costo de estas actividades. Dichas estimaciones se deben realizar con gran exactitud, ya que de estas inversiones estimadas depende: la planeación, ejecución, y finalización del proyecto, dentro de los parámetros de tiempo y costo establecido.

Para lograr lo anterior, es necesario considerar las variables que más influyen en el tiempo de ejecución, con el fin de disminuir las restricciones y eventos inesperados durante el proceso de ejecución de las diferentes actividades. Es importante evitar sobrestimar y subestimar la duración de una actividad, ya que esto afecta finalmente la estimación de la duración total de un proyecto y su costo, dando lugar a los adicionales y ampliación de plazo del proyecto.

A través de los años se ha detectado que las entidades públicas y empresas privadas, carecen de una metodología o herramientas fiables, para desarrollar los estimados de costos de un proyecto, ya que cuando planifican el proyecto, estiman un valor de inversión, que resulta hasta 5 veces menor al valor con que se concluye el proyecto, ocasionando con esto que se pierdan las rentabilidades en tiempo y costo de los mismos (Hinostroza J., 2016).

La estimación ineficaz ha sido identificada durante mucho tiempo como una de las principales causas de fracaso del proyecto (Flyvbjerg et al., 2009; Chan y Kumaraswamy, 1997; Pinto y Mantel, 1990) y Standish Group (1998, 2009) muestran más proyectos que fallan y tienen menos éxito.

La estimación de errores en paquetes de trabajo o actividades puede retrasar la consecución de un hito y alterar el cronograma restante del proyecto. La demora y la interrupción causadas por una mala estimación pueden llevar a la falla del proyecto (Lee et al., 2009) o, en el mejor de los casos, a la falla de gestión del proyecto, es decir, no entregar el proyecto a tiempo, dentro del presupuesto y según las especificaciones.

Derivado de lo anterior se propone establecer una metodología, objeto de esta investigación, donde se mencionan las técnicas necesarias y los pasos fundamentales para obtener el estimado de costo con la menor desviación posible del costo real de la obra. Dicha metodología se calibra y se compara contra proyectos similares, para conocer básicamente si la estimación se encuentra dentro de los rangos aceptables de un estimado de costo y tiempo confiable.

Esta metodología se desarrollará en base a los Fundamentos de la construcción en cadena y la Teoría de Restricciones, que permitirá identificar las restricciones del medio, que conllevan a la ampliación de plazo y adicionales de obra. ¿La aplicación de la Teoría de Restricciones permitirá optimizar el estimado de costos en la ampliación y mejoramiento del sistema de red de agua potable?

### 1.3. OBJETIVOS

#### 1.3.1. Objetivo General

- Aplicar la Teoría de Restricciones en la estimación de costos en obras de ampliación y mejoramiento del sistema de red de agua potable.

#### 1.3.2. Objetivo Específicos

- Determinar las causas que un sistema convencional de estimación de costos que conlleva, durante la ejecución de obra de ampliación y

mejoramiento de una red de agua potable, a sobrecostos y ampliación de plazo y plantear medidas para evitarlos.

- Establecer una metodología para estimar costos del proyecto de ampliación y mejoramiento de la red de agua potable aplicando la Teoría de Restricciones.
- Efectuar el análisis comparativo de los sistemas; convencional y mediante la aplicación de la teoría de restricciones.

#### 1.4. Hipótesis General

- Mediante la aplicación de la Teoría de Restricciones se podrá mejorar el estimado de costos en obras de ampliación y mejoramiento del sistema de red de agua potable.

##### 1.4.1. Hipótesis Específicas

- Determinando las causas que un sistema convencional de estimación de costos que conlleva, durante la ejecución de obra de ampliación y mejoramiento de una red de agua potable, a sobrecostos y ampliaciones de plazo, habrá medidas para evitarlos.
- La metodología propuesta permitirá optimizar la estimación de costos del proyecto de ampliación y mejoramiento de la red de agua potable aplicando la Teoría de Restricciones.
- Determinar la eficacia de los métodos de estimación de costos mediante el análisis comparativo de los sistemas; convencional y mediante la aplicación de la teoría de restricciones.

#### 1.5. ALCANCE

Durante el ciclo de inversión de un proyecto en general se tiene varias fases (ver Figura 1.1), según INVIERTE.PE<sup>1</sup> se componen de cuatro fases los cuales son:

---

<sup>1</sup> Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones



**Figura 1.1:** Ciclo de inversiones

**Fuente :** (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017) Recuperado de:

<https://www.mef.gob.pe/es/ciclo-de-inversion>

- **Programación Multianual de Inversiones:** Define indicadores de brechas y se desarrolla la programación multianual. Además, se establece la cartera de proyectos y se realiza la consolidación en el Programa Multianual de Inversiones del Estado. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017)
- **Formulación y Evaluación:** Es la etapa donde se llenan las fichas técnicas o se desarrollan estudios de pre-inversión, según corresponda. También se realiza la evaluación y registro de cada proyecto en el Banco de Inversiones. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017)
- **Ejecución:** Es la fase donde se trabaja en la elaboración del expediente técnico y ejecución del proyecto. Asimismo, se desarrollan labores de seguimiento físico y financiero a través del Sistema de Seguimiento de Inversiones. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017)
- **Funcionamiento:** Se realiza el reporte del estado de los activos. Así también, se programa el gasto para fines de operación y mantenimiento; y ocurre la evaluación ex-post de los proyectos de inversión. (Ministerio de Economía y Finanzas, 2017)

Es importante recalcar que efectos de la tesis, la estimación de costos mediante la aplicación de la Teoría de Restricciones del proyecto “Mejoramiento y aplicación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), distrito de Imperial-Cañete-Lima” se desarrollará en la fase de ejecución, donde se elabora el expediente técnico o

documento similar. Donde uno de los principales componentes del expediente técnico es el presupuesto base del proyecto.

La Empresa municipalidad de agua potable y alcantarillado de cañete (EMAPA CAÑETE S.A), es la unidad evaluadora y ejecutora del proyecto en adelante requeriente. Por ende, es responsable en la elaboración del presupuesto base del proyecto en la etapa de elaboración de expediente técnico y además realizar el proceso de convocatoria para la licitación del proyecto para seleccionar al contratista que se encargara del proceso constructivo, debiendo gestionar a tiempo los términos de referencia del proyecto.

Durante el proceso de convocatoria se establece un plazo máximo de ejecución de obra y costo del proyecto. Con el desarrollo de la tesis se pretende realizar una programación que termine dentro o antes del plazo de ejecución de la obra establecido y estimar un costo en donde la variación del costo estimado sea mínima con respecto al costo real de ejecución de obra.

El requeriente a la fecha cuenta con un expediente técnico elaborado en el año 2013 del proyecto “Mejoramiento y aplicación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), distrito de Imperial-Cañete-Lima”, que comprende en la reestructuración y renovación de las líneas de aducción, ampliación de redes matrices, sectorización y micromedición. Siendo este proyecto una prioridad para el mejoramiento de las condiciones de vida de la población de la localidad de Imperial. La Empresa Municipal de Abastecimiento de Agua y Alcantarillado proyectó ejecutar la obra al primer trimestre del año 2013, sin embargo, hasta la fecha aún no se realizó la ejecución de la obra.

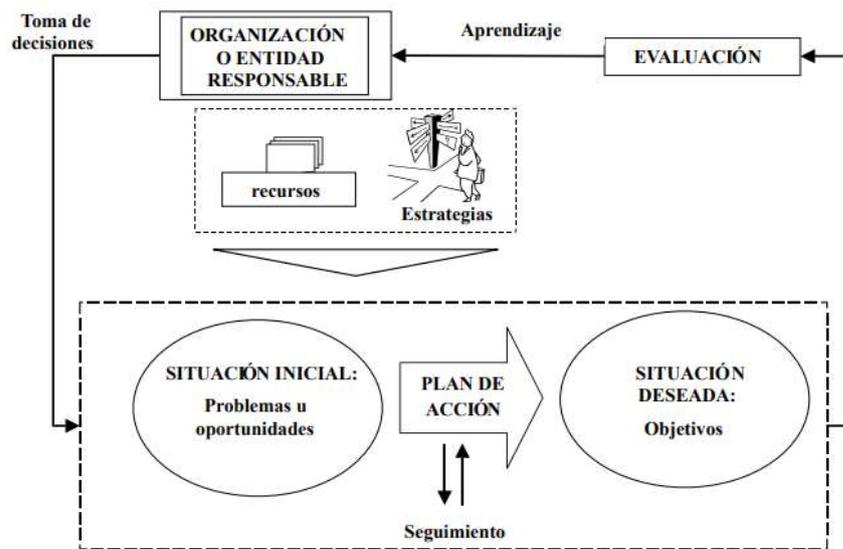
## CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

La determinación del presupuesto de un proyecto es una consecuencia de una buena planificación y el óptimo análisis de información del entorno del proyecto. Por ende, es importante desarrollar una adecuada planificación y programación de las actividades a desarrollar, ya que depende de ello el éxito de la finalización del proyecto dentro del plazo, calidad y costo establecido en la licitación del proyecto. (Mallma M., 2011)

Serpell A. (2008), señala que la construcción de una obra es un *proceso productivo* y como tal debe ser administrado. Esto significa planificar, organizar, dirigir, coordinar y controlar todas las actividades del proceso constructivo y del sistema con el fin de *convertir los recursos del sistema en un producto terminado*, que en el caso de la construcción corresponde a una obra. Por otra parte, se puede decir que la *producción* es todo proceso de transformación de unos recursos en bienes o servicios mediante la aplicación de una determinada tecnología. Por tanto, un *sistema productivo* tiene como función principal, la de convertir un conjunto de recursos materiales y humanos (input), a los cuales se les aplica una cierta tecnología que permite obtener un conjunto de resultados deseados, bienes o servicios (output). (Meléndez R., 2013)

### 2.1. PLANIFICACIÓN INTEGRAL DEL PROYECTO

Es un procedimiento formal para generar resultados articulados, en la forma de un sistema integrado de decisiones. En otras palabras, la planificación se refiere a la formalización, lo que significa la descomposición de un proceso en pasos claros y articulados y de esta manera replicados y verificados formalmente (Ver Figura 2.1). La planeación está asociada de esta manera a un análisis racional (Mintzberg, 1994). Planificar es pronosticar hoy la realidad que se quiere tener en un futuro cercano. “La esencia está en invertir un poco de tiempo para luego ejecutar la tarea en un futuro en mucho menos tiempo y con la mayor efectividad” (Carnota O., 1991). Por ende, la administración de un proyecto sin la planificación del curso de acción de la organización se transforma en una serie de cambios aleatorios sin dirección. (Serpell A., 2008)



**Figura 2.1:** Proceso de planificación  
Fuente: (Cruz, 1991)

La planificación es un medio para mirar al futuro y decidir qué hará la organización en el futuro (Jan W. & Lidon, 1999). En proyecto de construcción es similar, donde se enfoca el proyecto en base a niveles de planificación (Planificación Estratégica, Planificación Táctica y Planificación Operacional) que la organización establece para garantizar llegar al meta final (Serpell A., 2008), y adicionalmente realizar la planificación de contingencias.

### 2.1.1. Planeamiento estratégico

El planeamiento estratégico es el inicio del proceso de planificación de una organización y se basa en una visión y en los valores de dicha organización (Meléndez R., 2013). En el planeamiento estratégico se identifican las orientaciones fundamentales que servirán como una guía en el mediano y largo plazo, el funcionamiento de una organización y es ejecutada por la alta dirección de la organización; por esta razón es importante poder dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Quiénes son?, ¿Por qué existen? y ¿Hacia dónde van? Y las respuestas lo encontramos con la Visión y Misión planteada por la organización.

**Visión:** La Visión es una representación de lo que la organización deberá ser en el futuro.

**Misión:** La Misión es la formulación de los propósitos de la organización, y debe generar compromisos e inducir actitudes hacia a la organización.

Este tipo de planificación está diseñado para satisfacer las metas generales de la organización. Donde se establecen los objetivos de la organización y definir los procedimientos adecuados para alcanzarlos. Además de planes, son la guía para que la organización obtenga y aplique los recursos para lograr los objetivos. Este proceso dinámico es lo suficientemente dinámico para permitir y hasta forzar modificaciones en los planes, a fin de responder a las cambiantes circunstancias (Cotrina C., 2008).

El planeamiento estratégico involucra el dominio de temas como la demanda por los servicios y los factores que la afectan, la capacidad de oferta, fortalezas, debilidades y oportunidades de la organización, análisis del entorno competitivo y cambios tecnológicos, así como las implicancias de carácter financiero inherentes a las decisiones operativas. (Cotrina C., 2008)

El planeamiento estratégico es importante porque:

- Mantiene el enfoque en el presente y futuro.
- Fortalece los principios adquiridos en la misión, visión y estrategia.
- Fomenta el planeamiento y las comunicaciones interdisciplinarias.
- Asigna prioridades en el uso de los recursos.
- Constituye el puente con el proceso de planeamiento táctico a corto plazo.
- Obliga a los ejecutivos a ver el planeamiento desde la macroperspectiva, señalando los objetivos centrales, de manera que las acciones diarias acerquen cada vez más a la meta planteada.

Finalmente, en la planificación estratégica se debe determinar específicamente, que resultados desea alcanzar la organización y como se va a medir. Estableciendo una línea de base realista, en base a las realidades externas e internas a la organización. (Brydson D., 2018)

### Características

1. **Periodo:** Se orienta a largo plazo (más de 5 años).
2. **Nivel de Dirección:** La alta dirección: Dirección general, Presidente Ejecutivo, Gerente General, Gerente de División, etc.
3. **Alcance:** Medio Externo y toda la organización.
4. **Propósito y Meta:** Se definen las metas y objetivos de la empresa.
5. **Contenido:** Amplio y general.

### 2.1.2. Planificación táctica.

Meléndez, R. (2013), propone que una vez planteada la planificación estratégica se deben desarrollar los planes o planeaciones tácticas, los cuales deben coordinarse e integrarse para dar sustento al planeamiento estratégico y está orientado a soluciones a mediano plazo, lo cual está determinado por cada gerente de unidad o departamento de la organización. Se basa en la utilización efectiva de las herramientas disponibles para asegurar que el rendimiento de la organización en la producción resulte acorde con lo establecido en el planeamiento estratégico (Cotrina C., 2008). Es la fase más importante del planeamiento estratégico, es la puesta en práctica del mismo, por lo que, se necesita comprender y descifrar los objetivos estratégicos; luego identificar los cursos de acción que se utilizaran para alcanzar esos objetivos propuestos. (Brydson D., 2018)

Con la planeación táctica se puede hacer frente a los diferentes escenarios encontrados en la organización, con el fin no sólo de anticiparse a los cambios, sino también con el de manejarlos o “gestionarlos” eficientemente en el análisis de sensibilidades y riesgos externos que se pueden suscitar en el entorno de la organización (Cotrina C., 2008). Involucra la implementación de planes de actuación ante los escenarios: conforme se pone en marcha, puede darse el caso remitirse a decisiones anteriores, incluso algunas que forman parte de la misma base o punto de partida, y reevaluarlas a la luz de las nuevas circunstancias y nunca estático: se requiere estar preparado para modificar los planes y posiblemente cambiar de dirección cuando las circunstancias lo ameriten.

#### **Herramientas a considerar en caso de obras.**

En los proyectos de construcción de obras el planeamiento táctico es utilizado por el Gerente de Proyecto, Ingeniero Residente o Jefe de Obra, en concordancia con el planeamiento estratégico definido por la alta dirección de la organización, para lo cual se utiliza una serie de herramientas que le permite viabilizar, siendo los siguientes:

- Utiliza el Planeamiento Exógeno o Regional para definir el entorno de la obra, si hay buenas vías de comunicación, si existen puntos de agua o cantera cerca de la obra (verificación de expediente técnico), etc.

- Utiliza la distribución en planta (Planeamiento Endógeno o Layout Planta), para optimizar el uso de las instalaciones provisionales y los accesos dentro de la obra.
- Utiliza una herramienta de programación para plasmar en un gráfico a manera de organigrama, los frentes de trabajo, la sectorización de la obra y la descomposición de la misma hasta alcanzar un nivel tal en que seamos capaces de controlar la obra.

### Características:

1. **Periodo:** Se orienta a soluciones a mediano plazo.
2. **Nivel de Dirección:** Es un medio para alcanzar objetivos por departamentos y/o gerencias.
3. **Alcance:** Unidades estructurales y oficina más pequeña.
4. **Propósito y Meta:** Instrumentar y activar los planes.
5. **Contenido:** Detallado (Calendario, procedimientos, reglas).
6. **Precisión:** Razonablemente seguras.

#### 2.1.3. Planificación operativa.

Para que los Planes Tácticos funcionen tienen que desdoblarse en planes o Planeamientos Operacionales, los mismos que son a corto plazo. La planificación operativa consiste en formular planes a corto plazo que pongan de relieve las diversas partes de la organización. Se utiliza para describir lo que las diversas partes de la organización deben hacer para que la organización tenga éxito a corto plazo. (Cotrina C., 2008)

Planificación Operativa se ha definido como el diseño de un estado futuro deseado para una organización y de las maneras eficaces de alcanzarlo (Ackoff R., 1970). De acuerdo a Patrick J. Montana y Bruce H. Charnov, el plan operativo es diferente de una organización a otra, pero en todos los casos proporciona suficiente documentación y datos para ser revisados por la organización y que se integren en el conjunto del plan de operaciones corporativas.

El planeamiento operativo a nivel de una obra, es el conjunto de decisiones que toma la Gerencia del Proyecto y/o Residente de obra para llevar a cabo la obra,

estas decisiones van desde: la cantidad de frentes de trabajo a atacar, la simultaneidad de avance entre los frentes, la secuencia de avance, la ubicación de talleres, la ubicación de campamentos, la ubicación de materiales en campo, el espacio físico de la obra, el espacio físico que ocuparán los materiales, el sistema constructivo, la innovación tecnológica, la constructabilidad del proyecto, la cantidad de personal que se contratará, etc.; todo este conjunto de decisiones son preguntas que todos los Gerentes de Proyectos se hacen y se responden cuando van a empezar a planificar una obra, es claro que realmente las decisiones que tomemos en ésta etapa y lo acertado que sean al momento de elegir las mejores alternativas para cada uno de éstas preguntas dependerá en gran medida del éxito o fracaso del proyecto encomendado y como consecuencia de ésta planificación se elabora la Programación de obra (Meléndez R., 2013). Con la finalidad de determinar el desarrollo de la ejecución del proyecto en el plazo previsto y dentro de presupuesto establecido (Cotrina C., 2008).

### Características

1. **Periodo:** Se orienta a soluciones a corto plazo. Abarca cada unidad o departamento de la organización, se realiza para cada obra.
2. **Nivel de dirección:** A nivel de Gerente de proyectos y/o Ingeniero Residente.
3. **Alcance:** Unidades estructurales y oficina más pequeña.
4. **Propósito y Meta:** Herramientas para el trabajo diario, que deben ser controladas permanentemente, es un proceso de retroalimentación continua, para reprogramar controlar y evaluar sucesivamente.
5. **Contenido:** Partiendo de un programa maestro, empleando redes que determinan ruta o rutas críticas, elaboración programas de las 3 semanas (look ahead planing). A nivel de detalle, incluye ordenes de trabajo, nombre de los componentes de cuadrillas diarias, materiales y equipos a utilizar diariamente en cada tarea.
6. **Precisión y predictibilidad:** Seguridad de cumplir objetivos trazados. Es determinada por cada gerente de departamento o unidad de la Organización. En este caso por el Gerente de Proyectos y/o Residente de Obra.

#### a) Planeamiento Regional o Exógeno

Es el planeamiento que tiene en cuenta el entorno de la obra, teniendo en consideración factores de importancia que afectan la economía de la obra, debido a que existen varias partidas que dependen de los equipos básicos, ya sean suministros, movilización de recursos tanto de materiales como humanos. (Serpell A., 2008)

De acuerdo a Mallma M. (2011) el planeamiento regional evalúa la disponibilidad de la mano de obra, materiales y otros recursos en la zona, recursos básicos como captación de agua, electricidad, alcantarillado, caminos de accesos, clima, canteras, lugar de botaderos, apoyo logístico, etc.

Cotrina C. (2008) propone las siguientes cuestiones para desarrollar el planeamiento regional de la obra.

- Por la zona se puede contratar fácilmente mano de obra calificada (no necesariamente lugareños).
- Los materiales de construcción serán traídos de canteras de afuera de la ciudad (Fábricas o distribuidoras, empresas concreteras).
- La zona cuenta con los servicios básicos de agua, luz y desagüe.
- La obra está dentro del Distrito.
- La población se encuentra dentro del área de influencia del proyecto
- La comunicación no es un problema debido a encontrarse en una zona urbana, se cuenta con todos los medios de comunicación (telefonía fija y móvil, internet, fax, etc.)
- Por encontrarse en una zona urbana los recursos humanos y no humanos es fácil de adquirir.
- Los trabajos se realizarán al aire libre, manteniendo el tránsito y la seguridad vial, tratando de no alterar la tranquilidad de la población durante la ejecución de la obra.
- El orden y la limpieza será constante fuera y dentro del área de influencia de la obra tratando de evitar problemas, como la emisión de partículas.

## **b) Planeamiento Endógeno**

Es la organización de la distribución en planta de la obra de las diferentes instalaciones provisionales, ubicación de lugares de almacenamiento de materiales y equipos, del recorrido de personal y equipo, puntos de agua y

ubicación sanitarias, señalizaciones áreas restringidas y zonas de seguridad. (Serpell A.,2008)

En la distribución en planta se determinan las instalaciones auxiliares necesarias para un periodo de tiempo limitado. Una evaluación incorrecta de las instalaciones provisionales puede significar perder utilidades esperadas de la obra. (Cotrina C., 2008)

### **Objetivos de la distribución en planta**

- Minimizar el costo de las instalaciones provisionales.
- Reducir al máximo el área necesaria.
- Incrementar la eficiencia de las operaciones para promover una alta productividad en obra de los trabajadores.
- Disminución de los retrasos en la producción.
- Establecer un grato ambiente de trabajo, seguro, cómodo de modo de atraer, retener y mantener satisfecho al personal.
- Reducción del riesgo para la salud y aumento de seguridad de los trabajadores.
- Obtener una buena calidad de trabajo.
- Aumentar la reutilización de las instalaciones.
- Minimizar las distancias de viaje del personal, equipos y acarreo de los materiales.
- Reducir interferencias de tránsito, congestión y confusión en la obra.
- Aislar las actividades contaminantes.
- Diseñar un buen sistema de drenaje.
- Estabilizar las áreas del tránsito pesado.
- Evitar la reubicación de las instalaciones por falta de planificación.
- Coordinar e integrar las actividades de las instalaciones provisionales con el plan y programa del proyecto.
- Estandarizar las instalaciones.
- Planificar un manejo y control eficiente de las instalaciones

#### **2.1.4. Planificación de contingencias.**

El proceso lógico del planificación es el siguiente: primero se elabora el Planeamiento Estratégico (a cargo de la alta dirección de la institución u

organización), luego el Planeamiento Táctico (a mediano plazo, a cargo de los gerencia de línea de la organización o entidad) e inmediatamente después el Planeamiento Operativo (a Corto Plazo, a cargo del Gerente de Proyecto y/o Residente de obra); pero es necesario contar con Planes de Contingencia con la finalidad de salvar situaciones imprevistas, los cuales se elaboran a nivel del plan táctico y operativo, como Plan alternativo si sucediera algún evento no deseado. (Meléndez R., 2013)

Los planes de contingencia se deben plantear de cara a futuros acontecimientos imprevistos que afecten la continuidad de las operaciones de la organización. Los responsables de la Planificación, deben evaluar constantemente los planes creados del mismo modo deberán pensar en otras situaciones que se pudiesen producir y afectar los objetivos estratégicos de la organización. (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), 2010)

La identificación de las situaciones imprevistas deberá ser realistas y eficaces, tomando en consideración la eficiencia con respecto al costo, tiempo y calidad. Las cuales se desarrolla en base a lineamientos establecido por la teoría de restricciones y la gestión de riesgo. (Cotrina C., 2008)

#### 2.1.4.1. *Teoría de restricciones.*

La Teoría de Restricciones (TOC, por sus siglas en inglés), es una filosofía administrativa integral que utiliza los métodos usados por las ciencias puras para comprender y gestionar los sistemas con base humana (Goldratt E. & JeffCox, 1998). Fue planteada por un físico israelí llamado Eliyahu Goldratt en 1984 con la publicación de su libro La Meta. Este libro narra la historia de un joven gerente (Alex Rogo) de una planta de producción en crisis que en su lucha para evitar el cierre y venta inminente encuentra a un antiguo maestro y amigo suyo (Jonah); este le explica y enseña una novedosa técnica de resolución de conflictos llamada "Procesos de Pensamiento", esta técnica ayuda a Alex aumentar las utilidades de su planta evitando su cierre (Aguilera C., 2000). En el campo académico, la Teoría de Restricciones es una metodología sistémica de gestión y mejora de procesos de una organización. (Reyes E., 2008)

En un inicio, Eliyahu Goldratt propone cinco pasos de focalización con el fin de

incrementar el desempeño productivo de las organizaciones y los difundió a través de su libro *La Meta*. Su teoría tuvo gran impacto y aceptación a nivel mundial, donde las empresas no solo corrigieron sus problemas en el área de producción, sino que a su vez incrementarían la productividad empresarial (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013). A medida que los problemas trascendían en los campos productivos y operacionales, Goldratt desarrolló los procesos de pensamiento lógico para convertir la Teoría de Restricciones en una metodología de enfoque que permite aplicar los procesos de mejora continua.

Según Umble (1995) la Teoría de Restricciones enfoca un conjunto de conocimientos, principios, herramientas y aplicaciones que simplifican la gestión de los sistemas, utilizando la lógica pura o sentido común. De acuerdo a Calvachi B. & Gonzalez F. (2013) en la actualidad, la Teoría de Restricciones se fundamenta en la metodología sistémica y la metodología de enfoque que permiten entender el modelo de gestión propuesto por Goldratt.

#### **a. Metodología sistémica**

Goldratt afianza los temas y/o conceptos desarrollados en la “Teoría de los Sistemas”<sup>2</sup> y propone una visión sistémica, en donde una organización a pesar de considerarse un sistema complejo está compuesta por subsistemas que deben interactuar entre sí para lograr un objetivo común, tal como se ve en los eslabones de una cadena. Por esto, “el objetivo de cualquier componente es contribuir a un mejor desempeño del sistema gracias a la interacción de los esfuerzos individuales” (Lapore & Cohen, 2002, p.27), y no a maximizar su desempeño individual. No porque los subsistemas de un conjunto estén optimizados, sino el sistema estará optimizado en su totalidad debido a que busca ser más eficientes de manera individual se pone en peligro la meta global de la organización. (Deming, 1994)

A partir de ello, Goldratt entiende que la organización no es un ente aislado, que se pueden sincronizar las estrategias que buscan mejorar el desempeño de los procesos internos con relación al entorno. De acuerdo a lo desarrollado, propone analizar las organizaciones a través de una visión sistémica, en donde cada

---

<sup>2</sup> Surge de la teoría general de sistemas. Una organización podrá ser entendida como un sistema o subsistema, dependiendo del enfoque. El sistema total es aquel representado por todos los componentes y relaciones necesarios para la realización de un objetivo, dado un cierto número de restricciones.

organización se debe considerar como un subsistema que hace parte de un sistema mayor conocido como sector, que a su vez es un subsistema de un sistema mayor conocido como Organización, y así sucesivamente. (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013)

### **b. Método de enfoque**

Como la organización es un sistema complejo, no es posible atacar todas las ramificaciones de los problemas que se presenten porque esto implicaría a la gerencia incurrir en gastos de recursos en tiempo y dinero; además de ruidos en el sistema que dispersan la atención. Por esta razón, TOC<sup>3</sup> en su metodología sugiere enfocar las acciones para combatir el problema raíz que mejore el rendimiento de sistema a través de la gestión interna de los procesos productivos, y no tratar de solucionar los mayores problemas que sean viables pero que no sean relevantes. (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013)

Para identificar el problema, en una metodología de enfoque busca comprender la dependencia del funcionamiento interno del sistema, evaluando cada una de las interrelaciones de todos los subsistemas que lo conforman. Para ello, se utiliza un modelo de lógica causa-efecto que permite entender el proceso lógico y físico que gobierna la organización (Goldratt, 2004). Con esto, se pueden hallar las restricciones (los eslabones más débiles de la cadena) para determinar la resistencia o capacidad máxima de la organización y es la principal causa por la cual el sistema no puede alcanzar mayores beneficios económicos (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013). Existen dos tipos de restricciones<sup>4</sup>:

**Restricciones Lógicas:** Son las reglas establecidas por la organización y que en ocasiones impiden llegar a la meta. (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013)

**Restricciones Físicas:** Son las limitaciones de los recursos tangibles de una empresa (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013). Estas restricciones pueden ser de abastecimiento de productos en el mercado, capacidad de producción, falta de insumos, etc. Para este caso, los recursos que limitan

---

<sup>3</sup> Theory of Constraints

<sup>4</sup> Es la capacidad máxima de la organización o resistencia y es la principal causa por la cual el sistema no puede alcanzar mayores beneficios económicos respecto a su meta.

el flujo máximo de producción dentro del sistema se denominan Recursos de Restricción de Capacidad.

Calvachi B. & Gonzalez F. (2013) afirma: “En TOC, los aspectos físicos que limitan las organizaciones son los cuellos de botella<sup>5</sup>, mientras que los lógicos son denominados Conflicto Raíz<sup>6</sup>” p.20.

Con el objetivo de encontrar los conflictos que se presentan en la organización, TOC plantea los procesos de pensamiento gerencial que trabajan bajo el supuesto básico que en la dinámica de una empresa, existen pocas causas que explican todos los efectos que en ella surgen (Corbett, 1998). Este es un modelo de gestión diferente que trata de encontrar la raíz del problema a través de la formulación de las siguientes preguntas claves:

- ¿Qué cambiar? – Análisis del Problema
- ¿Hacia qué cambiar? - Estratégica a seleccionar
- ¿Cómo lograr el cambio? – Táctica a realizar

La respuesta a estas preguntas se obtiene a través de instrumentos denominados diagramas de pensamiento lógicos<sup>7</sup> que permiten entender el sistema y ayudan a la gestión gerencial a desarrollar procesos de pensamiento gerencial (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013). Los diagramas de pensamiento gerencial usados en la Teoría de Restricciones son:

- Árbol de Realidad Actual.
- Árbol de Realidad Futura.
- Árbol de Prerrequisitos.
- Árbol de transición.
- Estrategia & Táctica.

---

<sup>5</sup> Es el recurso que limita el flujo de material dentro de los procesos de una compañía. Esto quiere decir que este recurso cuenta con una capacidad de producción menor a la demanda que se ejerce sobre él.

<sup>6</sup> El conflicto Raíz es una situación donde dos posiciones entran en conflicto, este conflicto es la causa donde se originan los otros problemas dentro del sistema.

<sup>7</sup> Los Diagramas de Pensamiento Lógico se establecen a partir de diagramas de causa – efecto y se establecen como diagramas de árbol.

A través de estas herramientas, las personas aprenden a comprender de forma más rápida los diferentes problemas y a buscar soluciones efectivas, de manera lógica. (Lapore & Cohen, 2002)

Los procesos de pensamiento lógico ayudan a visualizar las restricciones que limitan las utilidades de la empresa, “por esta razón TOC propone cinco pasos de enfoque que ayudan a mejorar el desempeño productivo de las organizaciones, maximizar las restricciones e incrementar la rentabilidad organizacional” (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013, p.30)

### **c. Cinco pasos de enfoque**

Los cinco pasos<sup>8</sup> de enfoque establecidos en la Teoría de restricciones surgieron para dar solución a los problemas presentados por la organización, y que son la causa de la disminución de la productividad del sistema. Estos pasos permiten eliminar el conflicto raíz<sup>9</sup>, focalizando las estrategias hacia la meta del sistema. Para ello es necesario comprender su ciclo dentro del sistema.

- **Paso 1: Identificar la restricción del sistema.**

Identificar una restricción significa que ya tenemos alguna apreciación de la magnitud de su impacto sobre el desempeño general del sistema (Estrategia focalizada, 2012). Para identificar la restricción dentro del sistema, se propone la construcción del árbol de realidad actual<sup>10</sup> (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013). Esta herramienta permite visualizar de forma explícita las interdependencias que existen entre los subsistemas del sistema y de esta manera identificar los efectos indeseables que se presentan en la organización, las cuales generan baja productividad y pérdidas en la rentabilidad empresarial.

- **Paso 2: Explotar la restricción del sistema.**

Luego de identificar la restricción se debe obtener el rendimiento máximo de esta, para que la capacidad máxima del sistema no sea inferior a la esperada.

---

<sup>8</sup> Los cinco pasos de enfoque establecidos en TOC, es un proceso de mejora continua que permite obtener la mayor utilidad explotando las restricciones del sistema al máximo.

<sup>9</sup> es una circunstancia donde dos posiciones entran en conflicto, este conflicto es la causa donde se originan los otros problemas dentro del sistema.

<sup>10</sup> Técnica basada en la lógica para usar relaciones de causa y efecto que determinan el problema fundamental que genera los efectos indeseables observados en el sistema.

Es decir, que se deben focalizar las estrategias en maximizar el desempeño de la restricción con el fin de obtener la máxima rentabilidad (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013).

- **Paso 3: Subordinar la restricción.**

Este paso busca poner a trabajar los demás recursos a la misma velocidad de la restricción, garantizando un flujo constante de la cadena de suministros. Es importante que todos los componentes de la organización trabajen en función de la restricción para que la restricción tenga un flujo permanente de suministros y se evite el deterioro del desempeño global del sistema (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013).

- **Paso 4: Elevar la restricción del sistema.**

Cumplidos los tres primeros pasos y que se hayan agotado las soluciones, lo único que queda realizar es buscar nuevas alternativas para incrementar el desempeño y la capacidad de la restricción (Acero E., 2003).

- **Paso 5: Regresar al paso 1.**

Luego de haber realizado los cuatro pasos anteriores, lo más probable es que una nueva restricción tome el lugar de la restricción anterior, por lo que es necesario volver al **paso 1**: identificar la nueva restricción (Calvachi B. & Gonzalez F., 2013). Lo cual se puede entender como un proceso de mejora continua.

En conclusión, lo que se busca con los cinco pasos de la Teoría de Restricciones es que exista una sincronización ideal del flujo de la organización con relación a las restricciones del sistema.

Una vez, implementada la Teoría de Restricciones como una filosofía de mejora continua es fundamental medir el desempeño del sistema. Para ello Teoría de Restricciones considera los medidores financieros<sup>11</sup> como un mecanismo que

---

<sup>11</sup> un método de contabilidad paralelo al de la contabilidad financiera, donde permite analizar los datos de manera sencilla y eficaz. Este nuevo método consiste en condensar todas las cuentas que utiliza la contabilidad de financiera de la organización.

permite conocer el impacto de las decisiones tomadas sobre la rentabilidad de la organización.

#### **d. Resultados de la Teoría de Restricción (TOC)**

Los resultados obtenidos aplicando la Teoría de Restricciones son motivadores para seguir investigando más sobre este nuevo enfoque de dirección organizacional, Según Drucker P. (1998) un estudio académico independiente de ochenta casos de implementación de la Teoría de Restricciones a nivel mundial dejó los siguientes resultados (Ver tabla 2.1).

**Tabla 2.1** Resultados de la implementación de la TOC

<b>Resultados en:</b>	
Tiempo de entrega	Una reducción del 69%
Cumplimiento de las entregas	Mejora del 60%
Niveles de inventario	Reducción del 50%
Ingresos	Incremento del 68%

Fuente: adaptado de Mabin V. & Balderstone S., (2000)

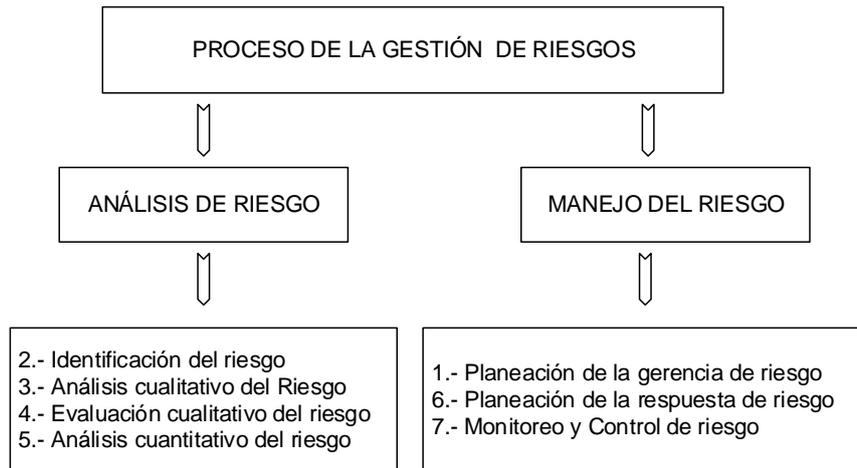
#### *2.1.4.2. Aplicación de la teoría de riesgos.*

La Gestión de Riesgos es un procedimiento dentro de la organización, que incluye los procesos necesarios de identificación, análisis, respuesta y supervisión a los riesgos del proyecto. Esto incluye maximizar las probabilidades y consecuencias de los eventos positivos u oportunidades de un proyecto y minimizar las probabilidades y consecuencias de los eventos adversos o amenazas de un proyecto. (Vilchez W., 2006)

Consiste en los siguientes procesos:

- Planificación de la Gestión de Riesgos.
- Identificación de Riesgos.
- Análisis Cualitativo de Riesgos.
- **Análisis Cuantitativo de Riesgos.**
- Plan de Respuesta a los Riesgos.
- Supervisión y Control de Riesgos.

La gestión de riesgos es un proceso sistemático de identificar, analizar y responder a los riesgos que se generan en los proyectos (Ver figura 2.2).



**Figura 2.2:** Proceso de gestión de riesgos  
Fuente: Cotrina C., 2008

La gestión de riesgos<sup>12</sup> es una de los procedimientos claves para el éxito en la dirección de proyectos moderna, ya que atender anticipadamente los elementos que generan oportunidades o amenazas en el proyecto, es uno de los factores críticos para cumplir con los objetivos del mismo. (Vilchez W., 2006)

Recordemos que en la implementación de la estrategia de manejo medio ambiental establecido en el expediente técnico del proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete - Lima” en la etapa de construcción, se establece todos los procedimientos técnicos que permitan afrontar situaciones de riesgo que puedan ocurrir durante la etapa de construcción del proyecto, en base a los procesos de la gestión de riesgos. Sin embargo, no se ha estimado el posible impacto que tiene estas situaciones de riesgo en el costo del proyecto, desde el punto de vista netamente monetario.

Tener una metodología para manejar las situaciones de riesgo de la construcción, y poder cuantificar la variación del costo de la obra a causa de estas situaciones de riesgo, tendría un impacto positivo en la administración de un proyecto durante la fase de construcción, ya que le haríamos frente a la incertidumbre que existe en todo proyecto, manejando de una manera sistémica los procesos orientados a identificar, analizar y responder a los riesgos del proyecto (Vilchez W., 2006).

<sup>12</sup> Riesgo es una medida de la magnitud de los daños frente a una situación de peligro.

La estimación de la variación del costo del proyecto, se desarrollará de acuerdo al Análisis Cuantitativo de Riesgos propuesto en la Tesis “Modelo de gestión de riesgos para proyectos de construcción en el Perú”.

#### **a. Análisis Cuantitativo de Riesgos.**

El análisis cuantitativo de los riesgos se utiliza para estimar las posibles variaciones que pueden tener el costo del proyecto y el plazo del proyecto. Para calcular estas variaciones, es necesario poder asignar probabilidades a cada una de las duraciones de las actividades del proyecto. Estas duraciones sirven para generar simulaciones múltiples, que permiten determinar la probabilidad de terminar el proyecto en un rango de fechas (Vilchez W., 2006). La misma técnica sirve para estimar la probabilidad de obtener un costo en un cierto rango.

Además, tiene la finalidad de analizar numéricamente la probabilidad de cada riesgo y sus consecuencias en los objetivos del proyecto, así como también la magnitud del riesgo total del proyecto (Vilchez W., 2006). Durante este proceso se pueden usar una serie de herramientas como la simulación de Monte Carlo<sup>13</sup> para:

- Determinar la probabilidad de alcanzar un objetivo específico del proyecto.
- Cuantificar la exposición al riesgo del proyecto y determinar el tamaño de las reservas de contingencia de costo y tiempo necesarias.
- Identificar los riesgos que requieren una mayor atención mediante la cuantificación de su contribución relativa al riesgo del proyecto.
- Identificar objetivos de costo, tiempo y alcance realistas.

Las simulaciones son los métodos de análisis cuantitativos más confiables para la gestión de riesgos de un proyecto. Una simulación de un proyecto utiliza un modelo que traduce las incertidumbres especificadas a un nivel detallado en su impacto potencial en los objetivos, que están expresados al nivel de todo el proyecto. (Vilchez W., 2006)

## **2.2. ESTIMACIÓN DEL PRESUPUESTO DE OBRA**

El presupuesto de un proyecto es el valor monetario de los consumos de los factores de producción, mano de obra directa, materiales e insumos de

---

<sup>13</sup> Monte Carlo es una técnica de resolución de problemas que se utiliza para aproximar la probabilidad de ciertos resultados mediante la solución de varias ejecuciones de prueba, llamados simulaciones, usando variables aleatorias.

construcción, maquinaria, equipo/herramientas y gastos indirectos consumidos durante el proceso constructivo que supone el ejercicio y desarrollo de una serie de actividades destinadas a la construcción, mejora, reconstrucción, habilitación u otros conceptos relacionados con la ejecución del proyecto. (Salinas M. & Álvarez, J., 2013)

Es importante señalar que la estimación del presupuesto de obra analizado en esta tesis, es elaborada para la modalidad<sup>14</sup> de ejecución de obra por contrata y para el tipo de contrata<sup>15</sup> a precios unitarios.

### 2.2.1. Sistema convencional de estimación de costos

En el sistema convencional de estimación de costos se considera que el presupuesto de un proyecto está constituido por la suma de Costos Directos, Costos Indirectos, Gastos Generales, Utilidad e Impuesto General de Ventas.

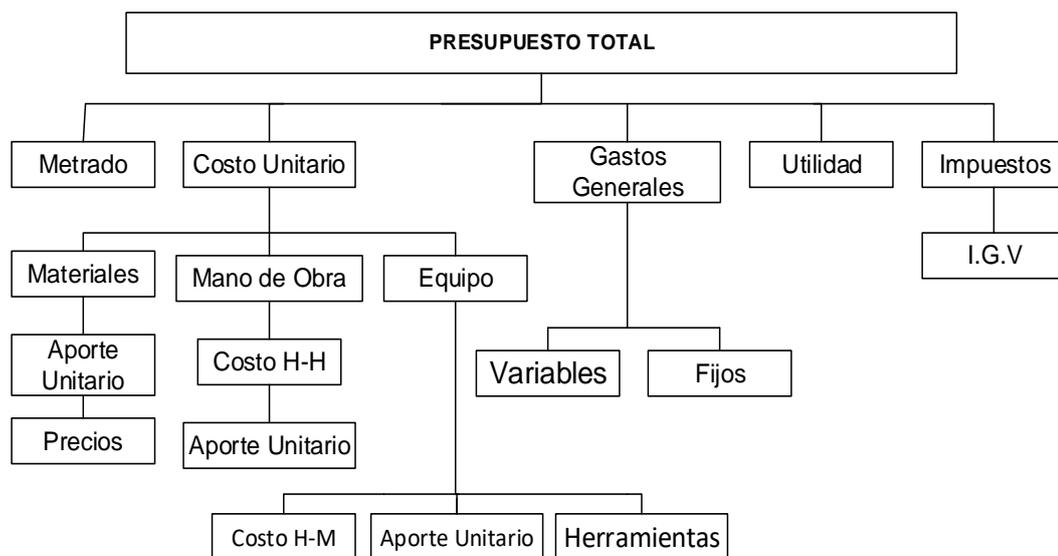


Figura 2.3: Presupuesto de obra por contrata

Fuente: Salinas M., 2013

#### 2.2.1.1. Parámetros del presupuesto de una obra.

##### a) Determinar Partidas:

<sup>14</sup> Es el tipo de contrato de construcción de una obra. De acuerdo al Art. 166° del Reglamento de Contrataciones y Adquisiciones del Estado, existen la modalidad de ejecución por Administración Directa y la modalidad de ejecución por Contrata.

<sup>15</sup> De acuerdo al Art. 56 del Reglamento de la Ley de Contrataciones y Adquisiciones del Estado, se establece que, en nuestro medio básicamente se manejan los contratos de suma alzada y de precios unitarios.

La palabra partida en la construcción se puede definir como el nombre en el que se identifica al trabajo a realizar para: cuantificar, presupuestar, evaluar y programar las actividades de la obra.

Se crearon las partidas y sub partidas a partir de la definición de la estructura de descomposición del trabajo, que tiene una estructura jerárquica que está formada por todos los productos entregables. Asimismo, estas también provienen de todas las tareas y recursos necesarios para la construcción de la obra en cuestión.

La creación de partidas y sub partidas se desarrolló durante la fase de programación de obra y de la mano con la norma técnica de metrados.

## **b) Metrados**

Es la cuantificación de la cantidad de obra a ejecutar por partidas. El metrado debe realizarse con un proceso ordenado y sistemático, en base a las partidas, existen varias formas de metrar: Por conteo, por acotamiento, por gráficos, con instrumentos, mediante software, por formulas con isométricos. Meléndez R. (2013) propone las siguientes recomendaciones generales para efectuar un buen metrado:

- *Que la persona que va metrar tenga conocimiento y buen criterio técnico sobre este proceso.*
- *Deberá efectuarse un estudio integral de los planos y especificaciones técnicas.*
- *Deberá tenerse un conocimiento in situ de las condiciones y características topográficas del terreno donde se va ejecutar las obras.*
- *Aplicación de la normatividad vigente (Reglamentos).*
- *Establecer un orden y sistema de metrar.*
- *Utilizar formatos.*

Con la finalidad de tener un metrado en concordancia en nuestro medio y facilitar la identificación de partidas que el contratista entienda, es recomendable utilizar las especificaciones técnicas para ejecución de obras de SEDAPAL<sup>16</sup>, las misma que es aprobada por la R.G.G. N° 252-99-GG, de fecha 1999-10-13 y sus modificaciones.

---

<sup>16</sup> Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima

### c) Planos

Los planos son la representación gráfica de la futura construcción, donde se añaden elementos que permiten su visualización a detalle del proyecto a construir. Un plano se puede representar a diferentes tipos de escala, según la cantidad de información a representar y tamaño de la obra. (Salinas M. & Álvarez J.F., 2013)

#### 2.2.1.2. Análisis de costo unitario

Esta establecido por la siguiente sumatoria:

**Costo Unitario**=Costo de Mano de obra + Costo de los Materiales + Costo de Equipos y Herramientas.

De acuerdo a Meléndez R. (2013) “es importante manifestar que los análisis de costos unitarios deben ser compatibles con sus respectivas especificaciones técnicas, sin embargo, para lograr un análisis de costo unitario lo más aproximado a la realidad debe ser elaborado por una persona con experiencia en el tipo de proyecto, a fin de que tome en cuenta la mayor cantidad y en forma óptima, todos los componentes que se requieren para ejecutar la partida” (p.65).

#### a) Costo de Mano de Obra

Es el costo previsto por el tipo y cantidad de trabajadores de la construcción que se planifica y que son empleados temporalmente para la ejecución de una actividad o de un proceso constructivo de obra en un periodo de tiempo que sean requeridos. “Es el parámetro más difícil de evaluar por tratarse del factor humano” (Meléndez R., 2013, p.65), el costo de la mano de obra está definido por los siguientes factores:

- El costo de un obrero de construcción civil por hora (Hora-Hombre).
- El rendimiento de un obrero o cuadrilla de obrero que ejecuta un determinado trabajo, “parámetro muy variable y que de no darse los criterios asumidos por el Analista puede llevar al atraso y/o pérdida económica de una obra” (Meléndez R., 2013, p.65). El rendimiento permite determinar en “**Aporte Unitario de mano de obra**”.

$$\text{Aporte de mano de obra} = N^{\circ} \text{ de obreros} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{Rendimiento}}$$

El costo de la mano de obra está determinado por tres categorías tales como: Operario, Oficial, y Peón. Meléndez R. (2013) afirma: “dentro de la estructura de mano de obra se considera al CAPATAZ con un costo de hora-hombre variable, que va de un 10% al 20% más del costo horahombre del Operario” (p.66).

Costo h-h del Capataz= De 1.10 a 1.20 Operario.

El costo de la mano de obra es la sumatoria de los siguientes rubros que están sujetos a las disposiciones legales vigentes:

- Jornal básico (comprende la remuneración básica)
- Beneficios sociales.
- Bonificación Única de Construcción.
- Bonificación de movilidad acumulada
- Bonificación por alta especialización.
- Bonificación por altitud.
- Derecho de altura.
- Bonificación por riesgo de trabajo bajo la cota cero.
- Certificación de competencias y capacitaciones.

De acuerdo con lo anterior el costo de la hora hombre, para el periodo 01.06.2012 al 01.05.13, es el siguiente:

**Tabla 2.2** Remuneración básica de jornal diario

<b>COSTO DE MANO DE OBRA EN CONSTRUCCION CIVIL</b>			
<b>Costo de Hora-Hombre (Vigencia: 01.06.2012 al 31.05.2013)</b>			
<b>CONCEPTO</b>	<b>OPERARIO</b>	<b>OFICIAL</b>	<b>PEON</b>
Jornal Básico	48.60	41.60	37.20
Bonificación Unificada de la Construcción	15.55	12.48	11.16
Movilidad Acumulada	7.20	7.20	7.20
Dominical	8.70	7.45	6.66
Compensación Tiempo de Servicios	7.29	6.24	5.58
Vacaciones no gozadas	5.61	4.80	4.29
Gratificaciones	10.80	9.24	8.27
Feridos	1.88	1.61	1.44
Asignación Escolar	12.15	10.40	9.30
ESSALUD	8.20	6.95	6.21
Seguro Complementario de Trabajo de Riesgo	2.73	2.32	2.07
Overol (2 und anual)(*)	0.60	0.60	0.60
Seguro + Vida (Seguro de Accidentes)(**)	0.17	0.17	0.17
<b>COSTO TOTAL (S/.)</b>	<b>129.31</b>	<b>111.06</b>	<b>100.15</b>
<b>COSTO H - H (S/.)</b>	<b>16.16</b>	<b>13.88</b>	<b>12.52</b>

(\*) Para obras de más de 20 trabajadores

(\*\*) Es aporte del empleador en obras mayores de 120 trabajadores

**Fuente:** Federación de trabajadores de construcción del Perú, 2013

## b) Costo de Materiales

Es el costo previsto por la adquisición, traslado y utilización del tipo y la cantidad de materiales de construcción que serán utilizados en la ejecución de una actividad o de un concepto de obra. El costo de los materiales está determinado por dos parámetros:

- **Aporte unitario del material:** Correspondiente a la cantidad de material o insumo que se requiere por unidad de medida (m<sup>3</sup>, m<sup>2</sup>, etc.). Los materiales son expresados en unidades de comercialización: bolsa de cemento, m<sup>3</sup> de arena, m<sup>2</sup> de piso, galón de asfalto RC-250, etc.

Las cantidades con que cada uno de los materiales participa dentro del costo directo se pueden establecer en base a registros directos de obra, Tablas, Catálogos, Manuales, etc.; además debemos considerar el denominado porcentaje de desperdicios, el mismo que varía entre el 5% al 15%, dependiendo del material, para lo cual también existen tablas que indican dichos porcentajes de desperdicios. (Salinas M. & Álvarez J.F., 2013)

- **Precio del material:** Se determina por la siguiente ecuación:

$$PMPO = PMO + F + \frac{A}{M} + M + V + O$$

Donde:

$PMPO$  = Precio del material puesto en obra.

$PMO$  = Precio de material en el origen de fábrica.

$F$  = Flete Terrestre.

$\frac{A}{M}$  = Almacenaje y manipuleo, estimado en % del  $PMO$

$M$  = Mermas por transporte, estimado entre 5%-30% del  $PMO$  (excepto acero).

$V$  = Viáticos, estimado entre 5% - 30% del  $PMO$ , sólo se aplica a materiales explosivos, dinamita, guías, fulminantes, etc., debido a costos de seguridad para su transporte.

$O$  = Otros, según condiciones de ubicación de la obra (eventual).

## c) Costo de Equipos

Existen diversas maquinarias y equipos según los tipos de obras, sin embargo, el análisis del costo por equipo tiene en consideración dos parámetros básicos: Costos de Operación y Costos de Posesión.

Costo Hora–Maquina, es determinado a través del análisis del costo de alquiler de equipo por hora, siendo variable en función de máquina, potencia del motor, si es sobre llantas o sobre arrugas, antigüedad, etc. (Salinas M. & Álvarez J.F., 2013)

Con fecha 31/03/2010 el ministerio de vivienda aprobó la Resolución Directoral N° 035-2010/VIVIENDA/VMCS-DNC: Aprueba Norma técnica denominada “elementos para determinación del Costo Horario de los Equipos y Maquinaria del sector construcción”. En base a los lineamientos dictados en la forma se determinan los costos de los equipos.

#### **d) Costo de Herramientas**

Teniendo en consideración que el proceso constructivo de cualquier obra requiere de herramientas menores de diversos tipos: picos, lampas, carretillas, bouggie, etc., el cual debe incluir su depreciación dentro de los costos diversos; (Meléndez R., 2013) la práctica usual establece el costo de herramientas como un porcentaje del costo de la mano de obra, siendo los porcentajes variables y a criterio del Analista, sin embargo suelen ser del 3% al 5% del costo de la mano de obra, debiendo el Analista evaluar que partidas deben incluir este concepto. (Salinas M. & Álvarez J. F., 2013)

#### **2.2.1.3. Los gastos generales**

En el artículo 2° del D.S 011-79-VC del 1.3.79 y el Numeral 27 del anexo define los Gastos Generales: Son aquellos costos indirectos que el contratista debe efectuar para realizar la prestación a su cargo, derivados de su propia actividad empresarial, por lo que no pueden ser incluidos dentro de las partidas de las obras o de los costos directos del servicio. (Salinas M., 2008)

Estos gastos generales se dividen a su vez en:

- a. Gastos Generales Fijos:** en el numeral 28 del anexo de Definiciones del D.S N° 184-2008-EF establece que: “los gastos fijos son aquellos que no están relacionados con el tiempo de ejecución de la prestación a cargo del contratista” (Salinas, 2008).

$$\%G. G. F = \frac{\sum G. G. F}{\text{Costo Directo}}$$

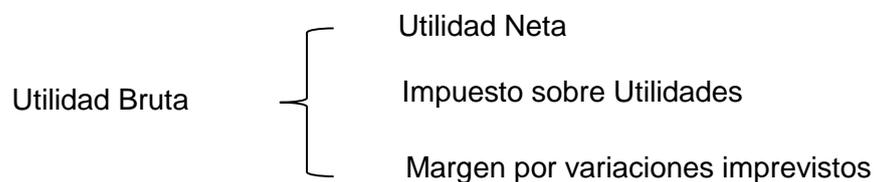
**b. Gastos Generales variables:** en el numeral 29 del anexo de Definiciones del D.S N° 184-2008-EF establece que: “los gastos generales variables son aquellos que están relacionados directamente con el tiempo de ejecución de la obra y por ende pueden incurrirse a lo largo de todo el plazo de ejecución de la prestación a cargo del contratista” (Salinas, 2008).

$$\%G. G. V = \frac{\sum G. G. V}{\text{Costo Directo}}$$

#### 2.2.1.4. Utilidad

El mismo artículo 2° del D.S. 011-79-VC indica que la utilidad es el monto que se percibe el contratista por ejecutar la obra. Este monto forma parte del movimiento económico general de la empresa con objeto de dar dividendos, capitalizar, reinvertir, pagar impuestos relativos a la misma utilidad e incluso cubrir pérdidas de otras obras. (Meléndez R., 2013)

En términos generales la utilidad está compuesta de la siguiente forma:



En nuestro medio es común aplicar como porcentaje de 10% de utilidad, independientemente del tipo de obra. De otra forma, el cálculo de una utilidad teórica requeriría de un minucioso análisis de obras anteriores similares, con la estadística de sus gastos financieros, variación de ganancias por periodos, variación de costos de materiales de obra, etc. (Salinas M., 2008)

En la forma práctica, pero siempre tratando de sustentarse en un análisis técnico, la utilidad es estimado en función a los siguientes parámetros:

- a. El factor de riesgo e incertidumbre
- b. La competencia
- c. Conocimiento preciso del tipo de obra a ejecutar

- d. Capacidad financiera de la empresa para ejecutar esa obra y soportar eventuales brechas desfinanciamiento.
- e. La utilidad por los servicios de las empresas
- f. La utilidad por los servicios de capital

#### 2.2.1.5. *Impuesto general a las ventas (IGV).*

Actualmente en las obras que se ejecuta por la modalidad de contrata, se viene aplicando el 18% sobre la base de la suma de los costos directos (mano de obra + materiales + Equipo + herramientas) más los costos indirectos (gastos generales fijos + gastos generales variables + utilidad), es decir:

$$\text{IGV} = 18\% \text{ de } (\text{Costos directos} + \text{costos indirectos})$$

#### 2.2.1.6. *Estructura del presupuesto de obra por el método convencional.*

En la estructura de los costos de una obra, hoy en día es conocido como: Presupuesto de obra, la cual tiene las siguientes consideraciones:

##### **a) Análisis de los costos directos.**

- **Mano de obra:** El costo de h-h del personal técnico en los análisis de costos unitarios se considera el régimen laboral de construcción civil.
- **Materiales:** el precio de los materiales en el análisis de costo unitario, no se considera el Impuesto General De Ventas (IGV).
- **Equipos:** El costo h-m se considera el costo de posesión más el costo de operación; así mismo en los costos de operación NO se incluye el IGV de los siguientes insumos y bienes (combustible, lubricantes y neumáticos).
- **Herramientas:** Se considera un porcentaje sobre el costo de la mano de obra en los análisis de costo unitario que se considera éste rubro.

##### **b) Análisis de gastos indirectos.**

- **Gastos Generales Fijos:** Son los gastos no relacionados con el tiempo de ejecución de la obra.
- **Gatos Generales Variables:** Son los gastos relacionados con el tiempo de ejecución de la obra.
- **Utilidad:** se considera un porcentaje que varía de 5% a 15% de los costos directos, dependiendo de la complejidad de la obra.

### c) Impuestos.

- **Impuesto General a las Ventas (IGV):** Actualmente se considera el 18% de la suma del costo directo y costo indirecto.

**Tabla 2.3** Estructura de presupuesto de obras por contrata.

Partida	Descripción	Unidad	Metrado	Precio Unitario	Parcial	Sub Total	Total
(a)	Costo Directo (En este rubro no se considera el IGV de insumos y materiales adquiridos en zonas que no gozan de la exoneración prevista en la ley N° 27037), siendo aplicable el IGV en el correspondiente ítem (f)						
(b)	Gastos Generales Fijos (%del Costo Directo).						
(c)	Gastos Generales Variables(% del Costo Directo).						
(d)	Utilidad(% del Costo Directo).						
(e)	Sub Total (a+b+c+d).						
(f)	IGV (18% de (e)).						
	<b>Valor Referencial (e+f).</b>						

Fuente: Meléndez R., 2013

#### 2.2.2. Estimación de costos aplicando la teoría de restricciones.

La Teoría de Restricciones reconoce la importancia de las restricciones que existen en toda una organización para una utilización a pleno de la capacidad instalada. Esta situación limita la utilización de los recursos por las actividades no restrictivas, que deberán esperar hasta la solución de las actividades de restricción. Generándose por consiguiente capacidad no utilizada. (Goldratt & Cox,1994)

La Teoría de Restricciones considera que los únicos costos variables son los correspondientes a los recursos que están dentro de las actividades restrictivas y por consiguiente estimar estos costos de acuerdo al grado de restricción que presentan estas. (Kendall, 1998)

De acuerdo a Aguilera (2000), la estimación de estos costos, se desarrollará mediante un enfoque holístico de aproximación al pensamiento socrático y gerencial. Por tanto, habrá cierto riesgo si segregamos alguna parte de la organización para examinar sus costos componentes.

Pero antes de desarrollar cualquier estimación de costos por cualquier método, primero necesitamos planificar el proyecto.

### 2.2.2.1. *Planificar y controlar un proyecto de construcción.*

Un proyecto de construcción genera el uso de materiales diversos, de recursos humanos con diferentes especialidades, de equipos y maquinarias. Pero solo contar con los recursos, no es suficiente para garantizar la realización del proyecto, debido a que se necesita establecer la forma como se van a interrelacionar éstos recursos (Mallma M., 2011). Por lo tanto, se necesita contar con una herramienta con la cual se pueda transmitir lo que se pretende hacer, cómo hacerlo, cuándo hacerlo, y sobre todo la necesidad de terminarlo dentro de un tiempo establecido.

En ciertos proyectos de construcción se requieren materiales poco comerciales, por lo que deben hacerse los pedidos con anticipación, y tienen que someterse a pruebas de calidad antes de su uso. No solo se aplica esto para materiales, sino también para diversos elementos prefabricados. Muchas veces aquellos materiales o elementos prefabricados deben ser transportados desde el lugar de fabricación según sea el caso hasta la obra, y se debe contemplar el tiempo de transporte y las posibles demoras (Mallma M., 2011). Una buena planificación nos permite prever toda esta posible situación.

La planificación de los procedimientos constructivos debe ser continua y uniforme, procurando solucionar los problemas ocasionados por estos imprevistos, así como mejorar u optimizar cada etapa del proyecto conforme se va avanzando en su realización. Por tanto, una buena planificación ayuda a identificar riesgos potenciales. (Mallma M., 2011)

A continuación, se enumeran varias razones de la necesidad de una planificación:

- Tener una comunicación efectiva entre las diferentes partes del proyecto.
- Cumplir con las obligaciones contractuales.
- Pedir y seleccionar los materiales y piezas prefabricadas con la debida anticipación.
- Optimizar recursos de mano de obra, materiales y equipo.
- Crear un clima de confianza sobre la buena realización del proyecto con los diferentes involucrados al proyecto.
- Prever situaciones desfavorables o solucionar imprevistos de manera rápida y efectiva.

- Tener un control aceptable tanto en; tiempo, costo y calidad de todo el proyecto.

#### 2.2.2.2. *Planeamiento de obra.*

El gerente de proyecto debe elaborar un plan de trabajo escrito en el que se identifique todos los procedimientos constructivos a realizarse: quién va a hacerlo, cuándo y cómo debe hacerse, y bajo que costos. Adicionalmente a esto, es necesario también conocer el estado en la que se encuentran las vías de comunicación, las condiciones climáticas, los posibles centros de obtención de materiales, la mejor forma de obtener la mano de obra, los medios de transporte presentes en el lugar, entre otros factores. (Mallma M., 2011)

Es fundamental determinar en este plan los eventos relevantes al proyecto, así como las posibles restricciones y limitaciones que pudieran presentarse durante el desarrollo del proyecto. Puesto que, si se tiene perfectamente identificado, el gerente del proyecto podrá tomar las decisiones a tiempo y solucionar en forma óptima los problemas que se susciten, además de identificar los procesos constructivos de difícil ejecución. (Mallma M., 2011)

#### 2.2.2.3. *Técnicas de programación de una obra.*

De acuerdo a Mallma M. (2011) “después de tener elaborada la planificación de la obra se procede a realizar la programación de la misma” p.21. La programación, es el uso de herramientas donde se elaboran diagramas o redes, en la que se esquematizan todos los procedimientos constructivos del proyecto, especificando el tipo de relación entre una y otro proceso constructivo, así como su duración. Con esta programación se tiene un tiempo estimado de finalización del proyecto (Garold D, oberlend, 1993). Tanto la planificación como la programación de una obra se realizan antes de comenzar la ejecución del proyecto y estos se convierten en herramientas importantes de control. Aunque a veces es necesario reprogramar y replantear durante la ejecución del proyecto. (Mallma M., 2011)

Existen diversas técnicas de programación; unas son muy sencillas en su elaboración y fáciles de interpretar, pero tienen ciertas limitaciones, y otras son bastantes útiles, pero complejas en su elaboración (Mallma M., 2011). Las técnicas más usadas comúnmente en la programación de una obra son:

Diagramas de barras, Método de la ruta crítica, PERT<sup>17</sup> y una menos conocida en nuestro medio los Fundamentos de la construcción en cadena<sup>18</sup>.

#### 2.2.2.4. *Fundamentos de la construcción en cadena.*

La construcción en cadena es una herramienta que facilita programar una obra, efectuando el desarrollo de las actividades correspondientes en forma continua y uniforme. A través de ella se obtiene un ritmo adecuado en la organización de los procesos de construcción; se disminuye los tiempos improductivos al especializarse la mano de obra; se aumenta la productividad y mejora la calidad de la construcción, optimizando por lo tanto los plazos de ejecución de obra y bajando los costos de producción del proyecto.

La experiencia de la producción industrial muestra que el mejor método de su organización es el sistema de la cadena de producción que se diferencia por la uniformidad y continuidad del proceso tecnológico.

Según M.S. Budnikov (1961), la uniformidad y continuidad de la producción se expresan en el consumo uniforme y continuo de los recursos laborales y técnico materiales, y también por la finalización del producto terminado de manera uniforme y continua. Esto conlleva al mejoramiento de todos los indicadores: la producción se acelera; con la misma potencia instalada se producen más productos; la calidad de ellos mejora; la trabajosidad y el costo de la producción disminuyen.

En consecuencia, la cadena de producción es una composición efectiva de lo sucesivo y paralelo. Para el diseño de la cadena de construcción es necesario:

- El proceso de producción de construcción se divide en procesos y operaciones componentes.
- Dividir el trabajo entre los ejecutores.
- Crear el ritmo de producción.
- Al máximo simultaneizar en el tiempo la ejecución de los procesos componentes.

---

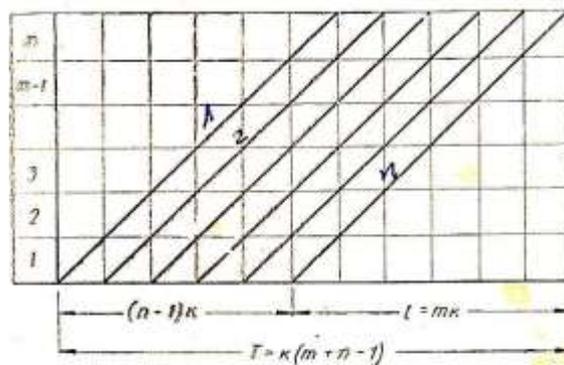
<sup>17</sup> Program Evaluation Review Technique.

<sup>18</sup> Método de producción continua y uniforme, basado en la división del proceso integral de producción, división del trabajo, simultaneidad y ritmicidad de ejecución de los procesos.

En función al tipo y carácter de los objetos de construcción<sup>19</sup>, sus características estructurales, y también a la diversidad de condiciones de construcción, los procedimientos de división de los procesos, división del trabajo, creación del ritmo de producción y los traslapes de los procesos pueden ser diferentes. (M.S. Budnikov, 1961)

### Leyes principales de la cadena de construcción

La cadena de construcción representa el proceso de producción que se desarrolla en el tiempo y en el espacio. Su desarrollo generalmente puede ser representado gráficamente en forma de ciclograma (Ver figura 2.4). Aquí en el eje de las abscisas se representa el tiempo y en las ordenadas las unidades de producción de construcción. El proceso tecnológico dividido en  $n$  procesos componentes será representado por  $n$  líneas inclinadas paralelas (M.S. Budnikov, 1961).



**Figura 2.4:** Ciclograma de construcción en cadena  
Fuente: M.S Budnikov, 1961

Si cada proceso componente ejecutado en cadena se denomina cadena particular, entonces la cadena de construcción puede verse como la composición de una serie de cadenas particulares sucesivamente incluidas y paralelamente ejecutadas (M.S. Budnikov, 1961).

La ley fundamental de la cadena particular se expresa por la función:

$$t = mk \quad (1)$$

La ley fundamental de la cadena construcción es:

$$T = k(m + n - 1) \quad (2)$$

<sup>19</sup> Obras de construcción

La construcción en cadena se caracteriza por la salida uniforme del producto terminado que determina la potencia de producción. El mantenimiento de la constancia de la potencia de producción es una condición obligatoria de la cadena (M.S. Budnikov, 1961).

### **Particularidades de la tecnología industrial de producción**

Principios básicos:

- Desarrollo y perfeccionamiento de la producción convencional e introducción de nuevos sistemas de construcción basados, en especial, en el principio de Pre factibilidad de edificaciones y obras con preparación de piezas y elementos en fábricas y plantas especializadas.
- Mecanización compleja<sup>20</sup> y automatización de la producción.
- Racionalización y organización científica del trabajo
- Cadenicidad de producción de construcción.
- Normalización y proyecto tecnológico de producción.

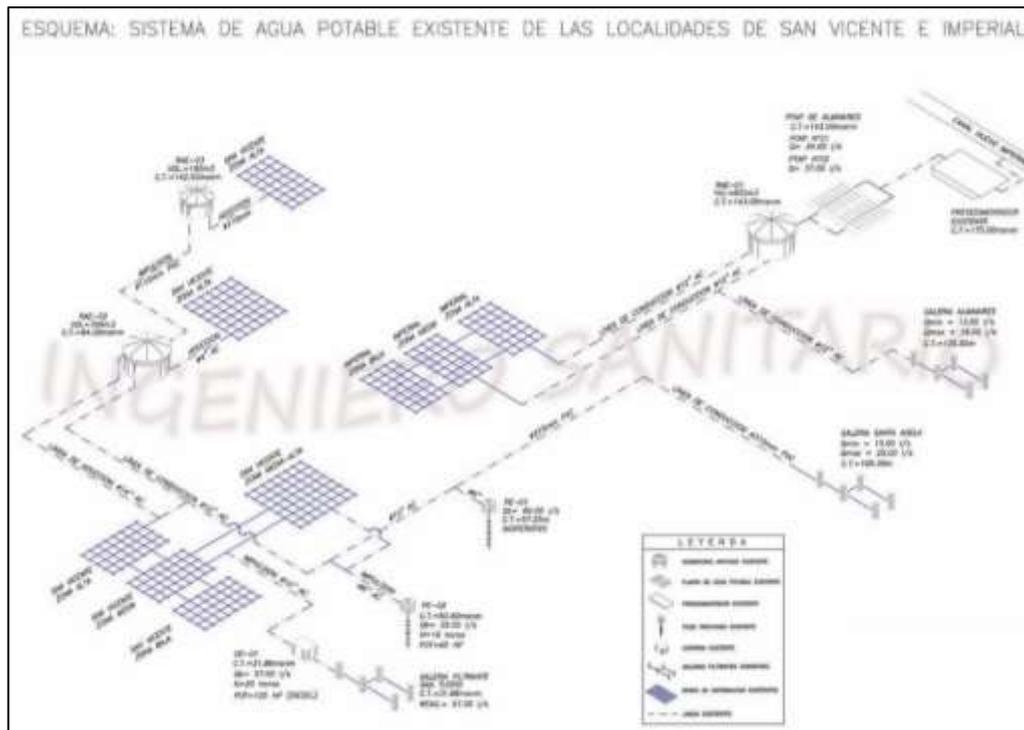
### **Tecnología industrial de producción**

La tecnología industrial de producción determina la producción de productos de forma individualizada y la producción industrial es elaborada en serie. Éste último caso permite optimizar los recursos y como consecuencia lograr una mayor productividad. Identificar los procesos repetitivos, sistematizarlos y darles una organicidad, permite, minimizar las pérdidas y ampliar el margen de utilidad.

En la figura 2.5 mostramos la instalación de varias redes de agua potable que se pueden construir en simultáneo y en serie, evidenciando que obedecen a un método de programación y ejecución en cadena del proyecto. La tecnología industrial de producción aplicado a proyectos de red de agua potable, permiten obtener muy buenos resultados, tal como veremos en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

---

<sup>20</sup> Mecanización compleja de la construcción es el método de producción de trabajos cuando todas las operaciones tecnológicamente interrelacionadas de determinado proceso productivo, tanto principales como las paralelas, se ejecutan mecanizadamente con ayuda de un complejo de máquinas que mutuamente se complementan y que trabajan en un régimen óptimo.



**Figura 2.5:** Sistema de red de agua potable existente en Imperial y San Vicente

**Fuente:** (López, 2009) Recuperado de: <http://canetehoy.blogspot.com/2009/02/con-ustedes-el-sistema-de-agua-potable.html>

Para aplicar las principales leyes de la cadena de construcción y analizando las particularidades de la tecnología industrial de producción, es preciso conceptualizar algunos términos que usaremos en esta tesis.

**Objeto de construcción:** Se define a la construcción de un edificio, a una red de agua potable en una ciudad, a la pavimentación de una calle, construcción de una represa, a la construcción de edificios y/o condominios, etc. Un objeto de construcción es una obra de mayor o menor magnitud con características similares o especificaciones definidas. (Mallma M., 2011)

**Clasificación de los objetos de construcción:** conceptos extraídos de los apuntes de clase del curso de gestión de construcción I.

**a. Por su uso o destino.**

- Edificaciones civiles
- Redes ingenieriles
- Agrícolas
- Energéticos
- Represas
- Otros

**b. Por su uso o destino.**

- **Objeto de Construcción lineal:** Aquel que presenta un frente de trabajo abierto, donde la longitud prevalece (Redes Ingenieriles), lo cual permite iniciar la construcción desde cualquier punto. Por ejemplo, la construcción de una carretera, canales de irrigación o redes de agua potable.
- **Objeto de Construcción Concentrado:** Aquel que presenta frente de trabajo cerrado, donde predominan las alturas o niveles. Por esta razón los trabajos tienen que iniciarse secuencialmente porque están supeditas a otras actividades, por lo que no pueden iniciarse en puntos intermedios.
- **Objeto de Construcción Disperso:** Son aquellos cuyo frente de trabajo es una combinación de los Lineales y Concentrados (Abierto y Cerrado). Por ejemplo, la construcción de un conjunto habitacional, la construcción de un complejo educativo, etc.

**c. Por sus características tecnológicas-constructivas**

- **Homogéneos.** - Tecnología de producción estable. Pueden ser iguales (Cadena Rítmica) o desiguales (Cadena de Ritmo Múltiple).
- **Heterogéneas.** - Tecnologías de producción inestable (Cadena Arrítmica).

**Proceso constructivo.** - Es el conjunto de actividades que son necesarios realizar para producir un objeto de construcción.

Clasificación:

- Procesos de preparación y habilitación
- Procesos de Transporte.
- Procesos de Colocación y Montaje.

**Normal Tecnológica.** – Se define como la acción de descomponer (desmembrar) al proceso de construcción en procesos que son básicos para realizar la construcción de un determinado proyecto (*Objeto de construcción*). El desmembramiento se efectúa de acuerdo a las características principales del Objeto de Construcción, pudiendo ser a nivel de Procesos complejos, Procesos

simples, Operaciones, Procedimiento y Movimientos (Mallma M., 2011). Estableciendo la secuencia lógica de ejecución.

En la Figura 2.6, se gráfica el desmembramiento del proyecto: construcción de una vivienda (Objeto de Construcción) en procesos complejos (construcción de la estructura y los acabados), éstos a su vez en procesos simples correspondiente a cada proceso complejo y de éstos en operaciones, de aquí en procedimientos y finalmente en movimientos (Mallma M., 2011). Enfocar al objeto de construcción por procesos, es ventajoso porque te permite identificar al conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que forman parte del procedimiento constructivo.



**Figura 2.6:** Esquematización del desmembramiento de un Objeto de Construcción.  
**Fuente:** Apuntes de clase – 2015

**Requisitos para aplicar el método de construcción en cadena:**

- i. Que el proceso de construcción sea factible de particionar en operaciones necesarias para su ejecución, de tal forma que a cada una de ellas se le asigne convenientemente los recursos correspondientes. (Mallma M., 2011)

- ii. Que sea posible estabilizar el ritmo de producción para cada una de las operaciones que componen el proceso de construcción, determinando los módulos de ciclicidad, que definen el ritmo de ejecución de la cadena particular. (Mallma M., 2011)
- iii. Que el parámetro espacio, el cual es denominada frente de trabajo donde se desarrollan actividades específicas, sea posible particionar en un conjunto de unidades de producción, de tal manera que los volúmenes de trabajo permitan a las cuadrillas desarrollar sus rendimientos respectivos. (Mallma M., 2011)

**Recursos de producción de construcción:** La asignación de diferentes recursos para hacer realidad un proyecto es necesario. El buen manejo de estos recursos favorece a que el programa de ejecución se realice de manera eficaz y eficiente, además contribuye a reducir los costos y el plazo de entrega de la obra.

Los recursos se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Humanos
- Financieros o Materiales
- Renovables o Acumulables
- Directos o Indirectos

**Cadena Particular:** Es la cadena que representa la ejecución de una actividad. Pueden ejecutarse actividades simples o complejas (no son posibles de particionar).

**Cadena de Construcción:** Es el conjunto de Cadenas Particulares que se desarrollan a través de las Unidades de Producción y que se interrelacionan en el tiempo según determinados parámetros. La cadena de Construcción se gráfica en un Ciclograma<sup>21</sup>, en el cual las Cadenas Particulares representan a las actividades necesarias para realizar el objeto de Construcción. (Mallma M., 2011)

---

<sup>21</sup> Gráfico de la construcción en cadena que modela el desarrollo de la cadena en el tiempo y en el espacio.

## Tipos de cadena de construcción

Dependiendo de la magnitud de la obra, la diversidad de objetos de construcción y las condiciones de producción genera una posibilidad amplia de aplicación de los diferentes tipos de cadena de construcción. Generalizando estos tipos, todas las diferentes cadenas pueden representarse en un esquema (Ver figura 2.7) en el que se muestran las variedades de cadena de construcción según indicios comunes de ellos. (M.S. Budnikov, 1961)

Según la forma de desmembramiento del proceso de construcción en:

- Cadena de desmembramiento parcial.
- Cadena de desmembramiento total.

Según el grado de desarrollo de la cadena en:

- Cadena estabilizada.
- Cadena no estabilizada.

Según su movimiento en el tiempo en:

- Cadena Rítmica
- Cadena Arrítmica
- Cadena de Ritmo Múltiple

Según su movimiento en el tiempo en:

- Cadenas Especializadas.
- Cadena de objeto.
- Cadena compleja.



**Figura 2.7:** Variedades de cadenas de construcción  
**Fuente:** M.S. Budnikov, 1961

## **Parámetros de la cadena de construcción**

Para el desarrollo de la cadena de construcción tenemos que conocer la relación de dependencia entre las magnitudes variables de la cadena en el tiempo y en el espacio (M.S. Budnikov, 1961). Estos parámetros son: Espacio, Tecnológicos y de Tiempo, los cuales se describen a continuación:

### **1. PARÁMETROS DE ESPACIO:**

**Unidades de Producción (m).**- Se define como el espacio en donde se desarrollan a través del tiempo las cadenas particulares que componen la cadena de construcción. Es un frente de trabajo horizontal. Generalmente este espacio se subdivide en otros para constituir una unidad de producción. Cada cadena particular puede tener su propio sistema de unidad de producción; dependerá de la forma como organicemos la cadena de construcción (Mallma M., 2011).

**Frente de trabajo.** - Se define a las posibilidades espaciales para la ejecución de los procesos de construcción. Su magnitud indica el tamaño del sector del objeto de construcción en donde se puede distribuir a los obreros o a las máquinas de construcción. El frente de trabajo se expresa en unidades de medición de volúmenes de trabajos (m, m<sup>2</sup>, m<sup>3</sup>), o en partes del objeto de construcción (piso, sección, etc.) (M.S. Budnikov, 1961), puede ser abierto o cerrado, también tan amplio como restringido.

**Sector.** - Es el conjunto de unidades de producción que corresponden a un objeto de construcción dado, donde se ejecutan una serie de cadenas particulares (Ríos J., 2014 - Apuntes de Clase).

**Parcela.** - Es donde se establecen las medidas de tal modo que el volumen de trabajos contenidos en ella corresponda al rendimiento del ejecutor (Cuadrilla) y que con esto se garantice la mayor comodidad para el logro de una alta productividad del trabajo (M.S. Budnikov, 1961). La parcela debe tener mínimo un tamaño tal que permita el buen desenvolvimiento y desplazamiento de los ejecutores para obtener el rendimiento que se especifica para la cuadrilla. (Mallma M., 2011)

**Tramo.** - Este parámetro está referido al desarrollo horizontal del objeto que estamos considerando. (Mallma M., 2011)

## 2. PARÁMETROS TECNOLÓGICOS

**Número de cadenas Particulares (n).** - Es el parámetro que representa a las partes en que se ha particionado al objeto de construcción. Su magnitud depende de la forma en que establezcamos la normal tecnológica de la cadena de construcción. (Mallma M., 2011)

**Volumen de trabajo (P).** - Es la cantidad de trabajo que efectuamos al ejecutar una cadena particular. Tiene un valor constante cuando el área de construcción está definida. Para determinar este parámetro debemos de realizar el cálculo del volumen de trabajo del proceso a ejecutar. (Mallma M., 2011)

Cuando las unidades de producción son iguales:

$$P = p * m \quad (1)$$

*Donde:*

*p:* volumen de trabajo en cada unidad de producción

*m:* Número de unidades de producción.

Ejemplo: Excavacion de zapatas identicas

*p:* 1 Zapata = 0.12 m<sup>3</sup>    *m:* N° de Zapatas = 20

$p = (0.12) \times (20) \rightarrow P = 2.4 \text{ m}^3$

Cuando las unidades de producción son diferentes:

$$P = p_1 * m_1 + p_2 * m_2 + \dots + p_n * m_n \quad (2)$$

**Trabajosidad (Q).**- Es la cantidad de horas hombre (u otra unidad lógica), que se requiere para ejecutar una cadena particular (Mallma M., 2011) o la cantidad de trabajo empleada para la obtención del producto de construcción de buena calidad. La trabajosidad está en función del rendimiento del ejecutor (cuadrilla) o del equipo mecánico que se utilice; se calcula multiplicando la inversa del rendimiento por el volumen de trabajo. (Mallma M., 2011)

$$Q = P/S$$

*Donde:*

*P:* Volumen de trabajo de la cadena particular, en las “m” unidades de producción.

S: Rendimiento de la cuadrilla en la unidad de tiempo.

**Norma de Rendimiento.** - De acuerdo a M.S. Budnikov (1961), La norma de rendimiento depende de las condiciones del trabajo: su magnitud es una consecuencia de una determinada organización de los trabajos y del nivel de la técnica y tiene la tendencia a crecer en el progreso de la técnica de producción y mejora de su organización. Como la norma de rendimiento no es una magnitud constante e invariable, entonces la trabajosidad representa en sí una magnitud variable: su valor caracteriza no solo el contenido del proceso de construcción y complejidad de las operaciones tecnológicas, sino también testifica sobre las condiciones de producción y sobre el nivel de perfeccionamiento de los métodos de trabajos.

### Cantidades ejecutas de una cadena particular (N)

$$N = Q/t; \text{ Además } t = m * k \rightarrow N = \frac{P}{\frac{m}{k}}$$

**Intensidad de la cadena (i).** - También llamada potencia de cadena que proyecta la cantidad de realizada del objeto de construcción que sale de la cadena en la unidad de tiempo.

### Intensidad de la cadena particular

$$i = \frac{P}{t} \quad i = \frac{P}{m*k}$$

Donde:

*P*: Volumen de trabajo de la cadena particular

*t*: Duración de la cadena particular

*m*: Número de unidades de producción de la cadena particular

*k*: Módulo de la ciclicidad de la cadena particular

### Intensidad de la cadena de construcción (I)

$$I = \frac{Pcc}{T} \quad I = \frac{Pcc}{(m+n-1)k + \sum tT}$$

Donde:

*Pcc*: Volumen de trabajo de la cadena de construcción

*T*: Tiempo total de ejecución de la cadena de construcción

### 3. PARÁMETROS DE TIEMPO

El parámetro principal de tiempo es el indicador de ritmo que establece la ciclicidad del proceso y que modela el tiempo de producción. Este indicador se denomina módulo de ciclicidad. De acuerdo a M.S. Budnikov (1961), el módulo de ciclicidad sirve para la medición de la duración de la cadena de construcción. Si la duración de la cadena particular en las unidades de producción (ciclo de la cadena) cambia, entonces el módulo de ciclicidad es su menor magnitud (en cadenas aritméticas).

**Módulo de ciclicidad (K).** - Es el tiempo que se necesita para ejecutar la cadena particular en cada unidad de producción. El módulo de ciclicidad define el ritmo de ejecución de la cadena particular. Cuando ella es rítmica, el valor del módulo es constante para cada unidad de producción y cuando ella es aritmética el valor del módulo es variable para cada unidad de producción. (Mallma M., 2011)

**Factor de Módulo de Ciclicidad (c).** - Es el factor que multiplica al Módulo de Ciclicidad de una Cadena Particular dada para obtener otra Cadena que sea múltiplo de este módulo. (Mallma M., 2011)

#### RITMO DE LA PRODUCCIÓN DE LA CADENA:

**Ritmo de la Cadena Particular (k).** - Es la cantidad de unidad de producción que se salen de una Cadena Particular, en la unidad de tiempo.

$$v = \frac{m}{t} \quad \text{como:} \quad t = m * k \rightarrow v = \frac{1}{k}$$

**Ritmo de la Cadena de Construcción (V).** - Es la cantidad de Unidad de Producción que se sale de una Cadena de Construcción en la unidad de tiempo.

$$V = \frac{m}{T} \quad \text{como:} \quad T = (m + n - 1)k + \sum t_T \rightarrow V = \frac{m}{(m+n-1)k + \sum t_T}$$

#### INDICADORES DE LA CALIDAD DE LA CADENA DE CONSTRUCCIÓN:

**Indicadores de la uniformidad de la cadena ( $\alpha$ )**

$$\alpha = \frac{T''}{T'} \quad \alpha = \frac{m - n + 1}{m + n - 1}$$

**Indicadores de la productividad de la cadena ( $\beta$ )**

$$\beta = \frac{m}{T} \quad \beta = \frac{m}{(m+n-1)K + \sum t_T}$$

### Indicadores del consumo del tiempo por unida producción ( $\gamma$ )

$$\gamma = \frac{T}{m} \quad \gamma = \frac{(m+n-1)K + \sum t_T}{m}$$

### Indicadores de uniformidad de consumo de recursos ( $\delta$ )

$$\delta = \frac{T_{spt}}{T} \quad \delta = \frac{m}{(m+n-1)}$$

En la organización de la cadena de construcción es necesario recordar que sus parámetros son magnitudes interrelacionados y cualquier cambio de uno de ellos no puede no afectar el significado de los otros. Por eso la determinación de aquellos u otros valores de los parámetros de las cadenas es necesario definir aplicado a las condiciones concretas tomando en cuenta obligatoriamente esta interrelación (M.S. Budnikov, 1961).

#### 2.2.2.5. Relación costo-tiempo

La relación que existe entre el costo y la duración es inversa, es decir, a menor duración, mayor costo y a mayor duración menor costo. La proporción que se incrementa está en función de la actividad a desarrollar (Mallma M., 2011). La relación que existe entre el tiempo y el costo de una actividad responde más o menos a la gráfica representada (Ver Figura 2.8). Conforme desaceleramos la actividad el costo va disminuyendo (siempre que estemos entre A y N).

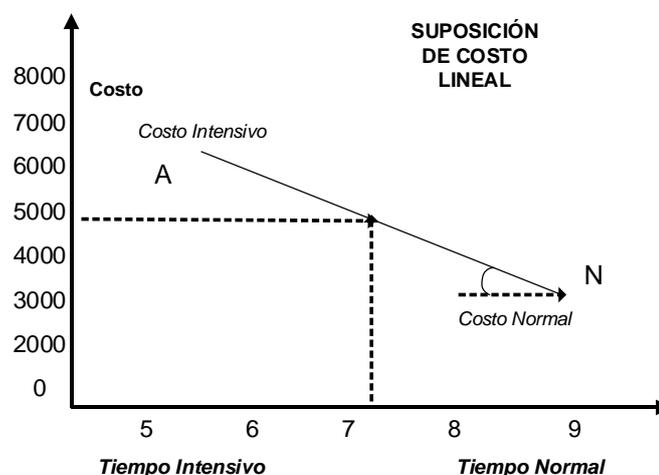


Figura 2.8: Relación costo-tiempo  
Fuente: (Mallma, M., 2011)

**Punto N:** Es el punto de duración normal y de costo normal en condiciones normales de trabajo.

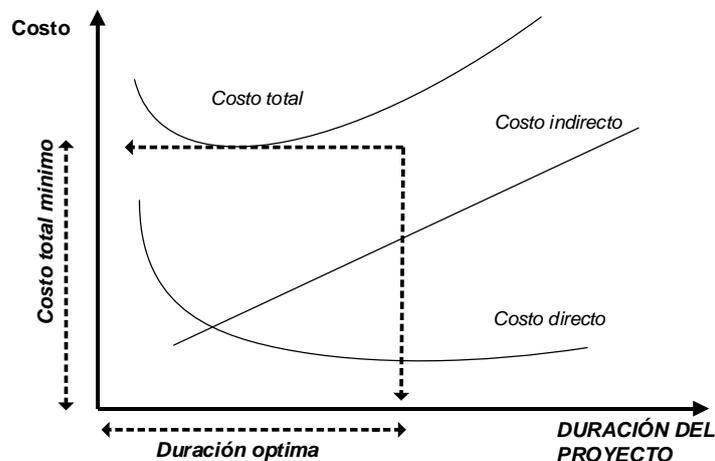
**Punto A:** Es el punto de mínimo tiempo o de máxima aceleración y de costo más acelerado, o sea, de mayor costo.

A la derecha del punto N se produce una infrautilización de los recursos con lo cual aumenta el costo al aumentar la duración; hacia el lado izquierda del punto A por mucho que incrementemos los recursos no conseguiremos reducir la duración de la actividad.

Incremento en el costo por unidad de tiempo acelerado

$$tg \propto = \frac{\text{incremento del costo}}{Ud} = \frac{C_A C_N}{D_A D_N} = \frac{C_A - C_N}{D_A - D_N} = \text{Pendiente } (r) \quad (*)$$

(\*) establece el incremento del costo que se produce por cada unidad de tiempo de la actividad que se acelera. si tenemos que acelerar un proyecto, aceleramos aquellas actividades que sean más baratas (Ver figura 2.9).



**Figura 2.9:** Comportamiento del costo total de un proyecto  
Fuente: Mallma M., 2011

## CAPITULO III: SISTEMA CONVENCIONAL DE ESTIMACION DE COSTOS

### 3.1. PRESUPUESTO DE OBRA

Para elaborar el presupuesto base de un proyecto para la fase de elaboración de expediente técnico, se debe tener claro los conceptos referentes a partidas, metrados, análisis de precios unitarios, gastos generales, utilidad y el impuesto general a las ventas.

En términos académicos podemos definir el presupuesto de obra como la determinación en términos monetarios del valor de la obra, para lo cual se deben estar bien definidos los siguientes parámetros:

- Las partidas que se necesitan : Codificadas
- El sustento de los metrados de cada partida : Sustentadas
- El análisis de los costos unitarios de cada partida : Revisadas
- Los gastos Generales : Sustentados
- Utilidad : Estimada
- El impuesto general a las ventas : porcentaje normado

### 3.2. PARÁMETROS PARA DETERMINAR LOS COSTOS DIRECTOS

En la determinación de los costos de construcción no sólo debemos tener en consideración los elementos del costo directo, si no también todos aquellos aspectos técnicos que inciden directamente en el cálculo del presupuesto base del proyecto, nos estamos refiriendo a los siguientes aspectos: memoria descriptiva, especificaciones técnicas y planos.

#### 3.2.1. Memoria Descriptiva

Es un documento escrito en el que se explica en que consiste el proyecto de forma clara y completa. A continuación, se describe los elementos principales de la memoria descriptiva del proyecto “Mejoramiento y aplicación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), distrito de Imperial-Cañete-Lima”.

### 3.2.1.1. Generalidades

#### a. Ubicación:

El proyecto se ubica en el distrito de Imperial (Ver Figura 3.2), es uno de los 16 distritos que conforman la provincia de Cañete (Ver Figura 3.1), del departamento de Lima, en la región Lima. Ubicado en la parte central del valle de cañete, entre las coordenadas 76° 21' 16" longitud oeste y 13° 02' 15" latitud sur. Su altura promedio es 86 metros sobre el nivel del mar y pertenece a la región chala del Perú.



**Figura 3.1:** Localización de la provincia de Cañete

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

Imperial limita por el Norte con el distrito de Quilmaná, por el Este con Nuevo Imperial, por el Oeste con San Vicente de Cañete y por el Sur con San Vicente.



**Figura 3.2:** Ubicación del Distrito Imperial

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete”.

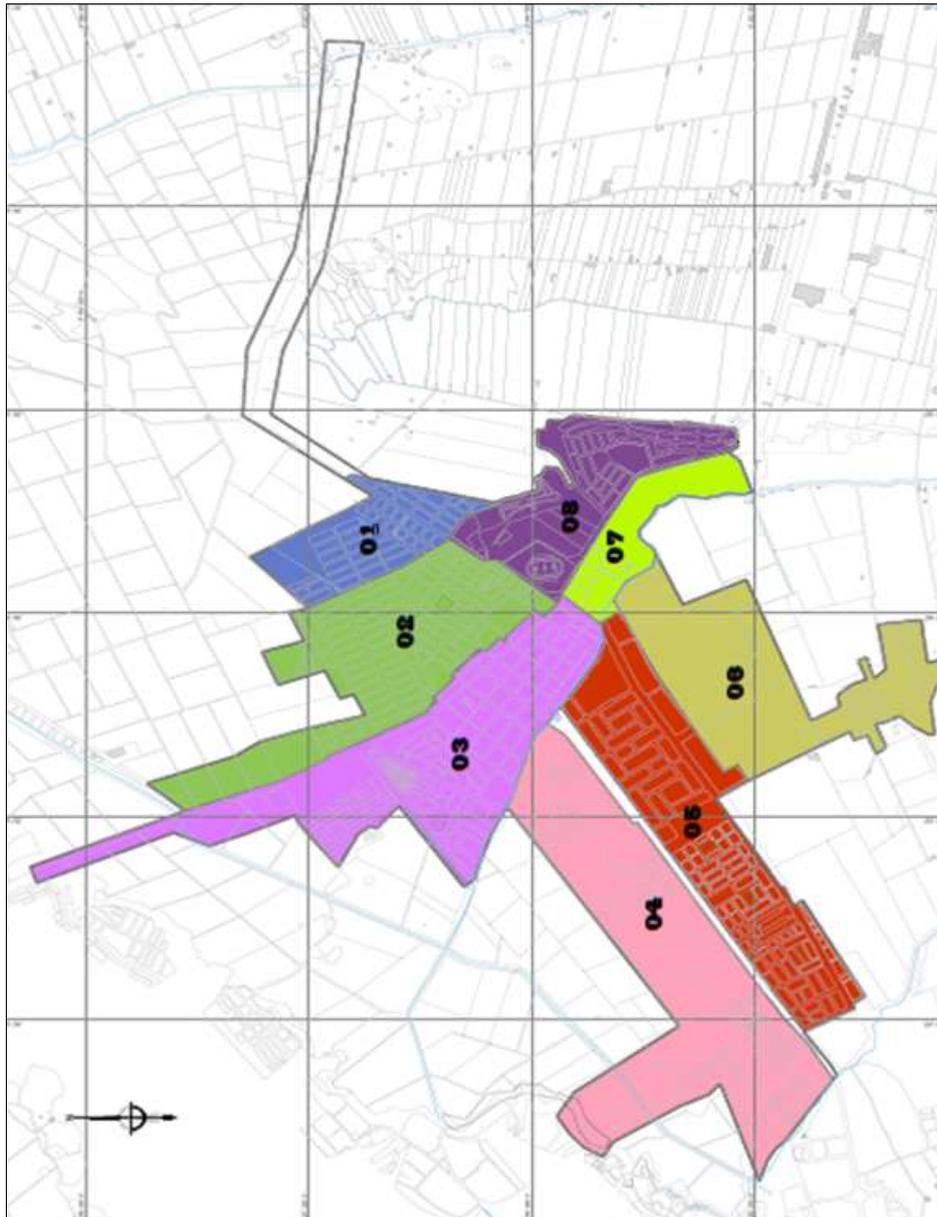
#### **b. Vías de acceso**

El acceso al distrito de Imperial se realiza principalmente a través de la carretera Quilmana y la autopista La Quebrada que llega al centro del distrito de Imperial, los mismos que conectan con los C.P. de Bujama Alta, Bujama Baja, San Marcos de la Aguada y la Panamericana Sur altura del Km 82 que a su vez conecta por el sur con Cañete y por el norte con Lima.

La distancia máxima existente entre las capitales de distrito y la de la provincia de Cañete es 180.05 Km., la máxima distancia a Cañete es 122.65 Km., y asimismo la distancia del distrito de Imperial hasta la capital de Lima es aproximadamente de 88.66 Km.

#### **c. Área de influencia del proyecto**

El área de estudio donde intervendrá el proyecto de inversión pública se encuentra ubicado en el contexto de la localidad de Imperial del distrito de Imperial, provincia de Cañete, región de Lima (Ver Figura 3.3).



**Figura 3.3:** Área de influencia del Proyecto y Sectores de abastecimiento

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete”.

#### **d. Aspectos geográficos**

##### Clima y Geología

El distrito de imperial tiene un clima templado, con una temperatura máxima en verano que oscila alrededor de 30°C y la temperatura mínima en invierno que oscila alrededor de 11°C. De otro lado, la precipitación pluvial es nula, no sobrepasa los 30 mm el promedio anual, la cual es producto de la alta

formación de nubosidad que existe en invierno, la cual genera garúas como influencia de las aguas frías del mar que bordean la costa.

En los meses de verano existen la brisa marina es fuerte, que mayormente se observa en horas de la tarde. La velocidad de los vientos es de Sur a Oeste con una velocidad máxima de 0.6 m/seg., la humedad relativa esta entre 75 a 84 %, precipitación máxima en 24 horas varía entre 00 a 1.5 mm los cuales, al combinarse con el sol, el aire seco de estas fechas y la existencia de capas de arena genera un incremento en la evapotranspiración, generando una erosión en el suelo. Gran parte del área de influencia posee una topografía accidentada con pendientes mayores a 10%, no hay presencia de vegetación. La fuerza de los vientos genera erosión, causando condiciones desérticas. El área del proyecto tiene un suelo de origen aluvial de densidad variable, con grandes depósitos de arena eólica.

#### El suelo

El tipo de suelo varía y está en función al tipo de roca madre, clima, capacidad agrológica, topografía, vegetación, etc. en el distrito se existe diferentes tipos de suelos. En el casco urbano se tiene un suelo semiárido, en la parte alta se hay afloramiento de rocas y en las partes bajas existe un material conglomerado de gravas, bolones y arenas a partir de una profundidad de 0.80 m. aproximadamente.

#### Recurso hídrico:

Es de carácter superficial y subterráneo. Las aguas superficiales son provenientes del río San Vicente uno de los ríos más regulares y caudalosos de la vertiente del pacifico, como la mayoría de los ríos de la costa son torrentosos en los meses de diciembre a marzo con descargas máximas resultado de las precipitaciones en la parte alta de la cuenca y de carácter irregular entre el mes de junio y diciembre donde baja su caudal notoriamente, mientras que las aguas subterráneas extraídas en la zona de estudio se realizan por medio de pozos tubulares y a tajo abierto. Son aguas de buena calidad utilizados en consumo doméstico, agrícola e industrial.

### **e. Desastres naturales**

Se conoce que nuestro país como altamente vulnerable a los desastres naturales tales como desborde de ríos, tsunamis, terremotos, temblores, etc. El distrito de Imperial no es la excepción, hay un alto riesgo permanente de que sucedan este tipo de desastres, por ello es sumamente importante que las instituciones, así como las autoridades y las organizaciones de la sociedad civil están comprometidos para realizar acciones de prevención frente a estas amenazas de la naturaleza.

### Sismos

El distrito de imperial se encuentra en una zona de alta intensidad sísmica, en esta ciudad al igual que otras ciudades de la costa peruana, han sido testigos de las consecuencias destructivos del sismo ocurrido en el año de 1940 de intensidad VIII, la cual generó un tsunami que afectó directamente las costas de la provincia de Cañete; cuyas consecuencias causaron destrucción de viviendas, pérdidas materiales y humanas que afectó a la economía de la zona, también las zonas urbano marginales fueron afectados por el sismo, donde las construcciones de viviendas son en su mayoría de material precario. El año 1954 también se registró otro sismo de grado VI en la escala de Mercalli Modificado que afectó directamente al distrito de San Vicente.

A la fecha de junio del 2013, hace más de 20 años que en esta zona no hay un movimiento telúrico fuerte y además alertan que la mayor parte de las viviendas de los pobladores de la zona son de adobe, vulnerable a eventos sísmicos, tsunamis e inundaciones.

### Inundaciones

El distrito de Imperial está siempre amenazado por la crecida del río que genera inundaciones, en las partes bajas del valle y algunas zonas urbanas cercanas a la ribera del río. Estas inundaciones crean zozobra en los pobladores que dicen verse afectados casi todos los años. No hay peligro de inundaciones por tsunamis, especialmente las zonas cercanas al litoral, debido a que el distrito está a 86 msnm.

### 3.2.1.2. Descripción actual del sistema de agua potable

El sistema de agua potable del distrito Imperial cuenta con los siguientes componentes importantes: Fuentes de Abastecimiento (Fuente Superficial (Canal Nuevo Imperial) y Fuente Subterránea (Galería Filtrante), Sistema de Pre-Tratamiento, Sistema de Tratamiento de Agua Potable, Línea de Conducción (Línea de Conducción Pre sedimentador-PTAP y Línea de Conducción de la Galería Filtrante Alminares), Línea de Aducción y Sistema de Distribución y Conexiones Domiciliarias. La descripción detallada de cada uno de estos componentes se describe en el ANEXO C.

A continuación, se realizará una breve descripción de los componentes que serán afectados con la ejecución del proyecto, objeto de estudio de esta tesis.

#### a. Línea de Aducción y Sistema de distribución

##### Línea de Aducción

La línea de aducción inicia en la válvula ubicada a la salida del reservorio de 800.00 m<sup>3</sup> hasta el empalme que conecta al sistema de distribución. Está conformado por dos líneas una de diámetro 12" A.C. y otra de 10" A.C.

##### Sistema de Distribución

El sistema de distribución se encuentra en regulares condiciones físicas y funcionales, las actuales redes matrices no forman circuitos cerrados generándose condiciones de presión baja en las redes. También existen tuberías de 1", 2", 3/4" y 1/2" que están conectados a las redes matrices que abastecen a una gran cantidad de usuarios los cuales tienen problemas de abastecimiento y baja presión de agua.

La red de distribución primaria tiene una longitud total de 12.356,47 m de diámetros que varía entre 4" y 12" de PVC y AC, distribuidos de la siguiente manera: 3.069 m de redes de 12"; 1.746 m de redes de 10"; 2.608 m de redes de 8"; 2.830 m de redes de 6"; y 2.103 m de redes de 4".

La red de distribución secundaria tiene una longitud total de 25.683 m de diámetros entre 6" y 2" de PVC y AC, distribuidos de la siguiente manera: 281 m de redes de 6"; 18.387 m de redes de 4"; 5.543 m de redes de 3"; y 1.472 m de redes de 2".

Referente a las válvulas en las redes, estas válvulas están mal ubicadas, presentan fugas y otras se encuentran sin funcionar, la gran mayoría de válvulas están cubiertas por el pavimento, lo que dificulta su operación y mantenimiento. Existen fugas en las tuberías matrices por roturas y fisuras ocasionado por el impacto de cargas superficiales y por elevación de la presión, provocado por la reducción de los diámetros por incrustaciones en sus interiores y por tuberculización debido al nulo funcionamiento de válvulas.

#### **b. Conexiones Domiciliarias**

Hay poco nivel de implementación de micromedición, según el informe N° 030-2013-GC-EMAPA CAÑETE S.A. es de 87.53%, se observa gran cantidad de viviendas que no cuentan con una caja de registro y las que poseen caja de registro están en malas condiciones que presentan problemas de filtración por la mala instalación de las válvulas de control y que requieren su reposición para su normal funcionamiento y disminuir el agua no contabilizada.

El total de conexiones de agua potable es de 7203und. De las cuales 1235 (17.15%) tienen medidores y 82.85 (21.79%) no cuentan con medidor. Cabe mencionar que las nuevas habilitaciones periurbanas aun no cuentan con servicio de agua y con el presente proyecto se pretende ampliar la cobertura.

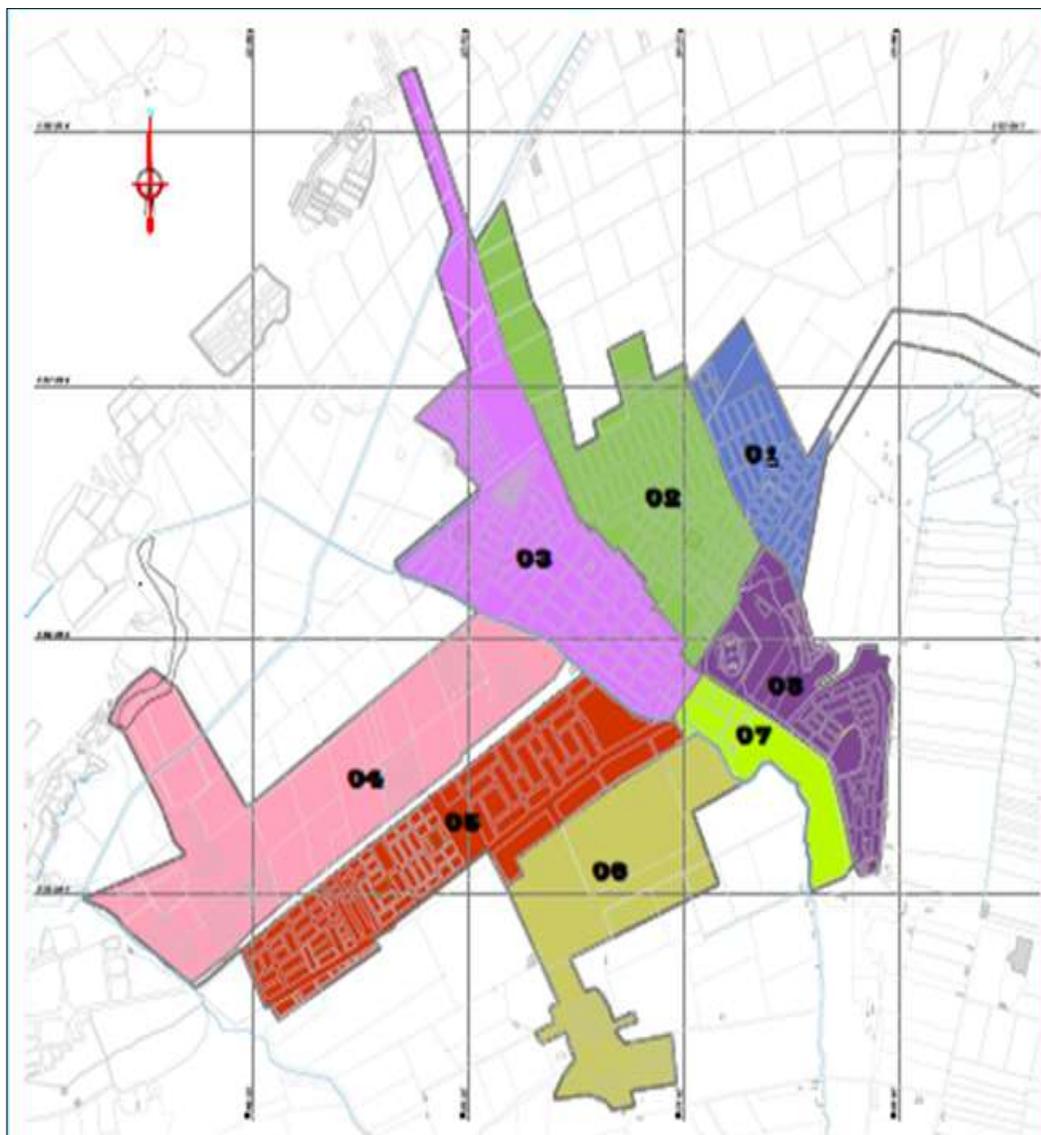
#### *3.2.1.3. Descripción del sistema de agua potable proyectado*

##### **a) Conexiones Domiciliarias**

Se plantea el Mejoramiento y optimización del Sistema de distribución mediante la sectorización del sistema e implementación de la macro y micro medición al 100%, así mismo de acuerdo a la demanda y a la producción del

sistema se han definido 08 sectores de abastecimiento (Ver Figura 3.4) de acuerdo a las condiciones topográficas y de demanda.

Las líneas de aducción existentes serán remplazadas desde la entrada al sistema de distribución del distrito de Imperial, la primera abastecerá a los sectores 1, 2,3 y 7; mientras que la segunda a los sectores 4, 5, 6 y 8 respectivamente, ver plano PG-04 (Ver anexo N). Con respecto a la macromedición y micromedición, cada sector contara con un macromedidor y se instalara y cambiara el sistema de micromedición.



**Figura 3.4:** Esquema de sectorización de abastecimiento de agua

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete”.

### b) Troncal principal

La Troncal Principal está compuesto por dos líneas de aducción que provienen de la salida del reservorio existente de 800m<sup>3</sup> ubicado en las instalaciones de la PTAP existente Alminares; la línea de aducción N°1; capaz de transportar 116.34lps, está compuesta por 43.7m de tubería existente de Asbesto Cemento DN 300mm y 3443.22m de tubería proyectada de PVC distribuida de la siguiente forma: 2797.47m de Tubería DN 400 PVC UF ISO 4422 PN 10, 534.58m de Tubería DN 315 PVC UF ISO 4422 PN 10 y 111.17m de Tubería DN 200 PVC UF ISO 4422 PN 10. Así mismo, la línea de aducción N°2, también proviene de la PTAP existente, tiene una capacidad de transportar 47.71 lps, está compuesta por 2544.95m de tubería existente de Asbesto Cemento DN 250mm y 1844.79m de tubería proyectada de PVC distribuida de la siguiente forma: 1310.43m de Tubería DN 250 PVC UF ISO 4422 PN 10 y 534.36m de Tubería DN 200 PVC UF ISO 4422 PN 10. Con la renovación de las líneas en mención se mejorará el sistema de distribución en los 8 sectores del Distrito de Imperial.

#### Línea de Aducción N°1

Capaz de transportar 116.34 lps, está compuesta por 43.7m de tubería existente de Asbesto Cemento DN 300mm y 3443.22m de tubería proyectada de PVC distribuida de la siguiente forma: 2797.47m de Tubería DN 400 PVC UF ISO 4422 PN 10, 534.58m de Tubería DN 315 PVC UF ISO 4422 PN 10 y 111.17m de Tubería DN 200 PVC UF ISO 4422 PN 10.

Mediante la línea de Aducción N°1 se alimentará a los sectores 1, 2, 3 y 7 como se indica en el cuadro siguiente:

**Tabla 3.1** Sectores de abastecimiento de la Línea de Aducción N°1

Línea de Aducción	Sector	Qp (l/s)	Qmd (l/s)	Qmh (l/s)
N° 1	01	5,95	7,73	10,70
	02	28,87	37,53	51,96
	03	26,66	34,66	47,99
	07	3,16	4,10	5,68
total		64,63	84,02	116,34

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

### Línea de Aducción N°2

Capaz de transportar 47.71lps, está compuesta por 2544.95m de tubería existente de Asbesto Cemento DN 250mm y 1844.79m de tubería proyectada de PVC distribuida de la siguiente forma: 1310.43m de Tubería DN 250 PVC UF ISO 4422 PN 10 y 534.36m de Tubería DN 200 PVC UF ISO 4422 PN 10. Con la renovación de las líneas en mención se mejorará el sistema de distribución en los 8 sectores del distrito de Imperial.

Mediante la línea de Aducción N°2 se alimentará a los sectores 4, 5, 6 y 8 como se indica en el cuadro siguiente:

**Tabla 3.2** Sectores de abastecimiento de la Línea de Aducción N°2

Línea de Aducción	Sector	Qp (l/s)	Qmd (l/s)	Qmh (l/s)
N° 2	04	7,34	9,54	13,21
	05	12,00	15,60	21,60
	06	3,83	4,98	6,89
	08	3,33	4,33	6,00
<b>total</b>		26,50	34,45	47,71

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

### **c) Descripción de sectores**

#### Sector 01

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.31 km<sup>2</sup> (comprende la Asoc. Pro Viv. La primavera, Hab. Urb. María Magdalena y las zonas de expansión aledañas) y se ubica entre las cotas 95 y 100 msnm, el caudal máximo horario que ingresará a este sector es de 10.70 l/s.

#### Sector 02

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.77 km<sup>2</sup> (comprende el A.H. Cocharcas, A.H. Asuncion 8, A.H. Josefina Ramos Vda. De Gonzales Prada, A.H. Buenos Aires, Hab. Urb. Virgen De La Asuncion, parte alta de Imperial Cercado y las zonas de expansión aledañas) y se ubica

entre las cotas 90 y 95 msnm, el caudal máximo horario que ingresará a este sector es de 51.96 l/s.

### Sector 03

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.91 km<sup>2</sup> (comprende Imperial Cercado, Hab. Urb. San Cristóbal, Hab. Urb. San Leonardo, Hab. Urb. San Bernardo, A.H. Ramos Larrea, A.H. San Antonio sector 1, Urb. Los Ángeles, Urb. Melchorita, URB. La Portada y las zonas de expansión aledañas) y se ubica entre las cotas 83 y 90 msnm, el caudal máximo horario que ingresará a este sector es de 47.99 l/s.

### Sector 04

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.88 km<sup>2</sup> (comprende las urbanizaciones Sevilla, Villa Sol, Villa Hermosa y toda la franja de expansión al lado de la carretera San Vicente - Imperial) y se ubica entre las cotas 59 y 83 msnm, el caudal máximo horario que ingresará a este sector es de 13.21 l/s.

### Sector 05

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.73 km<sup>2</sup> (comprende la Urb. Las Mandarinas, Urb. José María Escriba, Urb. Los Reyes, Urb. Alameda de Márquez, Asoc. De Viv. Camacho, Asoc. De Viv. Condom. Rezola, Urb. Sindicato de Choferes, Urb. Valle Hermoso y La Urb. Santa Rosa de Hualcara) y se ubica entre las cotas 59 y 83 msnm el caudal máximo horario que ingresará a este sector es de 31.60 l/s.

### Sector 06

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.70 km<sup>2</sup> (comprende el C.P.M. Hualcara) y se ubica entre las cotas 67 y 68 msnm, el caudal máximo horario que ingresará a este sector es de 6.89 l/s.

### Sector 07

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.22 km<sup>2</sup> (comprende la Hab. Urb. San Leonardo y las zonas de expansión aledañas) y se ubica entre las cotas 83 y 88 msnm, el caudal máximo horario que ingresará a este sector es de 5.68 l/s.

#### Sector 08

Será abastecido por gravedad a través del reservorio RE-01, el cual es alimentado por PTAP-01 y 02. Este sector ocupa un área de 0.54 km<sup>2</sup> (Comprende la Urb. Santa Elena, la Asoc. de Crianza de Porcinos y las zonas de expansión aledañas) y se ubica entre las cotas 87 y 95 msnm, el caudal máximo horario que ingresa a este sector es de 24.16 l/s.

**Tabla 3.3** Demanda Proyectada por Sectores al horizonte

DEMANDA DE SECTORES							
Sector	Qp (l/s)	Area m <sup>2</sup>	Qp (l/s)	Qmd (l/s)	Qmh (l/s)	Qmin (l/s)	Vol (m <sup>3</sup> ) 25%Qp
01	91,13	313966,83	5,95	7,73	10,70	2,08	152,18
02		771925,17	28,87	37,53	51,96	10,10	647,29
03		906167,2	26,66	34,66	47,99	9,33	599,64
04		878820,72	7,34	9,54	13,21	2,57	182,31
05		730778,31	12,00	15,60	21,60	4,20	282,95
06		701456,41	3,83	4,98	6,89	1,34	106,45
07		216747,38	3,16	4,10	5,68	1,10	91,92
08		467957,69	3,33	4,33	6,00	1,17	95,76
TOTAL		4987819,71	91,13	118,47	164,04	31,90	2159,00

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

#### **d) Redes de distribución**

Las redes de distribución del nuevo sistema estarán conformadas por los tramos de las redes principales existentes que continuarán en funcionamiento, los tramos de la Red Secundaria que serán rehabilitados. Es importante recalcar solo algunos tramos serán rehabilitados, y por el método convencional de construcción y sobre la misma línea que discurren hoy en día. Por lo tanto, se generará corte provisional del servicio. Para poder extraer las tuberías a ser reemplazar.

**Tabla 3.4** Medrado de redes por instalar

TIPO DE INSTALACION Y DIAMETRO	LONGITUD (ml)
TUBERIA PVC-UF NTP ISO 4422 C- 7.5 DN 315	8.38
TUBERIA PVC-UF NTP ISO 4422 C- 7.5 DN 250	50.70
TUBERIA PVC-UF NTP ISO 4422 C- 7.5 DN 200	5008.35
TUBERIA PVC-UF NTP ISO 4422 C- 7.5 DN 160	4750.77

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

### e) Reductora de presión y medición

#### Reductora de Presión

El sistema de redes de distribución del distrito de Imperial se encuentra dividido por dos líneas de aducción ya mencionadas y dividen en sistema en dos zonas de presión que estarán reguladas por 02 válvulas presión. En la línea de aducción N° 1 se contará con una válvula reductora de presión con un diámetro de 400mm. En la línea de aducción N° 2 se contará con una válvula reductora de presión con un diámetro de 250 mm.

#### Macromedición

El sistema contará con 08 macromedidores al ingreso de cada sector.

#### Micromedición

Se implementará la micromedición al 100%, para lo cual se considera las siguientes metas:

- Sum/Inst. de 5341 (juegos) elementos de control para conexión domiciliaria (para Conexiones Existentes).
- Sum/Inst. de 5341 Cajas prefabricadas de concreto t/portamedidor (para Conexiones Existentes).
- Sum/Inst. de 4665 Medidores p/conexión domiciliaria DN 15mm tipo chorro múltiple s/especificación incl. pruebas de laboratorio p/aceptación en conexiones existentes.
- Sum/Inst. de 676 Medidores p/conexión domiciliaria DN 15mm tipo chorro múltiple s/especificación incl. pruebas de laboratorio p/aceptación en conexiones renovadas.

El total de conexiones de Agua Potable es de 7203 und. De las cuales 1235 (17.15%) tienen medidores y 82.85 (21.79%) no cuentan con medidor. Cabe mencionar que las nuevas habilitaciones periurbanas aun no cuentan con servicio de agua y con el presente proyecto se pretende ampliar la cobertura.

### 3.2.2. Especificaciones técnicas

Son documentos en los cuales se definen las normas, exigencias y procedimientos a ser empleados y aplicados a todos los detalles de la tecnología constructiva y procesos.

Las especificaciones técnicas de un proyecto constituyen las reglas que definen las condiciones técnicas de la obra; para ello se debe considerar por cada partida, los siguientes componentes:

- Identificación de las partidas.
- Descripción de los trabajos.
- Método de construcción.
- Calidad de los materiales.
- Sistemas de control de calidad.
- Método de medición.
- Condiciones de pago, etc.

Existió concordancia entre las indicaciones de la planilla de metrados y las especificaciones técnicas; con los nombres, con el número de ítem y con la unidad de los metrados, de las diferentes partidas indicadas en el presupuesto detallado.

Las especificaciones técnicas de un proyecto (Ver Anexo D) es requisito fundamental para poder estimar un presupuesto base, de tal manera que el presupuesto refleje el costo que se aproxime a costo real de ejecución.

### 3.2.3. Planos

Un plano es la representación gráfica de la futura construcción, donde se añaden elementos que permiten su visualización a detalle sobre la obra a construir. Los planos fueron elaborados de tal forma que refleje exactamente cada uno de los

componentes físicos de la obra. Comprenderá planos en planta, perfil, cortes, detalles, etc. Estos planos deben ser de fácil entendimiento por los diferentes involucrados al proyecto.

Un plano tiene diferentes tipos de escala, según la cantidad de información a representar y tamaño de la obra.

Planos generales:

- Plano de localización de la ubicación del proyecto referenciado en coordenadas UTM<sup>22</sup> a escala adecuada.
- Plano clave o topográfico, con curvas de nivel a escala conveniente.
- Plano de planta y perfil longitudinal por km. A escala conveniente.

Planos de especialidad

- Plano de sectorización.
- Plano de canteras
- Plano de depósitos de materiales provenientes de excavaciones.
- Plano de estructura de pavimentos.
- Plano de drenaje y alcantarillas.
- Plano de señalización.
- Planos de obras de arte o estructuras especiales a escala conveniente.

Para ver los diferentes tipos de planos antes mencionados ver anexo N.

#### 3.2.4. Planilla de metrados

Es un proceso de cuantificación, cuya finalidad es determinar por partidas la cantidad de obra a ejecutar<sup>23</sup>. Los metrados del expediente técnico están sustentados para cada partida con gráficos y/o croquis explicativos de acuerdo a la planilla de metrados realizado (Ver Anexo E).

De la tabla 3.5 a la tabla 3.8, tenemos el metrado de proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial-Cañete”.

---

<sup>22</sup> sistema de coordenadas universal transversal de mercator.

<sup>23</sup> calculo de cantidad de insumos humanos y no humanos.

**Tabla 3.5** Metrado de obras provisionales

SUBPRESU : OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD								
UBICACIÓN: LIMA - CAÑETE - IMPERIAL					FECHA : MARZO 2013			
01. OBRAS PROVISIONALES								
Item	Descripcion	Unid.	Nº de	Larg	Anc	Alto	Parcial	Total
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES PARA TODA LA OBRA</b>							
<b>01.01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>							
01.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE OBRA	glb	1.00				1.00	1.00
01.01.02	CARTEL DE IDENTIFICACION DE OBRA	und.	2.00				2.00	2.00
01.01.03	CERCO DE MALLA HDP DE 1M. ALTURA PARA LIMITE SEGURIDAD OBRA	m	15106.21				15106.21	15106.21
01.01.04	TRANQUERA T/CABALLET 2.4 X 1.2M P/SEÑAL-PROTEC (PROV. DURANT. OBRA)	und.	44.00				44.00	44.00
01.01.05	PUENTE DE MADERA PARA PASE PEATONAL SOBRE ZANJA S/D (PROV. DURANTE OBRA)	und.	23.00				23.00	23.00
01.01.06	PUENTE DE MADERA PARA PASE VEHICULAR SOBRE ZANJA S/D (PROV. DURANTE OBRA)	und.	5.00				5.00	5.00
<b>01.02</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>							
01.02.01	MOVILIZACION DE EQUIPO	glb	1.00				1.00	1.00

\* Para visualizar el metrado completo ver anexo E panilla de metrados

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

**Tabla 3.6** Metrado de redes de distribución principales "Matrices"

SUBPRESU : REDES DE DISTRIBUCION PRINCIPALES "MATRICES"								
UBICACIÓN: LIMA - CAÑETE - IMPERIAL					FECHA: MARZO 2013			
02. REDES DE DISTRIBUCION PRINCIPALES "MATRICES"								
Item	Descripcion	Unid.	Nº de	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Total
<b>01</b>	<b>TRONCAL PRINCIPAL</b>							
<b>01.01</b>	<b>LÍNEA DE ADUCCIÓN N°1</b>							
<b>01.01.01</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>	m						
01.01.01.01	TRAZO Y REPLANTEO INICIALES DEL PROYECTO	m	1.00	3,443.22			3,443.22	3,443.22
01.01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO FINALES DE OBRA	m	1.00	3,443.22			3,443.22	3,443.22
<b>01.01.02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>							
01.01.02.01	EXCAVACION DE ZANJA (MAQ.) P/TUB. T-NORMAL DN 400 DE 1.01m A 1.50m PROF	m	1.00	2,797.47			2,797.47	2,797.47
01.01.02.02	EXCAVACION DE ZANJA (MAQ.) P/TUB. T-NORMAL DN 315 DE 1.01m A 1.50m PROF	m	1.00	534.58			534.58	534.58
01.01.02.03	EXCAVACION DE ZANJA (MAQ.) P/TUB. T-NORMAL DN 200 DE 1.01m A 1.50m PROF	m	1.00	111.17			111.17	111.17
01.01.02.04	REFINE Y NIVELACION DE ZANJA T-NORMAL P/TUB. DN 400 PARA TODA PROF.	m	1.00	2,797.47			2,797.47	2,797.47
01.01.02.05	REFINE Y NIVELACION DE ZANJA T-NORMAL P/TUB. DN 315 PARA TODA PROF.	m	1.00	534.58			534.58	534.58
01.01.02.06	REFINE Y NIVELACION DE ZANJA T-NORMAL P/TUB. DN 200 PARA TODA PROF.	m	1.00	111.17			111.17	111.17
01.01.02.07	PREPARACION DE CAMA DE APOYO P/TUB. DN 400 CON MAT. DE PRESTAMO PARA TODA PROF.	m	1.00	2,797.47			2,797.47	2,797.47
01.01.02.08	PREPARACION DE CAMA DE APOYO P/TUB. DN 315 CON MAT. DE PRESTAMO PARA TODA PROF.	m	1.00	534.58			534.58	534.58

\* Para visualizar el metrado completo ver anexo E panilla de metrados

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

**Tabla 3.7** Metrado de conexiones domiciliarias en redes principales

SUBPRE : 06 CONEXIONES DOMICILIARIAS EN REDES PRINCIPALES								
UBICACIÓN LIMA - CAÑETE - IMPERIAL						FECHA : MARZO 2013		
03. CONEXIONES DOMICILIARIAS EN REDES PRINCIPALES								
Item	Descripción	Und.	Nº de Veces	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Total
01	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE							
01.01	TRABAJOS PRELIMINARES							
01.01.01	TRAZO Y REPLANTEO INICIAL PARA CONEXIONES DOMICILIARIAS	Und.	1.00	675.00			675.00	675.00
01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO FINAL PARA CONEXIONES DOMICILIARIAS	Und.	1.00	675.00			675.00	675.00
01.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS							
01.02.01	EXCAV. ZANJA (PULSO) P/CONEX. T-NORMAL DN 15mm de 0.60m a 1.20m PROF.	m	1.00	4,050.00			4,050.00	4,050.00
01.02.02	REFINE Y NIVELACION DE ZANJA P/CONEX. T-NORMAL DN 15mm PARA TODA PROF	m	1.00	4,050.00			4,050.00	4,050.00
01.02.03	PREPARACION DE CAMA DE APOYO P/TUB. DN 15mm CON MAT. PROPIO PARA TODA PROF.	m	1.00	4,050.00			4,050.00	4,050.00
01.02.04	RELLENO COMP. ZANJA (PULSO) P/CONEX. T-NORMAL DN 15mm de 0.60m a 1.20m PROF	m	1.00	4,050.00			4,050.00	4,050.00
01.02.05	ELIMINACION DE DESMONTE (PULSO+VOLQ) T-NORMAL D=10KM P/TUB. DN 15-40 PARA TODA	m3	1.00	vol=	546.00		546.00	546.00
01.03	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA POTABLE							
01.03.01	COSTO POR CONEXIÓN DOM. AGUA POTABLE CONVENCIONAL T-NORMAL	Und.	1.00	375.00			375.00	375.00
01.03.02	COSTO POR CAMBIO DE CONEXIÓN DOM. AGUA POTABLE CONVENCIONAL T-NORMAL	Und.	1.00	300.00			300.00	300.00
01.04	CORTE, ROTURA Y REPOSICION DE PAVIMENTOS							

\* Para visualizar el metrado completo ver anexo E panilla de metrados

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

**Tabla 3.8** Metrado de Micromedición

SUBPRE : 04 MICROMEDICION								
UBICACIÓN LIMA - CAÑETE - IMPERIAL						FECHA : MARZO 2013		
04. MICROMEDICION								
Item	Descripción	Und.	Nº de Veces	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Total
01	MICROMEDICION							
01.01	MICROMEDICION - EN REDES MATRICES							
01.01.01	MEDIDOR P/CONEXIÓN DOMICILIARIA DN 15mm TIPO CHORRO MÚLTIPLE S/ESPECIFICACION INCL. PRUEBAS DE LABORATORIO P/ACEPTACIÓN	Und.	1.00	10.00			10.00	
01.01.02	DISPOSITIVO METALICO DE SEGURIDAD TIPO ARGOLLA PARA MEDIDOR DN 15mm, SEGUN ESPECIFICACIONES	Und.	1.00	10.00			10.00	
01.01.03	INSTALACIÓN DE MEDIDOR APROBADO POR EMAPA PARA CONEXIÓN DOMICILIARIA DE AGUA DN 1/2"	Und.	1.00	10.00			10.00	
01.02	MICROMEDICION - EN REDES EXISTENTES							
01.02.01	DEMOLICION Y RETIRO DE CAJA EXISTENTE, INCL ELIM DE DESMONTE u 4,574.00	Und.	1.00	4,665.00			4,665.00	
01.02.02	CAJA PREFABRICADA DE CONCRETO T/PORTAMEDIDOR	Und.	1.00	4,665.00			4,665.00	
01.02.03	INSTALACION DE CAJA P/CONEXION DOMICILIARIA	Und.	1.00	4,665.00			4,665.00	
01.02.04	ELEMENTOS DE CONTROL PARA CONEXION DOMICILIARIA	jgo	1.00	4,665.00			4,665.00	
01.02.05	MEDIDOR P/CONEXIÓN DOMICILIARIA DN 15mm TIPO CHORRO MÚLTIPLE S/ESPECIFICACION INCL. PRUEBAS DE LABORATORIO P/ACEPTACIÓN	Und.	1.00	4,665.00			4,665.00	
01.02.06	DISPOSITIVO METALICO DE SEGURIDAD TIPO ARGOLLA PARA MEDIDOR DN 15mm, SEGUN ESPECIFICACIONES	Und.	1.00	4,665.00			4,665.00	
01.02.07	INSTALACIÓN DE MEDIDOR APROBADO POR EMAPA PARA CONEXIÓN DOMICILIARIA DE AGUA DN 1/2"	Und.	1.00	4,665.00			4,665.00	

\* Para visualizar el metrado completo ver anexo E panilla de metrados

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

#### 4.1.1. Análisis de costos unitarios

Cada partida que compone el presupuesto es sustentada con su respectivo costo unitario.

Los componentes para calcular el costo unitario de una partida y/o subpartida es:

- **Costo de mano de obra:** Este insumo se ha calculado en base a lo establecido en el acuerdo colectivo de Construcción Civil 2013-2014 (Ver tabla 2.1).
- **Costo de los materiales:** Este insumo se obtuvo de las cotizaciones realizadas en el mercado local (Ver anexo M), la cual es justificada y compatibilizada con la relación de insumos (Ver anexo G).
- **Costo de equipos y/o herramientas:** el costo de los equipos es obtenida de las cotizaciones hechas (Ver anexo M), mientras que le costó de las herramientas es calculado en base a un porcentaje<sup>24</sup> establecido en proyectos similares por EMAPA CAÑETE S.A.
- **Rendimientos:** es uno de los componentes imprescindibles del análisis de costos unitarios ya que nos permite obtener el aporte unitario de cada componente recurso. Los rendimientos que se tomaron para el análisis de costos unitarios fueron tomados de campo y de experiencias pasadas en proyectos similares de EMAPA CAÑETE S.A. (Ver anexo B).

El costo unitario resulta de la suma del costo de mano de obra, materiales y equipos y/o herramientas. Las unidades de las partidas son concordantes con la unidad de los metrados, los mismos que son realizados considerando las normas relacionadas al sector de saneamiento.

La estructura del análisis de costos unitarios, en lo que respecta a los rendimientos, está en función de la ubicación del proyecto (condicionada por el tipo de suelo, la altitud, accesibilidad, pendiente, clima, tipo de estructura, etc.), la cual es obtenido de acuerdo al mercado, las cuales son publicadas por revistas ligadas al sector de la construcción y/o de las empresas prestadoras de servicios de saneamiento más próximos al área de influencia del proyecto.

---

<sup>24</sup> Un porcentaje del 2%

En la siguiente tabla se muestra el análisis de costos unitarios de una partida y una subpartida, el resto de las partidas y subpartidas se muestra en el anexo F.

**Tabla 3.9** Análisis de costos unitarios de una partida

Partida	01.01.02.11		RELLENO COMP. DE ZANJA (PULSO) P/TUB. T-NORMAL DN 315 DE 1.01-1.50M PROF.			
Rendimiento	m/día	MO: 60.00 EQ: 60.000	Costo unitario directo por: m			17.54
Código	Descripción Recurso		Unidad Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	
<b>Mano de Obra</b>						
0176000001	CAPATAZ		hh	0.1000	0.0133	0.29
0176000004	PEON		hh	5.0000	0.6667	8.29
0176080001	OPERADOR		hh	1.0000	0.1333	2.14
						<b>10.72</b>
<b>Materiales</b>						
0226020001	AGUA, INCL. TRANSP. A PIE DE OBRA (CAMION CISTERNA)		m3		0.0600	0.60
						<b>0.60</b>
<b>Equipos</b>						
0330400004	HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		2.0000	0.21
0333540062	MINICARGADOR		hm	0.5000	0.0667	5.34
0333600001	COMPACTADORA VIBRAT. TIPO PLACHA		hm	1.0000	0.1333	0.67
						<b>6.22</b>

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete”.

**Tabla 3.10** Análisis de costos unitarios de una subpartida

Partida	02.08.01		CORTE+ROTURA, ED Y REPOSICION DE PAV. FLEXIBLE ASFALTO CALIENTE DE E=2”			
Rendimiento	m2/día	MO. EQ.	Costo unitario directo por: m2			87.65
Código	Descripción Recurso		Unidad Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>						
900502030120	EXC. CORTE EN T-N A PULSO A NIV. SUB.		m3	0.2000	37.20	7.44
900502030213	PREP. C/EQUIPO DE LA SUB. DE 15 CM PROF.		m2	1.0000	5.45	5.45
900502030239	ELIMIN. DE DESM. EN T-N R=10 KM C/MAQ.		m3	0.2500	30.06	7.52
900502120170	CORTE Y ROTURA PAV. FLEX. ASF. CALIENTE		m2	1.0000	12.36	12.36
900502120175	IMPR. ASF. C/CAMION IMPRIMIDOR		m2	1.0000	5.93	5.93
900502120176	CARPETA T/FLEX. ASF. CAL/PAVIMENTADORA DE 2” ESPESOR		m2	1.0000	35.59	35.59
900502120332	BASE DE MATERIAL GRAUAKR COMP./PULSO DE 20CM ESPESOR		m2	1.0000	13.36	13.36
						<b>87.65</b>

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete”.

#### 4.2. COSTO DIRECTO

Es la suma del resultado de la multiplicación de la cantidad de metros obtenidos (ver anexo E) con sus respectivos precios unitarios obtenidos del análisis de costos unitarios (Ver anexo F) de cada partida. En este proyecto para

un mejor control de costos el presupuesto se dividió en subpresupuestos de: Obras provisionales (Ver tabla 3.11), trabajos preliminares y seguridad y salud, Redes de distribución principales “Matrices”, Conexiones domiciliarias en redes principales, Micromedición y Mitigación de impacto global para la obra.

**Tabla 3.11** Subpresupuesto de obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud

0224026 EXPEDIENTE TECNICO "MEJORAMIENTO Y AMPLIACION CON SECTORIZACION DEL SISTEMA DE DISTRIBUCION DE AGUA POTABLE DE LA LOCALIDAD DE IMPERIAL (ESQUEMA IMPERIAL), DISTRITO DE IMPERIAL CAÑETE					
001 OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD					
MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CAÑETE					
LIMA-CAÑETE-IMPERIAL					
Ítem	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	<b>OBRAS PROVISIONALES Y TRABAJOS PRELIMINARES PARA TODA LA OBRA</b>				
<b>01.01</b>	<b>BRAS PROVISIONALES</b>				<b>21,899.76</b>
01.01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL DE OBRA	glb	1.00	11,750.00	11,750.00
01.01.02	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA	und	2.00	750.00	1,500.00
01.01.03	CERCO DE MALLA HDP DE 1M. ALTURA PARA LIMITE SEGURIDAD OBRA	m	15,106.21	1.11	16,767.89
01.01.04	TRANQUERA T/CABALLET 2.4 X 1.2M P/SEÑAL-PROTEC (PROV. DURANT. OBRA)	und	44.00	43.67	1,921.48
01.01.05	PUENTE DE MAD. PARA PASE PEATONAL SOBRE ZANJA S/D (PROV. DURANTE OBRA)	und	23.00	30.28	696.44
01.01.06	PUENTE DE MAD. PARA PASE VEH. SOBRE ZANJA S/D (PROV. DURANTE LA OBRA)	und	5.00	202.79	1,013.95
<b>01.02</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				<b>33,812.53</b>
01.02.01	MOVILIZACION DE EQUIPOS	glb	1.00	11,619.44	11,619.44
01.02.02	TRANSPORTE DE TUBERIA AL PIE DE OBRA	glb	1.00	12,000.00	12,000.00
01.02.03	LIMPIEZA PERMANENTE DE LA OBRA	glb	1.00	4,886.18	4,886.18
01.02.04	RIEGO DE ZONA DE TRABAJO PARA MITIGAR LA CONTAMINACIÓN - POLVO (COSTO DE AGUA Y TRANSPORTE SURTIDOR A OBRA)	m	4,349.93	1.22	5,306.91
<b>COSTO DIRECTO (S./)</b>					<b>55,712.30</b>

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete”.

En la tabla 3.11 se muestra el detalle del subpresupuesto de obras provisionales, trabajos preliminares, seguridad y salud, que fue desarrollado en el expediente técnico. Los detalles del resto de subpresupuestos se muestran en el anexo H.

Finalmente se calculó los gastos previstos en que se van incurrir directamente en la ejecución de la obra (Ver tabla 3.12) para utilizar, adquirir, e integrar los

recursos necesarios, en la cantidad o en el tiempo que sean necesarios, para realizar los diferentes procedimientos constructivos durante la ejecución de la obra.

**Tabla 3.12** Costo directo de los sub-proyectos

OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD	67.462,29
REDES DE DISTRIBUCION PRINCIPALES "MATRICES"	2.899.995,09
MICROMEDICION	1.050.045,00
MITIGACION DE IMPACTO GLOBAL PARA LA OBRA	49.741,50
CONEXIONES DOMICILIARIAS EN REDES PRINCIPALES	314.919,60
<b>Costo Directo (CD) S/.</b>	<b>4,382,163.48</b>

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

#### 4.3. COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos básicamente es la sumatoria de los gastos generales, utilidad, impuestos (IGV<sup>25</sup>), gastos de supervisión y liquidación, gastos de educación sanitaria y gastos de saneamiento físico legal.

- a. **Gastos generales:** los gastos generales en nuestro medio varían de acuerdo a la complejidad del proyecto de 4% a 15" del costo directo y deben ser divididos en:
  - Gastos generales variable: gastos de almacén, guardianía, maestro de obra, residencia, administrador, gastos de movilización y desmovilización de equipos.
  - Gastos generales fijos: son aquellos gastos independientes del periodo de ejecución de obra, como son gastos financieros, gastos de preparación de propuesta, materiales de escritorio utilizados en obra, fotocopias y reproducciones, gastos administrativos, etc.
  
- b. **Utilidad:** La utilidad es un porcentaje del costo directo, la entidad considera conveniente dar un 10% de costo directo.
  
- c. **Impuestos (IGV):** se debe considerar el IGV correspondiente al 18% sobre el subtotal que resuelve la suma de costo directo, gastos generales y utilidad.

<sup>25</sup> Impuesto General de Ventas (18%)

Finalmente se tiene el presupuesto de obra, sin considerar algunos conceptos como gastos de supervisión y liquidación, gastos por saneamiento físico legal y gastos por educación sanitaria.

**Tabla 3.13** Total presupuesto de obra

COSTO DIRECTO	4.382.163,48
GASTOS GENERALES (10%)	438.216,35
UTILIDAD (10%)	438.216,35
SUB TOTAL (1)	5.258.596,18
IGV (18%)	946.547,31
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE OBRA</b>	<b>6.205.143,49</b>

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

#### 4.4. PRESUPUESTO TOTAL DEL PROYECTO

Es la suma total de los costos directos, indirectos, impuestos, supervisión de obra, educación sanitaria y saneamiento físico legal.

- a. **Gastos de supervisión y liquidación:** se deberá considerar un porcentaje no mayor al 5% del presupuesto total de la obra a efectos de ser utilizados como gastos de supervisión y liquidación.
- b. **Gastos de educación Sanitaria:** Son los gastos que se incurre en la capacitación de la población beneficiaria del proyecto. La entidad considera que se deberá considerar un porcentaje de 1% del presupuesto total del proyecto.
- c. **Saneamiento físico legal:** Son los gastos que se incurre en la adquisición de terrenos de terceros, adquisición de derechos de vía, construcción y mantenimiento de desvíos y acceso a bancos de préstamos a fin del beneficio del desarrollo del proyecto. La entidad considera que se deberá considerar un porcentaje del 0.6% del presupuesto total del proyecto.

Finalmente, La inversión requerida asciende a S/. 6,614,682.95 (Seis Millones seiscientos Catorce Mil seiscientos ochenta y dos con 95/100 Nuevos Soles) (Ver tabla 3.14). La modalidad de ejecución de obra será por contrata y el

sistema de contratación será a precios unitarios. El plazo de ejecución de la obra es de 6 meses (Ver anexo K).

El presupuesto ha sido obtenido a precios de marzo del 2013, los costos de mano de obra son considerados de acuerdo a lo establecido por el régimen de construcción civil. Los precios de tubería, válvulas, accesorios, entre otros han sido cotizados en Lima. Los precios de agregados, cemento y acero han sido cotizados en la ciudad de San Vicente de Cañete.

**Tabla 3.14** Total presupuesto del proyecto

001	OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD	67.462,29
002	REDES DE DISTRIBUCION PRINCIPALES "MATRICES"	2.899.995,09
004	MICROMEDICION	1.050.045,00
005	MITIGACION DE IMPACTO GLOBAL PARA LA OBRA	49.741,50
006	CONEXIONES DOMICILIARIAS EN REDES PRINCIPALES	314.919,60
<b>(CD)</b>		<b>S/. 4.382.163,48</b>
COSTO DIRECTO		4.382.163,48
GASTOS GENERALES (10%)		438.216,35
UTILIDAD (10%)		438.216,35
SUB TOTAL (1)		5.258.596,18
IGV (18%)		946.547,31
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE OBRA</b>		<b>6.205.143,49</b>
SUPERVISION DE OBRA (5%)		310.257,17
EDUCACION SANITARIA (1%)		62.051,43
SANEAMIENTO FISICO LEGAL (0.6%)		37.230,86
<b>TOTAL PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>		<b>6.614.682,95</b>
<b>MANO DE OBRA</b>		S/. 983.145,00
<b>MATERIALES</b>		S/. 2.815.044,99
<b>EQUIPOS</b>		S/. 577.252,10
<b>SUBCONTRATOS</b>		S/. 1.530,00
Total descompuesto costo directo		S/. 4.376.972,09

Nota : Los precios de los recursos no incluyen I.G.V. son vigentes al :

12/03/2013

**Fuente:** Expediente técnico del proyecto "mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete".

## CAPITULO IV: METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE COSTOS CON APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es elaborar una nueva propuesta en la estimación del presupuesto de obra, combinando los principios de la Teoría de Restricciones y los Fundamentos de la Construcción en Cadena. Con el fin de lograr un cómputo anticipado del coste de una obra, de manera que el computo anticipado refleje el costo real de ejecución, de la obra en un futuro.

Debemos tener en cuenta que el costo un proyecto es una consecuencia, y es consecuencia de una buena planificación (PhD. Juan G. Ríos Segura – apuntes de clase, 2014). Una buena planificación asegura que los procedimientos constructivos o dicho en otras palabras las cadenas especializadas, procesos simples u operaciones tengan la oportunidad de ser ejecutadas adecuadamente, en el lugar y momento apropiado, y con los recursos necesarios. Por ende, la planificación tiene como propósito principal lograr el cumplimiento de un objetivo con las mínimas restricciones producidas por eventos que puedan retrasar o detener la obra. Para ello es necesario conocer los detalles del proyecto, lo que se va a construir, así como también lo que NO se va a construir (Mallma M., 2011).

Con la finalidad de desarrollar la nueva metodología de estimación de costos en el presente trabajo de investigación, se ha tomado el proyecto “mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de imperial (esquema imperial), Distrito de Imperial - Cañete - Lima”, con código SNIP del proyecto de inversión pública: 238241. Donde ya se cuenta con un expediente técnico elaborado, la cual fue declarado inviable en el año 2013 pero a la fecha la entidad ya cuenta con el expediente técnico saneado. Por lo tanto, ya se tiene el presupuesto de obra establecido, pero estimado en base a la metodología convencional de estimación de costos (Ver Capítulo III).

Para tener una idea más clara de la propuesta planteada, en primer lugar, debemos entender el nivel de planificación de la entidad, tomando en cuenta a todos los involucrados del proyecto (Ver figura 4.1) y en base al Plan Maestro

Optimizado 2006-2035 (disponible en: [http://www.emapac.com/wp-content/uploads/2006-2035](http://www.emapac.com/wp-content/uploads/2011/05/pmo-2006-2035.pdf)), elaborado por EMAPA CAÑETE S.A.

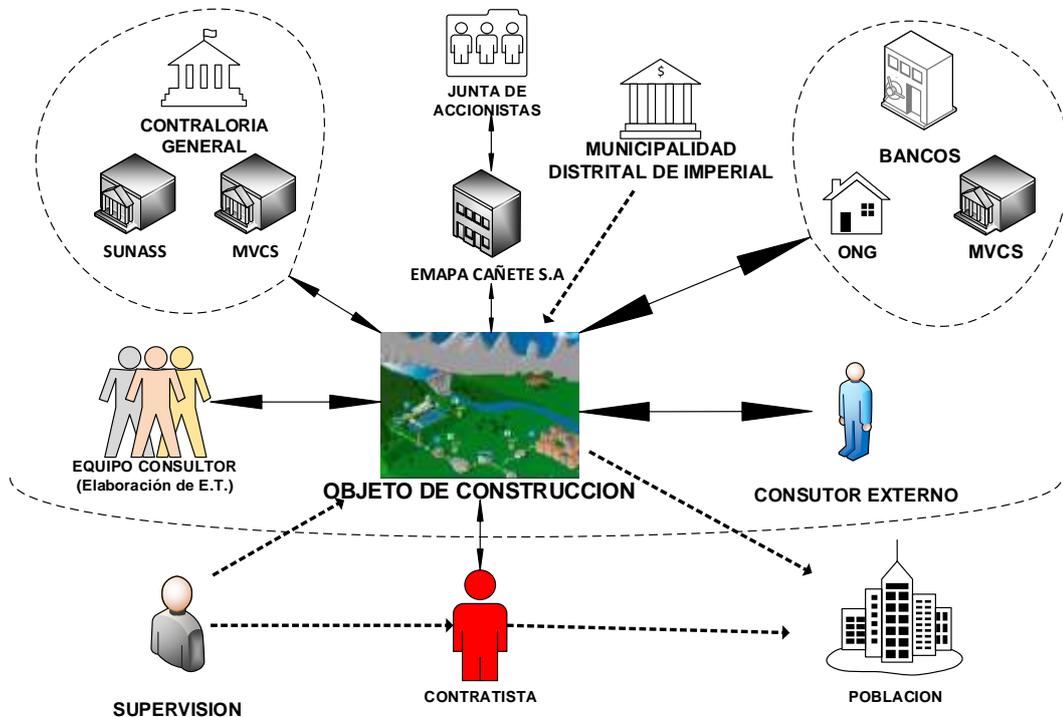


Figura 4.1: Involucrados al proyecto

Fuente: Elaboración propia

Como punto de partida en la elaboración de la nueva metodología de estimación de costos, debemos analizar el nivel de planificación de la entidad a largo, mediano y corto plazo, las cuales se describen en la planificación estratégica, planificación táctica y planificación operacional, respectivamente y adicionalmente se analizará los diferentes imprevistos que se podrían presentar durante la ejecución del proyecto, la cual será descrita en la planificación de contingencias.

#### 4.1. PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICO

Para tener un mejor enfoque de la nueva metodología planteada para el desarrollo del futuro proyecto es importante conocer los planes a largo plazo de la entidad que formula el proyecto. Tomando en cuenta la visión, que representa

lo que la organización proyecta ser en el futuro, y la misión que es la formulación de las acciones y los propósitos de la organización alcanzar la visión planteada. En tal sentido, el desarrollo empresarial de EMAPA CAÑETE S.A., se traducirá en el cambio, la superación constante, el incremento progresivo de la eficiencia concreta y real, que produce su potencial humano en los diferentes campos de las actividades de la empresa, para brindar óptimo servicio de agua potable a la sociedad a costos competitivos, para generar autofinanciamiento y solidez económica empresarial. Como toda empresa, busca el desarrollo mediante el uso más eficiente y eficaz de sus recursos. La utilización eficaz significa alcanzar la producción de los bienes y servicios adecuados, de tal modo que sean aceptables para la población y sobre con una alta calidad. El uso eficiente significa que la entidad utiliza la cantidad mínima de recursos necesarios para producir los bienes y servicios planteados.

Los objetivos del Plan Maestro Optimizado de EMAPA CAÑETE S.A., son desarrollados en base a los lineamientos generales aprobados en la Resolución de Consejo Directivo N° 033-2005-SUNASS-CD, que son referidas al nivel de calidad de los servicios de saneamiento que la población se plantea alcanzar entre el año 2006 al 2035 en las localidades que corresponden al Ámbito de su responsabilidad: Imperial, Chilca, San Vicente, Mala, Quilmaná, Cerro Azul, San Luis, San Antonio, Lunahuaná, Santa Cruz de Flores, Asia y Calango.

#### 4.2. PLANIFICACIÓN TACTICO

Después de analizar la planificación estratégica se desarrollará la planificación táctica, en donde se deben integrarse y coordinarse para dar soporte al planeamiento estratégico, y está orientado a resolver problemas de mediano plazo, establecida para cada dirección de línea o gerencia. En nuestro caso particular la línea de dirección encargada de ver los diferentes proyectos de infraestructura de EMAPA CAÑETE S.A. es la Gerencia de Ingeniería.

La Gerencia de Ingeniería es el órgano de línea encargado de ejecutar, programar, controlar, evaluar y supervisar la correcta ejecución de las diferentes obras propuestas por la entidad, haciendo cumplir las exigencias técnicas, financieras y administrativas de los diferentes expedientes técnicos; propios del proceso de licitación y concursos públicos. La ejecución de obras bajo distintas

modalidades que establece la ley y la supervisión de las obras mismas. Además, bajo su responsabilidad está el manejo del programa de inversiones de la empresa en el aspecto técnico, la misma que está compuesta por proyectos que son priorizados por localidades para su ejecución, de acuerdo a un presupuesto asignado que maneja la entidad. Los proyectos son priorizados en base al resultado del diagnóstico operacional que ha identificado la capacidad (oferta actual) del sistema de servicios de agua potable de cada localidad elaborados en el Plan Maestro Optimizado.

Para el sistema de agua potable se ha identificado los siguientes componentes: tratamiento de agua cruda o planta potabilizadora, captación de agua superficial, conducción del agua tratada (bombeo o gravedad) y almacenamiento; para el alcantarillado: impulsión o conducción de las aguas servidas, cámara de bombeo, procesamiento de las aguas servidas y disposición final (emisores).

Como resultado de este diagnóstico, se establecerán los requerimientos de las inversiones tanto en renovación, mejoramiento, ampliación y rehabilitación de las distintas estructuras principales del agua potable y alcantarillado para el periodo de diseño establecido de acuerdo a la norma, además las diferentes obras secundarias como distribución de agua tanto en; redes, conexiones incluyendo medidores y recolección de aguas servidas; conexiones y colectores.

Tomando en cuenta los requerimientos de las inversiones para ampliar la capacidad de oferta de los diferentes componentes del proceso constructivo de los servicios que brinda la entidad, respecto al año base (2005), con lo cual se plantea solucionar al menos los déficit previstos para los posteriores 5 años y las futuras ampliaciones con el propósito de generar un equilibrio en los sistema de agua potable y alcantarillado, de acuerdo a las variables de demanda (población, número de conexiones, volumen de consumo) y objetivos de gestión planteadas por la EPS (calidad del agua para consumo, cobertura de servicios, calidad del efluente para reutilización, nivel de micromedición, pérdidas técnicas, porcentaje de las aguas servidas producidas entre otras variables); se propone implementar obras de mejoramiento, ampliación y rehabilitación en todas las localidades a partir del año 2007. De las diferentes obras planteadas en el Plan Maestro Optimizado elaborado por la entidad, analizaremos el proyecto de agua potable

en la ciudad de imperial, objeto de aplicación del presente trabajo de investigación.

Como la actividad de la construcción es cambiante en sus procesos tecnológicos, de gestión, calidad y otros, debido a los problemas observados en el no cumplimiento de plazos, caos e improvisación, ineficiencia, los cuales se traducen en mala comunicación, mala asignación de recursos, información deficiente y errores en las decisiones tomadas. Por lo tanto, en el PLANEAMIENTO TÁCTICO se debe utilizar una serie de herramientas que contemple los problemas antes mencionados, con el objetivo de mitigar las pérdidas en productividad, costos y calidad, ya que las estadísticas determinan que los niveles de desperdicios en la construcción en todo son muy altos, llegando a un porcentaje del 30% de la producción en obras de construcción. En consecuencia, es importante evaluar los trabajos en los procesos constructivos con una metodología adecuada.

#### 4.3. PLANIFICACION OPERATIVA

Para que los Planes Tácticos funcionen, tienen que efectuarse el Planeamiento Operativo, los cuales son a corto plazo. El Planeamiento Operativo es la planificación que se realiza en obra, viene a ser el conjunto de decisiones que se toma en la administración de la obra para llevar a cabo la ejecución de la obra, estas decisiones van desde: elección del método de programación de obra, la cantidad de frentes de trabajo a atacar, la simultaneidad de avance de frentes de trabajo, la ubicación de campamentos, la secuencia de avance, la innovación tecnológica, la ubicación de talleres, el área que ocuparán los materiales, el procedimiento constructivo, la ubicación de materiales en campo, la constructabilidad del proyecto, la cantidad de personal que se contratará, etc.; todo este conjunto de decisiones son preguntas que se hacen todos los gerentes de proyectos y se plantean soluciones antes de empezar a planificar una obra, es claro que de las decisiones que se tomen en ésta fase y lo acertado que sean al elegir las mejores alternativas para cada uno de las preguntas con lo cual se llevará al éxito o al fracaso del proyecto encargado y como consecuencia de ésta planificación se elabora la programación de la obra, en base a los siguientes aspectos analizados.

### 4.3.1. Planificación general de obra

#### 4.3.1.1. *Planeamiento regional*

También denominado planeamiento EXÓGENO. Nos permite analizar el entorno donde se ubicará la obra. Por lo tanto, es recomendable realizar un reconocimiento previo de la zona donde se ejecutará el proyecto, para poder tomar todas las medidas preventivas que permitan un adecuado desarrollo de la obra. Por ejemplo, en los grandes Proyectos de Ingeniería los tiempos invertidos para el transporte (principalmente en obras viales y obras de saneamiento) son de vital importancia en la economía de la obra, debido a que la mayoría de las actividades dependen de los equipos básicos, ya sea para el suministro o movilización de recursos humanos y no humanos, por lo que invertir demasiado tiempo en los transportes, lo cual puede afectar notoriamente los costos de la obra. Por ello es necesario conocer de cerca la zona donde se emplaza el proyecto, para tener un mejor control de los problemas que afectan en el normal desarrollo del proyecto. Cuando se realiza el reconocimiento de la zona es recomendable considerar los siguientes aspectos (Rodríguez, 1999):

- Disposición de la mano de obra, materiales y otros recursos en la zona.
- Recursos básicos como agua, electricidad, alcantarillado.
- Condiciones físicas del terreno, topografía.
- Mapear los diferentes caminos de acceso a la obra.
- Distancia a pueblos aledaños y puertos.
- Condiciones climáticas (ver memoria descriptiva).
- Características socioeconómicas del lugar y apoyo logístico.
- Alcances de las disposiciones legales de la Zona, etc.

Todos estos elementos son de gran importancia en la estimación de los costos. La planificación y la programación de la instalación de las zonas auxiliares es importante integrar oportunamente en la programación de la instalación de faenas de acuerdo al avance de la construcción (Ver figura 4.2).

Algunas estimaciones indican que los gastos de la instalación de faenas fluctúan entre un 8% y 5% del costo directo del proyecto y generalmente son cargados como gastos generales de la obra. Una evaluación incorrecta del costo de una

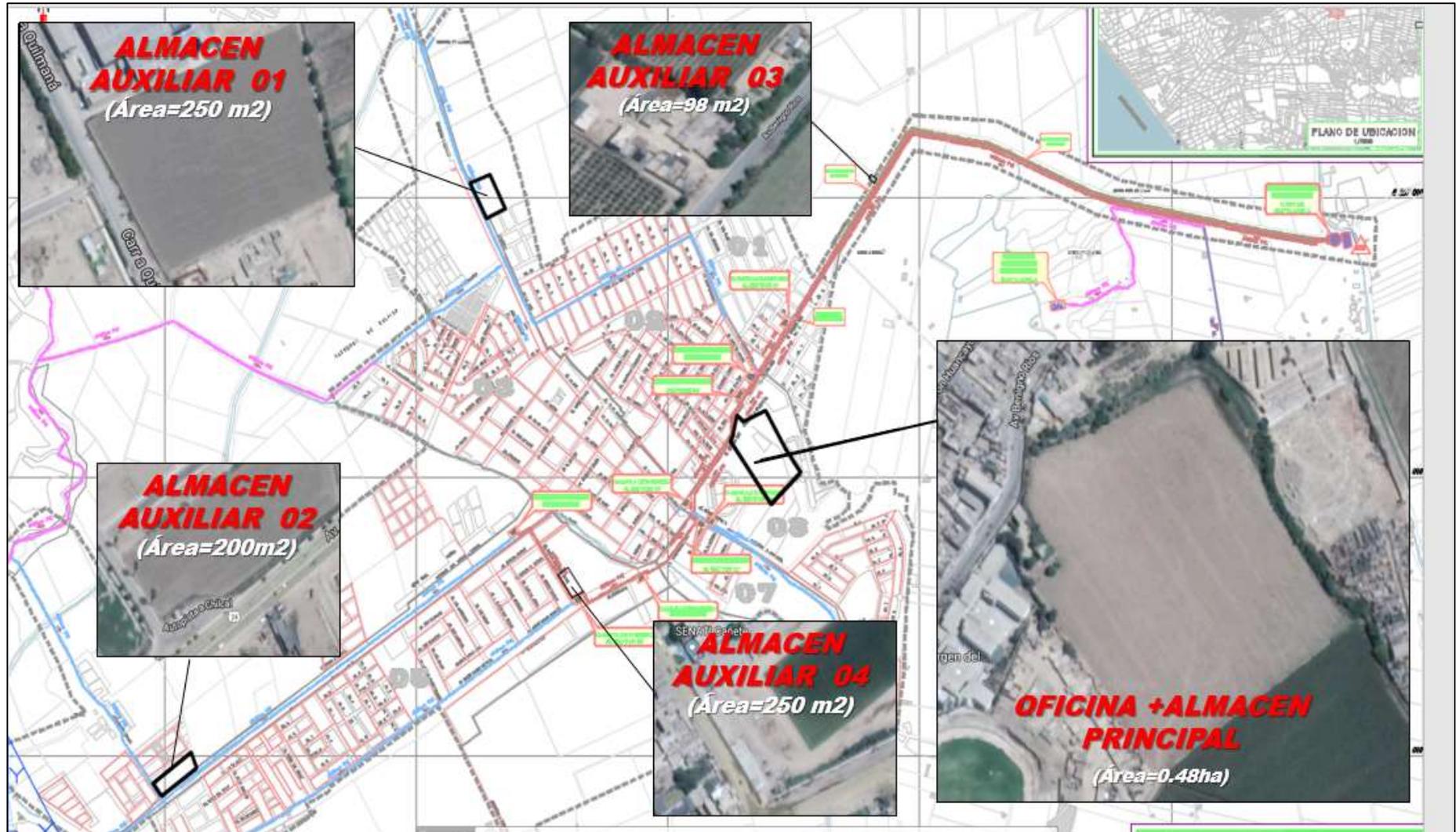
instalación auxiliar puede llevar al contratista a perder una buena parte de las utilidades esperadas de un contrato (Serpell, 2002).

#### 4.3.1.2. *Planeamiento endógeno*

El planeamiento endógeno o distribución en planta, es el planeamiento que permite determinar la ubicación de las instalaciones auxiliares necesarias para el desarrollo del proyecto (Ver Figura 4.2) por un periodo de tiempo limitado. Permite la maximización de la eficiencia de las operaciones para promover una alta productividad de los trabajadores (Mallma M., 2011).

Es importante conocer el lugar y las condiciones del terreno donde se va a ejecutar la construcción. Conocer las vías de acceso y las posibilidades de conexión con las redes públicas de desagüe, agua potable, luz y teléfono. Las vías de acceso que comunica hacia el interior de la obra están en buen estado y utilizable en cualquier momento. Con la designación adecuada de cada uno de los espacios para los diferentes ambientes, logramos una obra ordenada y limpia. Cualquiera sea la importancia de un ambiente como por ejemplo los talleres al pie de la obra y almacenes, es necesario prever su instalación y organización. Esta organización racional permite respetar los plazos señalados evitando desperdicio de la mano de obra, materiales y equipos (Mallma M. 2011). Esta planificación se realizó en planos a escala adecuada y con curvas de nivel, en la que se tomó en cuenta lo siguiente:

- Ubicación de oficina del personal técnico y administrativo de la obra.
- Las vías de acceso común
- Cercos y señalizaciones
- Zona de talleres y equipos
- Área de almacenes cerrado (Comedor y Vestuarios) y abierto (SS. HH).
- Ubicación para almacenamiento de tuberías.
- Áreas restringidas y zonas de acopio
- Almacenamiento de elementos de entibados y elementos prefabricados.
- Área de parqueo y estacionamiento de equipos: camionetas, camiones, mezcladoras, etc.



**Figura 4.2:** Distribución en planta de instalaciones auxiliares  
**Fuente:** Elaboración Propia

### Organización de la dirección de obra.

Para poner en marcha las distintas herramientas que nos permite alcanzar nuestro meta, debemos primeramente darle una organicidad a la obra para definir con claridad todos los alcances, las responsabilidades y las funciones que asumirán el personal profesional.

- Funciones y responsabilidades
  - a) Administrador de obra
    - Administra recursos económicos.
    - Representación legal de asuntos administrativos relacionados con la Obra.
    - Elaborar flujo de caja y financiamientos
    - Elaborar balances de Obra y equipo
    - Supervisar movimiento de almacén
    - Elaborar planillas de personal
    - Solución a conflictos laborales.
    - Administración de leyes y beneficios Sociales
    - Liquidar valorización de equipo
    - Liquidar valorización de sub - contratistas.
  - b) Ingeniero residente
    - Responsabilidad física de la obra y del resultado de la obra.
    - responsabilidad técnico administrativo de la obra.
    - Planeamiento de la producción.
    - Toma decisiones de procedimientos constructivos.
    - Asignar recursos a frentes de trabajo.
    - Representación ante el propietario.
    - Responsable del cumplimiento del programa.
    - Manejo del cuaderno de obras y contrata servicios de terceros.
    - Supervisar manejo administrativo.
    - Controlar y liquidar al personal técnico y profesional de obra.
  - c) Ingeniero de oficina técnica
    - Prepara los detalles de ingeniería acorde con los requerimientos del proyecto

- Revisa y aprueba los planos de detalle para el montaje.
- Coordina los temas técnicos con los interesados y con el ingeniero responsable de fabricación y montaje.
- Resuelve las preguntas técnicas hechas por el responsable del montaje de la construcción.
- Responsabilidad de oficina técnica de obra.
- Realiza informes semanales y mensuales de Obra.
- Elaborar y controlar costos de producción y el control físico de obra.
- Elabora valorizaciones internas de equipos internos y de terceros
- Elabora valorización de obra y sub contratos.
- Coordinar planos de detalle de obra.
- Coordinación diaria de avance de obra y subcontaristas.
- Controla los materiales para la obra.
- Evaluar controles de avance diario y reporte diario de control de obra.
- Evaluar y reporta lo costos diarios de obra.

d) Ingeniero de campo

- Colabora al Ingeniero Residente en las labores de dirección, ejecución y evaluación del proyecto.
- Elaborar informes de avance y evaluación de las obras del proyecto para la Gerencia de Operaciones.
- Procesa, codifica y recopila información de campo.
- Organiza y programa los frentes de trabajo y ejecutores del trabajo.
- Verificar cantidad y calidad de materiales y equipos suministrados.
- Supervisar el proyecto, verificando la calidad, seguridad y protección del medio ambiente.
- Revisa los trazos presentados por el topógrafo, los cuales son claros y de acuerdo a los planos del proyecto.
- Ejecuta las pruebas de campo.
- Supervisar el cumplimiento del programa de construcción en coordinación con los maestros de obra y los responsables de los frentes.
- Supervisa con todos los responsables de cada área la ejecución de los trabajos, la revisión y entrega del mismo en óptima calidad.

- Coordinar con el área de equipamiento, el cumplimiento de la programación de los mantenimientos preventivos y correctivos de las máquinas y equipos.
- Coordinar el depósito de los materiales excedente de obra con el responsable de calidad, seguridad y medio ambiente.
- Validar los planos As Build del proyecto.
- Realiza una lista de los materiales de exceso de obra (en liquidación).
- Entrega el material a almacén para su devolución a la oficina central al finalizar el proyecto.
- Realizar otras funciones afines que le sean asignadas.
- Es responsable de que todas las construcciones cumplan con lo exigido en las especificaciones técnicas.
- Emitir informes de calidad, con propuestas de medidas correctivas.

e) Ingeniero de calidad

- Asegurar que los sistemas de seguridad y medio ambiente y de gestión de calidad cuenten con los documentos obligatorios y necesarios para su gestión eficaz en la obra, y que dichos documentos sean implementados.
- Difundir los objetivos y políticas de calidad, seguridad y medio ambiente.
- Administrar, revisar y mantener los sistemas de gestión de calidad, medio ambiente y seguridad en el proyecto.
- Administrar las no conformidades generadas, producto de las auditorías o por otros motivos, asegurando que se implementen las acciones correctivas propuestas en los plazos establecidos.
- Comprometer la filosofía de la calidad entre los proveedores de la obra.
- Ejecutar todos los planes de auditorías internas.
- Buscar generar una cultura de seguridad e higiene en las labores diarias en el personal de la obra, a través de entrenamientos y educación del personal.
- Asegura el cumplimiento de las disposiciones emitida por el ingeniero de proyecto.

#### 4.3.2. Aspectos técnicos para determinar los costos.

Para determinar el costo de un proyecto de manera integral y global, viendo los detalles internos y externos, es importante conocer muy bien los planos, especificaciones técnicas, memoria descriptiva, los precios unitarios en el mercado (Ver ítem 3.2 y Anexo M), el volumen de trabajo (Ver tabla 4.1 y Anexo L), tiempo de ejecución del objeto de construcción y los diferentes tipos de impuestos que se podrían suscitar durante la ejecución del objeto de construcción.

#### 4.3.3. Organización de la construcción en cadena

La organización de la construcción en cadena muestra que su sistema de producción tiene un proceso tecnológico uniforme y continuo, la cual lo hace mejor frente a los demás métodos de organización referente a temas de programación en obra. La uniformidad y continuidad de los procedimientos constructivos se expresan en el consumo uniforme y continuo de los recursos laborales y técnicos materiales, y también por la salida de la actividad terminado de manera continua y uniforme. Lo cual genera un aumento en todos los indicadores donde: la producción se acelera, con la misma potencia instalada se producen más productos; la calidad de ellos mejora; el costo de la producción y la trabajosidad disminuyen.

La esencia de la construcción en cadena radica, es los ejecutores de las cadenas particulares las cuales son cuadrillas unitarias de obreros o brigadas y equipos constantes de acuerdo a los trabajos simples o complejos que realizan de manera uniforme y continua. Estos no regresan a rematar tareas de otra especialidad. Un conjunto de cadenas particulares forma una cadena especializada lo cual ejecuta una fase del proceso constructivo (Ver figura 2.5).

Un conjunto de cadenas especializadas se organiza para la construcción de una obra específica con lo cual se formó una cadena objeto (Mallma M., 2011). El conjunto de cadenas objeto forman una cadena compleja. La cadena de construcción está basada en el desmembramiento del proceso tecnológico, en su simultaneización de ejecución rítmica coordinada en el tiempo de los procesos tecnológicos. Ellos garantizan el trabajo continuo y uniforme de todos los ejecutores de los procesos, acompañándose con el uso continuo y uniforme

de los recursos (fuerza de trabajo, materiales, estructuras y artículos prefabricados, uso de máquinas de construcción, etc.), y también con la salida continua y uniforme del producto (volumen construido de la obra, área construida, volumen de trabajos ejecutados, etc.) (Budnikov, 1961).

#### 4.3.3.1. Cadena objeto

El proyecto donde se aplica el método de la construcción en cadena. contractualmente se debe desarrollar en 6 meses (180 días calendarios). Consiste en una red de agua potable que principalmente se divide en tres componentes esenciales: Redes de distribución principales “Mátrices”, Red primaria y Conexiones domiciliarias, al cual se le denominará Objeto de Construcción y a la cadena que representará su ejecución la llamaremos Cadena Objeto. Por ende, el objeto de construcción es horizontal. Conociendo que el objeto de construcción es heterogéneo, la cadena que mejor se adecua al procedimiento constructivo es la rítmica, con nivelación de los ritmos lentos al más acelerado (Mallma m., 2011). Los procedimientos constructivos necesarios para la realización del Objeto de Construcción, tienen el siguiente orden lógico de ejecución:

- i. Objeto complejo de Red troncal principal.
- ii. Objeto complejo de Redes primarias
- iii. Objeto complejo de Conexiones domiciliarias.

La cadena objeto a considerar comprenderá las siguientes cadenas especializadas.

- a. Excavaciones en redes de agua potable.
- b. Trabajos en cámaras de concreto.
- c. Instalación en medidores.

#### 4.3.3.2. Unidades de producción

La cantidad de unidades de producción puede ser igual o diferente para cada una de las cadenas especializadas. Esto dependerá de los criterios utilizados para su definición.

El objeto de construcción es un proyecto de red de agua potable y por su distribución en el espacio, está constituido de tres sub componentes: red troncal principal, Red primaria y Conexiones domiciliarias. Donde la red troncal principal y la red primaria se dividirán en tramos menores a 500m, la conexión domiciliaria está sectorizados en 8 componentes de acuerdo a los planos de diseño. A continuación, en la figura 4.3 se describe al OBJETO DE CONSTRUCCIÓN (red de agua potable), las unidades de producción (redes de distribución principales “matrices”, red primaria y conexiones domiciliarias) y cada uno de ellos con sus respectivas cadenas especializadas.

OBJETO DE CONSTRUCCION	OBJETO COMPLEJO	UNIDADES DE PRODUCCION	CADENAS ESPECIALIZADAS	
RED DE AGUA POTABLE	RED TRONCAL PRINCIPAL	LÍNEA DE ADUCCION N° 01	TRAMO 1	Excavaciones en redes de agua potable
			TRAMO 2	
			...	
			TRAMO 9	
		TRAMO 10		
		LÍNEA DE ADUCCION N° 02	TRAMO 1	
			TRAMO 2	
			TRAMO 3	
			TRAMO 4	
		CAMARA DE CONTROL	CIS	
	2			
	...			
	8			
	CAMARA DE VALVULA DE AIRE	VRP	9	
			VA	1
	2			
...				
9				
RED PRIMARIA	RED DE DISTRIBUCION	TRAMO 1	Excavaciones en redes de agua potable	
		TRAMO 2		
		..		
		TRAMO 19		
CONEXIONES DOMICILIARIAS	CONEXIONES DOMICILIARES	TRAMO 20		
		CNX 1		
		CNX 2		
		...		
	CNX 7			
	CNX 8			
INSTALACION DE MEDIDORES	INSTALACION DE MEDIDORES	INS 1	Instalación de medidores	
		INS 2		
		...		
		INS 15		
		INS 16		

Figura 4.3: Descripción de las unidades de producción

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3.3. Nivel de desmembramiento

El nivel de desmembramiento que se toma para cada uno de los objetos complejos de construcción, dependerá del nivel de organización para la ejecución de las actividades constructivas. Para éste proyecto se optará por trabajar a nivel de Operaciones.

#### 4.3.3.4. Cadenas Especializadas

Establecido el nivel de desmembramiento con el que trabajaremos, procederemos a definir la conformación de cada una de las Cadenas Especializadas en base a los Procesos Simples, y éstos a su vez en Operaciones de acuerdo a los objetos complejos de construcción.

- i) Objeto complejo red troncal principal
  - a. Cadena Especializada de excavación de redes de agua potable

Proceso Simple en líneas de aducción N° 1.

Operaciones:

- a1. Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas
- a2. Excavación de zanja
- a3. Refine y nivelación de zanja
- a4. Preparación de cama de apoyo
- a5. Suministro e instalación de tuberías PVC-UF DN 400, 315, 200
- a6. Instalación y suministro de accesorios PVC-UF
- a7. Instalación y suministro de válvulas compuerta
- a8. Anclaje de accesorios
- a9. Relleno y compactación con material propio
- a10. Pruebas hidráulicas
- a11. Pruebas de compactación
- a12. Reposición de pavimentos y veredas
- a13. Eliminación de desmonte.

Proceso Simple en líneas de aducción N° 2

Operaciones:

- a1. Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas
- a2. Excavación de zanja

- a3. Refine y nivelación de zanja
  - a4. Preparación de cama de apoyo
  - a5. Suministro e instalación de tuberías PVC-UF DN 250-200
  - a6. Instalación y suministro de accesorios PVC-UF
  - a7. Concreto para anclaje de accesorios
  - a8. Relleno y compactación con material propio
  - a9. Pruebas hidráulicas
  - a10. Pruebas de compactación
  - a11. Reposición de pavimentos y veredas
  - a12. Eliminación de desmonte
- b. Cadena especializada de trabajos en cámaras de concreto

Proceso Simple en cámaras de control de ingreso

Operaciones:

- b1. Trazo, corte y excavación de cámaras
- b2. Colocación de solado
- b3. Colocación de armadura en losa de fondo
- b4. Colocación de concreto en losa de fondo
- b5. Colocación de armaduras en muros
- b6. Encofrado normal en muros
- b7. Colocación de concreto en muros
- b8. Desencofrado normal en muros
- b9. Encofrado de losa de techo
- b10. Colocación de armadura en losa de techo
- b11. Colocación de concreto en losa de techo
- b12. Desencofrado en losa de techo
- b13. Tarrajeo interior de muro
- b14. Montaje y/o colocación de tuberías y accesorios
- b15. Relleno compactado con material propio
- b16. Reposición de pavimentos y veredas
- b17. Eliminación de desmonte.

Proceso Simple en válvulas de aire

Operaciones:

- b1. Trazo, corte y excavación de válvulas de aire

- b2. Colocación de solado
- b3. Colocación de acero
- b4. Colocación de encofrado
- b5. Colocación de concreto
- b6. Desencofrado en válvulas de aire
- b7. Montaje y/o colocación de tuberías y accesorios
- b8. Relleno con material compactado
- b9. Tarrajeo muro
- b10. Montaje y/o colocación de tuberías y accesorios
- b11. Eliminación de desmonte

ii) Objeto complejo redes primarias

- a. Cadena Especializada de excavación de redes de agua potable

Proceso Simple en redes primarias

Operaciones:

- a1. Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas
- a2. Excavación de zanja
- a3. Refine y nivelación de zanja
- a4. Preparación de cama de apoyo
- a5. Suministro e instalación de tuberías PVC-UF DN 160,200,250,315
- a6. Suministro e instalación de accesorios PVC-UF
- a7. Instalación y suministro de válvulas compuerta
- a8. Anclaje de accesorios
- a9. Relleno y compactación con material propio
- a10. Pruebas hidráulicas
- a11. Pruebas de compactación
- a12. Reposición de pavimento flexible asfalto caliente de e=2”
- a13. Reposición de afirmado(e=0.20m)
- a14. Eliminación de desmonte.

iii) Objeto complejo de conexiones domiciliarias.

- a. Cadena Especializada de excavación de redes de agua potable

Proceso Simple en redes de conexión domiciliaria

Operaciones:

- a1. Trazos, niveles y replanteo

- a2. Corte y/o remoción de pavimentos y veredas
  - a3. Excavación de zanja
  - a4. Refine y nivelación de zanja
  - a5. Preparación de cama de apoyo
  - a6. instalación de tuberías PVC p/agua potable 15-40mm
  - a7. instalación de accesorios P.V.C. DN 15mm - 40mm
  - a8. Relleno y/o compactación con material propio
  - a9. Pruebas hidráulicas
  - a10. Reposición de pavimentos y veredas
  - a11. Eliminación de desmonte
- c. Cadena Especializada de instalación de medidores

Proceso Simple en instalación de medidores

Operaciones:

- c1. Demolición y retiro de caja existente.
- c2. Instalación de caja prefabricada.
- c3. Instalación de elementos de control.
- c4. Instalación de dispositivo metálico de seguridad tipo argolla.
- c5. Instalación de medidores.
- C6. Instalación de elementos de control en redes matrices.
- C7. Instalación de dispositivo metálico de seguridad para medidor.
- C8. Instalación de medidor en redes matrices.
- C9. Pruebas de desempeño y estimación de errores.

#### 4.3.3.5. Cálculo de volumen de trabajo

El cálculo de los volúmenes de trabajo se desarrollará de acuerdo a las operaciones establecidas en el ítem 4.3.3.4, para cada uno de los objetos complejos de construcción y cadenas especializadas, en la tabla 4.1 se muestra el cálculo de volumen de trabajo del objeto de construcción Líneas de aducción N° 01.

**Tabla 4.1** Volumen de trabajo en la línea de aducción N° 01

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	Und.	VOL. DE TRABAJO (P)
01.01.00	LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 01		
01.01.01	Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas		
01.01.01.01	Trazos, niveles y replanteo		

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	Und.	VOL. DE TRABAJO (P)
01.01.01.01.01	TRAZO Y REPLANTEO INICIALES DEL PROYECTO	m	3,443.22
01.01.01.01.02	TRAZO Y REPLANTEO FINALES DE OBRA	m	3,443.22
<b>01.01.01.02</b>	<b>Corte y/o remoción de pavimentos y veredas</b>		
01.01.01.02.01	CORTE y ROTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE ASFALTO CALIENTE DE e=2"	m2	877.63
	Cruce de Camino a Alminares (Área)		10.00
	Camino a Imperial (Área)		512.62
	Av. Benigno Ríos (Área)		254.93
	Óvalo de Evitamiento (Área)		100.08
<b>01.01.02</b>	<b>Excavación de zanja</b>	<b>m</b>	<b>3,443.22</b>
01.01.02.01	EXCAVACION DE ZANJA (MAQ.) P/TUB. T-NORMAL DN 400 DE 1.01m A 1.50m PROF	m	2,797.47
01.01.02.02	EXCAVACION DE ZANJA (MAQ.) P/TUB. T-NORMAL DN 315 DE 1.01m A 1.50m PROF	m	534.58
01.01.02.03	EXCAVACION DE ZANJA (MAQ.) P/TUB. T-NORMAL DN 200 DE 1.01m A 1.50m PROF	m	111.17
<b>01.01.03</b>	<b>Refine y nivelación de Zanja</b>	<b>m</b>	<b>3,443.22</b>
01.01.03.01	REF. Y NIV. DE ZANJ. T-NORMAL P/TUB. DN 400 PARA TODA PROF.	m	2,797.47
01.01.03.02	REFINE Y NIVELACION DE ZANJA T-NORMAL P/TUB. DN 315 PARA TODA PROF.	m	534.58
01.01.03.03	REFINE Y NIVELACION DE ZANJA T-NORMAL P/TUB. DN 200 PARA TODA PROF.	m	111.17
<b>01.01.04</b>	<b>Preparación de cama de apoyo</b>	<b>m</b>	<b>3,443.22</b>
01.01.04.01	PREPARACION DE CAMA DE APOYO P/TUB. DN 400 CON MAT. DE PRESTAMO PARA TODA PROF.	m	2,797.47
01.01.04.02	PREPARACION DE CAMA DE APOYO P/TUB. DN 315 CON MAT. DE PRESTAMO PARA TODA PROF.	m	534.58
01.01.04.03	PREPARACION DE CAMA DE APOYO P/TUB. DN 200 CON MAT. DE PRESTAMO PARA TODA PROF.	m	111.17
	<b>Montaje/Colocación de tuberías y accesorios</b>		
<b>01.01.05</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS PVC-UF ISO 4422</b>	<b>m</b>	<b>3,443.22</b>
01.01.05.01	INSTALACION DE TUB. PVC-UF P/AGUA POTABLE DN 400	m	2,797.47
01.01.05.02	INSTALACION DE TUB. PVC-UF P/AGUA POTABLE DN 315	m	534.58
01.01.05.03	INSTALACION DE TUB. PVC-UF P/AGUA POTABLE DN 200	m	111.17
<b>01.01.06</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE ACCESORIOS PVC-UF ISO 4422</b>	<b>Unid.</b>	<b>22.00</b>
01.01.06.01	INSTALACION DE ACCESORIOS PVC-UF DN 400	Unid.	12.00
01.01.06.02	INSTALACION DE ACCESORIOS PVC-UF DN 315	Unid.	7.00
01.01.06.03	INSTALACION DE ACCESORIOS PVC-UF DN 200	Unid.	3.00
<b>01.01.07</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE VALVULAS</b>	<b>Unid.</b>	<b>2.00</b>
01.01.07.01	INSTALACION DE VALVULA DE COMPUERTA DN 315-350 INCLUYE REGISTRO	Unid.	1.00
01.01.07.02	INSTALACION DE VALVULA DE COMPUERTA DN 200-250 INCLUYE REGISTRO	Unid.	1.00
<b>01.01.08</b>	<b>ANCLAJE DE ACCESORIOS</b>	<b>Unid.</b>	<b>26.00</b>
01.01.08.01	CONCRETO $f_c=140$ kg/cm <sup>2</sup> P/ANCLAJE DE ACCESORIO DN 400 (Línea N° 01)	Unid.	12.00
01.01.08.02	CONCRETO $f_c=140$ kg/cm <sup>2</sup> P/ANCLAJE DE ACCESORIO DN 315 (Línea N° 01)	Unid.	6.00
01.01.08.03	CONCRETO $f_c=140$ kg/cm <sup>2</sup> P/ANCLAJE DE ACCESORIO DN 200 (Línea N° 01)	Unid.	3.00
01.01.08.04	CONCRETO $f_c=100$ kg/cm <sup>2</sup> P/ TAPAR TUBERÍA DE A.C. 10" (Línea N° 01)	Unid.	3.00
01.01.08.05	CONCRETO $f_c=100$ kg/cm <sup>2</sup> P/ TAPAR TUBERÍA (Línea N° 01)	Unid.	2.00
<b>01.01.09</b>	<b>relleno y compactación con material propio</b>	<b>m</b>	<b>3,443.22</b>
01.01.09.01	RELLENO COMP. ZANJA (PULSO) P/TUB. T-NORMAL DN 400 de 1.01m a 1.50m PROF.	m	2,797.47
01.01.09.02	RELLENO COMP. ZANJA (PULSO) P/TUB. T-NORMAL DN 315 de 1.01m a 1.50m PROF.	m	534.58
01.01.09.03	RELLENO COMP. ZANJA (PULSO) P/TUB. T-NORMAL DN 200 de 1.01m a 1.50m PROF.	m	111.17
<b>01.01.10</b>	<b>Pruebas hidráulicas</b>	<b>m</b>	<b>3,443.22</b>
01.01.10.01	PRUEBA HIDRAULICA DE TUB. DE A.P. A ZANJ. TAP. (INCL. DESINFECCION) DN 400	m	2,797.47

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	Und.	VOL. DE TRABAJO (P)
01.01.10.02	BA HIDRAULICA DE TUB. DE A.P. A ZANJ. TAP. (INCL. DESINFECCION) DN 315	m	534.58
01.01.10.03	BA HIDRAULICA DE TUB. DE A.P. A ZANJ. TAP. (INCL. DESINFECCION) DN 200	m	111.17
<b>01.01.11</b>	<b>Pruebas de compactación</b>	<b>m</b>	<b>43.00</b>
01.01.11.01	PRUEBA DE COMPACTACION DE SUELOS (PROCTO MODIFICADO Y DE CONTROL DE COMPACTACIÓN-DENSIDAD DE CAMPO)	m	43.00
<b>01.01.12</b>	<b>Reposición de pavimentos y veredas</b>	<b>m</b>	<b>877.63</b>
01.01.12.01	REPOSICION DE PAVIMENTO FLEXIBLE ASFALTO CALIENTE DE e=2"	m2	877.63
<b>01.01.13</b>	<b>Eliminación de desmonte (exceso de material y tubería extraída)</b>	<b>m3</b>	<b>1,883.54</b>
01.01.13.01	EXTRACCION Y ELIMINACION DE TUBERIA DE 12"	m	1,078.12
01.01.13.02	EXTRACCION Y ELIMINACION DE TUBERIA DE 6"	m	111.17
01.01.13.03	ELIMINACION DE DESMONTE (CARG+VOLQ) T-NORMAL D=10KM (TUB. 400 )	m3	1,611.34
01.01.13.04	ELIMINACION DE DESMONTE (CARG+VOLQ) T-NORMAL D=10KM (TUB. 315 )	m3	240.18
01.01.13.05	ELIMINACION DE DESMONTE (CARG+VOLQ) T-NORMAL D=10KM (TUB. 200 )	m3	32.02

FUENTE: Elaboración propia

En el anexo L, se muestra el volumen de trabajo (P) de todos los componentes del objeto de construcción.

#### 4.3.3.6. Cálculo de los parámetros de tiempo

Para el cálculo de los tiempos, para los objetos complejos de construcción que están conformadas por las Cadenas Especializadas; partiremos en determinarlos en función de las operaciones rectoras de la siguiente forma:

##### a. Cadena Especializada de excavación de redes de agua potable

##### 1. Procesos Simples de líneas de aducción N° 01

En este proceso simple está conformado por las siguientes operaciones:

- a1. Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas
- a2. Excavación de zanja
- a3. Refine y nivelación de zanja
- a4. Preparación de cama de apoyo
- a5. Instalación e suministro de tuberías PVC-UF
- a6. Instalación y suministro de accesorios PVC-UF
- a7. Instalación y suministro de válvulas
- a8. Concreto para anclaje de accesorios
- a9. Relleno y compactación con material propio
- a10. Pruebas hidráulicas
- a11. Pruebas de compactación
- a12. Reposición de pavimentos y veredas

### a13. Eliminación de desmonte.

De las cuales tomaremos como actividad rectora a las operaciones de Pruebas hidráulicas y Relleno y compactación con material propio. Las pruebas hidráulicas, por lo general, se efectúan en circuitos cerrados o tramos no mayores de 500.00m lineales<sup>26</sup> y la operación de relleno y compactado con material propio por poseer un rendimiento menor respecto a las demás operaciones.

Por lo tanto, se buscarán tramos iguales pero menores a 500.00m, en el proceso simple de líneas de aducción N° 01.

Para la operación de pruebas hidráulicas, de la tabla 4.11 ítem 01.01.07 tenemos  $V_T = 3,443.22 \text{ m}$ , los cuales dividiremos en 10 partes iguales, para obtener tramos menores a 500m.

$$V_T = \frac{3,443.22}{10} \text{ m} \quad \rightarrow \quad V_T = 344.32 \frac{\text{m}}{\text{Und. de Produccion}}$$

Resultando 344.32m, menor a 500m, recomendados por la guía.

Tomando un rendimiento de pruebas hidráulicas: R=200 m/día considerando una cuadrilla unitaria de 1 operador, 1 oficial y 1 peón.

El cálculo de tiempo será:

$$V_T = \frac{344.32}{200} \text{ m} \quad \rightarrow \quad C_i = 1.72 \text{ días por tramo. ...(*)}$$

Significa que la cuadrilla (1op+ 1of+1pe), demorará casi 2 días para ejecutar la prueba hidráulica.

Por otro lado, la operación de relleno y compactado tiene un rendimiento de R=50m/día, con una cuadrilla unitaria de 1 operario y 1 peón. Por ende, el tiempo será:

---

<sup>26</sup> Guía para comunidades de lima y callao "Cómo ejecutar obras de agua y desagüe con autofinanciamiento y participación comunitaria"-SEDAPAL

$$V_T = \frac{344.32}{50} m \quad \rightarrow \quad C_i = 6.89 \text{ días por tramo. ...(**)}$$

Trabajando 6 días ejecutarían 300.00m, 44 metros menos de lo esperado y trabajando 7 días ejecutarían 350 m, 6 metros más de lo necesario por tramo.

Como resultado de estos dos casos y analizando el resto de operaciones del proceso simple de líneas de aducción N° 01, obtenemos 10 unidades de producción (10 tramos de 344.22 m), por lo tanto:

$$m = 10$$

y los módulos de ciclicidad (k) de cada operación del proceso simple de líneas de aducción N° 01 dependerá de los rendimientos de cada uno de ellos.

Para la operación de prueba hidráulica de la ecuación (\*), el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=2$  día. Ordenando adecuadamente tenemos:

Procesos simples	Vol. De trabajo (P)		Cuadrilla típica				Trab* (q)	m	Ci (k)	Cuadrillas requeridas (N)
	Und	Cant.	op	of	pe	Rend. (S)				
Prueba hidráulica	m	3443.2	1	1	1	200	1.72	10	2	1

\* Trabajosidad(q)

Para la operación de relleno y compactación de la ecuación (\*\*), el tiempo que una cuadrilla necesita para ejecutar un tramo es de 6.89 días. Esto significa que la cuadrilla que desarrolla la siguiente operación tendría que esperar 7 días aproximadamente. Lo cual es mucho tiempo, entonces aumentado el número de cuadrillas a tres esta operación se desarrollaría en 2.30 días. Por ende, el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=3$  día, donde se incorpora los posibles tiempos improductivos y tiempos utilizados en diferentes retrabajos que pudieran generarse.

Ordenando adecuadamente tenemos:

Procesos simples	Vol. De trabajo (P)		Cuadrilla típica				Trab* (q)	m	Ci (k)	Cuadrilla requerida (N)
	Und	Cant	op	of	pe	Rend. (S)				
Relleno y compactación	m	3443.2	1		5	50	6.89	10	3	3

\* Trabajosidad (q)

De la misma manera, encontramos las unidades de producción (m) y el coeficiente de ciclicidad (k) para el resto de las operaciones del proceso simple en líneas de aducción N° 01 y para el caso de las operaciones del proceso simple en líneas de aducción N° 02 (Ver tabla 4.2).

**Tabla 4.2** Unidades de producción en el proceso simple de líneas de aducción N°01 y N°02

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			Rend (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
<b>LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 01</b>											
1	<b>Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas</b>										
	<b>Trazos, niveles y replanteo</b>										
	trazo y replanteo iniciales del proyecto	m	3,443.22	1	0	2	800	4.30	10	1	1
	<b>Corte y/o remoción de pavimentos y veredas</b>										
	corte y rotura de pavimento flexible asfalto caliente de e=2"	m2	877.63		1	3	1,200	0.73	10	1	1
2	Excavación de zanja	m	3,443.22	1	1	1	160	21.52	10	2	1
3	Refine y nivelación de Zanja	m	3,443.22	0	0	2	130	26.49	10	2	2
4	Preparación de cama de apoyo	m	3,443.22	0	0	3	225	15.30	10	1	2
	<b>Montaje/Colocación de tuberías y accesorios</b>										
5	suministro e instalación de tuberías PVC-uf ISO 4422	m	3,443.22	1	0	3	90	38.26	10	2	2
6	suministro e instalación de accesorios PVC-uf ISO 4422	Unid.	22.00	1	2	0	4	5.50	10	1	1
7	suministro e instalación de válvulas	Unid.	2.00	1	1	1	3	0.67	10	1	1
8	Anclaje de accesorios	Unid.	26.00	1	1	1	12	2.17	10	1	1
9	relleno y compactación con material propio	m	3,443.22	1	0	5	50	68.86	10	3	3
10	Pruebas hidráulicas	m	3,443.22	1	1	1	200	17.22	10	2	1
11	Pruebas de compactación	m	43.00	1	0	0	48	0.90	10	1	1
12	Reposición de pavimentos y veredas	m	877.63	2	1	3	450	1.95	10	1	1
13	Eliminación de desmonte	m3	1,883.54	2	0	2	200	9.42	10	1	1
<b>LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 02</b>											
1	<b>Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas</b>										
	<b>Trazos, niveles y replanteo</b>										
	trazo y replanteo iniciales del proyecto	m	1,844.79	1	0	2	800	2.31	5	1	1
	<b>Corte y/o remoción de pavimentos y veredas</b>										
	corte y rotura de pavimento flexible asfalto caliente de e=2"	m2	1,075.75		1	3	1,200	0.90	5	1	1
2	Excavación de zanja	m	1,844.79	1	1	1	140	13.18	5	2	2
3	Refine y nivelación de Zanja	m	1,844.79	0	0	2	170	10.85	5	2	1
4	Preparación de cama de apoyo	m	1,844.79	0	0	3	318	5.80	5	1	2
	<b>Montaje/Colocación de tuberías y accesorios</b>										
5	suministro e instalación de tuberías PVC-UF ISO 4422	m	1,844.79	1	0	1	185	9.97	5	1	2
6	suministro e instalación de accesorios	Unid.	34.00	1	1	0	12	2.83	5	1	1

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			Rend (S)	TRAB (q)	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor	q=P/S			
7	anclaje de accesorios	Unid.	26.00	1	1	1	16	1.63	5	1	1
8	relleno y compactación con material propio	m	1,844.79	1		1	60	30.75	5	3	2
9	Pruebas hidráulicas	m	1,844.79	1	1	1	160	11.53	5	2	2
10	Pruebas de compactación	Unid.	23.00	1	0	0	48	0.48	5	1	1
11	Reposición de pavimentos y veredas	m2	1,075.75	1	1	3	450	2.39	5	1	1
12	Eliminación de desmonte	m3	613.86	2		2	200	3.07	5	1	1

Fuente: Elaboración propia

## 2. Proceso Simple de redes primarias

En este proceso simple está conformado por las siguientes operaciones:

- a1. Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas
- a2. Excavación de zanja
- a3. Refine y nivelación de zanja
- a4. Preparación de cama de apoyo
- a5. Suministro e instalación de tuberías PVC-UF DN 160,200,250,315
- a6. Suministro e instalación de accesorios PVC-UF
- a7. Instalación y suministro de válvulas compuerta
- a8. Anclaje de accesorios
- a9. Relleno y compactación con material propio
- a10. Pruebas hidráulicas
- a11. Pruebas de compactación
- a12. Reposición de pavimento flexible asfalto caliente de e=2”
- a13. Reposición de afirmado(e=0.20m)
- a14. Eliminación de desmonte.

El criterio de análisis es similar a los procesos simples de línea de aducción N° 01 y N° 02. Donde las operaciones rectoras son relleno y compactación con material propio y pruebas hidráulicas. Por lo tanto, se buscarán tramos iguales pero menores a 500 metros.

Para la operación de pruebas hidráulicas, de la tabla 4.1 ítem 02.01.10 tenemos  $V_T = 9,818.20 m$ , los cuales dividiremos en 20 partes iguales, para obtener tramos menores a 500m.

$$V_T = \frac{9,818.20}{20} m \rightarrow V_T = 491.92 \frac{m}{\text{Und. de Produccion}}$$

Resultando 491.92m, menor a 500m, recomendados por la guía.

Tomando un rendimiento de pruebas hidráulicas:  $R=197m/día$  considerando una cuadrilla unitaria de 1 operador, 1 oficial y 1 peón.

El cálculo de tiempo será:

$$V_T = \frac{491.92}{197} \rightarrow C_i = 2.49 \text{ días por tramo. ...}(1)$$

Significa que la cuadrilla (1op+1of+1pe), demorará casi dos días y medio para ejecutar la prueba hidráulica.

Por otro lado, la operación de relleno y compactado tiene un rendimiento de  $R=70m/día$ , con una cuadrilla unitaria de 1 operario y 5 peón. Por ende, el tiempo será:

$$V_T = \frac{490.91}{70} m \rightarrow C_i = 7.01 \text{ días por tramo. ...}(2)$$

Trabajando 7 días ejecutarían 490m, 0.91 metros menos de lo esperado, que prácticamente es nada en comparación a lo ejecutado.

Como resultado de estos dos casos y analizando el resto de operaciones del proceso simple de redes primarias, obtenemos 20 unidades de producción (20 tramos de 490.91 m), por lo tanto:

$$m = 20$$

y los módulos de ciclicidad (k) de cada operación del proceso simple de redes primarias se establecen de acuerdo a los rendimientos de cada operación.

Para la operación de prueba hidráulica de la ecuación (1), el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=2$ día. Ordenando adecuadamente tenemos:

Procesos simples	Vol. De trabajo (P)		Cuadrilla típica				Trab * (q)	m	Ci (k)	Cuadrillas requeridas (N)
	Und	Cant	op	of	pe	Rend. (S)				
Prueba hidráulica	m	9,818.2	1	1	1	197	2.49	20	2	2

\* Trabajosidad(q)

Para la operación de relleno y compactación de la ecuación (2), el tiempo que una cuadrilla necesita para ejecutar un tramo es de 7.01 días. Esto significa que la cuadrilla que desarrolla la siguiente operación tendría que esperar 7 a 8 días aproximadamente. Lo cual es mucho tiempo, entonces aumentado el número de cuadrillas a tres esta operación se desarrollaría en 2.34 días. Por ende, el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=3$  día, donde se incorpora el tiempo para culminar la diferencia de 0.91m de cada tramo y además se considera los posibles tiempos improductivos y tiempos utilizados en diferentes retrabajos que pudieran generarse.

Realizando el mismo procedimiento, podemos encontrar el coeficiente de ciclicidad (k) para el resto de las operaciones del proceso simple de redes primarias (Ver tabla 4.3).

**Tabla 4.3** Unidades de producción en el proceso simple de redes primarias

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			REND. (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
1	<b>Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas</b>										
	trazos, niveles y replanteo	m	9,818.20	2	0	3	1,700	5.78	20	1	1
	corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m <sup>2</sup>	1,616.77		1	3	1,200	1.35	20	1	1
	corte y rotura de pavimento flexible asfalto caliente de e=2"	m <sup>2</sup>	1,616.77		1	3	1,200	1.35	1	2	1
2	Excavación de zanja	m	9,818.20	1	1	1	160	61.36	20	2	2
3	Refine y nivelación de zanja	m	9,818.20			2	170	57.75	20	2	2
4	Preparación de cama de apoyo	m	9,818.20			3	318	30.87	20	1	2
	<b>Montaje/colocación de tuberías</b>										
5	Suministro e instalación de tuberías PVC-UF ISO 4422	m	9,818.20	1	3		205	47.89	20	2	2
6	suministro e instalación de accesorios PVC-UF ISO	Unid.	831.00	1	1	2	30	27.70	20	1	2
7	suministro e instalación de válvulas	Unid.	240.00	1	1	1	25	9.60	20	1	1
8	anclaje de accesorios	Unid.	76.00	1	1	1	12	6.33	20	1	1
9	relleno y compactación con material propio	m	9,818.20	1		5	70	140.26	20	3	3
10	pruebas hidráulicas	m	9,818.20	1	1	1	197	49.84	20	2	2
11	prueba de compactación	Unid.	123.00	1			48	2.56	20	1	1

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			REND. (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
12	reposición de pavimentos y veredas	m2	1,616.77	3	1	3	450	3.59	20	1	1
13	reposición de afirmado (e=0.20m)	m2	2,004.36		1	3	300	6.68	20	1	1
14	eliminación de desmonte	m3	2,613.27	1		1	200	13.07	20	1	1

Fuente: Elaboración propia

### 3. Proceso Simple de redes de conexión domiciliaria

Este proceso simple está conformado por las siguientes operaciones:

- a1. Trazos, niveles y replanteo
- a2. Corte y/o remoción de pavimentos y veredas
- a3. Excavación de zanja
- a4. Refine y nivelación de zanja
- a5. Preparación de cama de apoyo
- a6. instalación de tuberías PVC p/agua potable 15-40mm
- a7. instalación de accesorios P.V.C. DN 15mm - 40mm
- a8. Relleno y/o compactación con material propio
- a9. Pruebas hidráulicas
- a10. Reposición de pavimentos y veredas
- a11. Eliminación de desmonte

En el proyecto se estima instalar 2809 conexiones domiciliarias nuevas, estas conexiones se sumarán a las que ya existe. Con estas nuevas conexiones domiciliarias el sistema de agua potable en el distrito de Imperial se contabilizaría a 7,203 proyectados para el año 0 (marzo, 2013). Pero el diseño de las redes primarias y líneas de aducción fueron proyectados con una demanda de 8,493 conexiones domiciliarias para el año 20 de diseño.

Las nuevas conexiones proyectadas para el año 0 (año 2013) se contabilizan de acuerdo a la sectorización que se proyectó (Ver Anexo C y Anexo N planos: PG-02 Sectores Proyectados) para toda el área de influencia del proyecto y el plano de micromediciones (Ver anexo N plano: Micromediciones), las cuales se muestran en la tabla 4.4.

**Tabla 4.4** Número de conexiones nuevas por sector

Sector	N° Conexiones
01	62
02	124
03	1461
04	9
05	844
06	146
07	161
08	0
<b>Total</b>	<b>2809</b>

FUENTE: Elaboración propia

Todas estas conexiones tienen una longitud promedio de 1.45 m de largo, que multiplicando el total de conexiones por su longitud se tiene una longitud de 4,073.05m de conexión domiciliaria.

Analizando uno a uno las operaciones que forman parte de este proceso simple de conexiones domiciliarias, notamos que, excavación de zanja tendría una mayor duración en ejecutarse, aproximadamente 16 días, debido a que posee un rendimiento de 255 m/día. Pero si dividimos en 8 partes iguales se tendría una longitud de 509.13m y trabajando con un rendimiento de 255m/día. En dos días de trabajo se alcanzaría 510 m, 0.70 m más de lo esperado.

$$V_T = \frac{4,073.05}{8} m \rightarrow V_T = 509.13 \frac{m}{Und. de Produccion}$$

Finalmente, con un rendimiento de  $R=255 m/día$  y considerando una cuadrilla unitaria de 1 operador y 1 peón, se obtiene:

$$V_T = \frac{509.13}{255} = 1.99 \text{ días}$$

Esto significa que la excavación de zanja de 351 conexiones domiciliarias se encontraría abierta por dos días, lo cual no es recomendable debido a que la zona de trabajo es altamente poblada y esta propensa a cualquier tipo de accidentes de trabajo que se podría generar. Además, todo el sector estaría desabastecida de agua y no es recomendable porque generaría incomodidad en la población.

Para liberar frente de trabajo para la siguiente operación se duplica la cuadrilla de excavación de zanja a 2 operadores y 2 peones, con la cual el coeficiente de ciclicidad (k) es igual  $k=1$  día.

Finalmente, el número de unidades de producción es igual a  $m=8$ , ordenando adecuadamente se tiene:

Procesos simples	Vol. De trabajo (P)		Cuadrilla típica				Trab* (q)	m	Ci (k)	Cuadrillas requeridas (N)
	Und	Cant	op	of	pe	Rend. (S)				
Tarrajeo muro interior y exterior	Kg	4,073.05	1		1	255	15.99	8	1	2

\* Trabajosidad(q)

Aplicando el mismo criterio, podemos encontrar las unidades de producción (m) y el coeficiente de ciclicidad (k), para el resto de duraciones que forman parte del proceso de conexiones domiciliarias.

**Tabla 4.5** Unidades de producción en el proceso simple de conexiones domiciliarias

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			REND. (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
<b>RED DE CONEXIÓN</b>											
1	Trazos, niveles y replanteo	m	4,073.05	2			140	29.09	8	2	2
2	Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	560.00		1	3	1,200	0.47	8	1	1
3	Excavación de zanja	m	4,073.05	1		1	255	16.29	8	1	2
4	Refine y nivelación de Zanja	m	4,073.05			3	105	38.79	8	2	3
5	Preparación de cama de apoyo	m	4,073.05			3	90	45.26	8	3	2
<b>Montaje/Colocación de tuberías</b>											
6	instalación de tubería PVC p/agua potable DN 15-40 mm	m	4,073.05	1		2	250	16.29	8	1	2
7	instalación de accesorios PVC.UF-SP DN 15mm - 40mm	Und.	2,475.00	2			160	15.47	8	1	2
8	relleno y compactación con material propio	m	4,073.05	2	2		160	25.46	8	2	2
9	Pruebas hidráulicas	m	4,073.05	1	1	1	200	20.37	8	2	2
10	Reposición de pavimentos y veredas	m2	618.90	3	1	3	180	3.44	8	1	1
11	Eliminación de desmonte	m3	546.00	1		4	150	3.64	8	1	1

Fuente: Elaboración propia

#### b. Cadena especializada de trabajos en cámaras de concreto

Proceso Simple de cámaras de control de ingreso

Operaciones:

- b1. Trazo, corte y excavación de cámaras
- b2. Colocación de solado
- b3. Colocación de armadura en losa de fondo
- b4. Colocación de concreto en losa de fondo
- b5. Colocación de armaduras en muros
- b6. Encofrado normal en muros
- b7. Colocación de concreto en muros
- b8. Desencofrado normal en muros
- b9. Encofrado de losa de techo
- b10. Colocación de armadura en losa de techo
- b11. Colocación de concreto en losa de techo
- b12. Desencofrado en losa de techo
- b13. Tarrajeo muro interior y exterior
- b14. Montaje y/o colocación de tuberías y accesorios
- b15. Relleno compactado con material propio
- b16. Reposición de pavimentos y veredas
- b17. Eliminación de desmonte.

En el proyecto tenemos 8 cámaras de control para la instalación de macromedidores y una cámara de concreto para la reducción de presión. Las cámaras de ingreso al sector 1, 7, 8 y 6 son cámaras tipo IV de 3.65 m de largo y 2.40 m de ancho con una profundidad de 2.00 m, las cámaras de ingreso al sector 4 y 5 son tipo III de 4.70 m de largo y 2.70 m de ancho con una profundidad de 2.00m, las cámaras de ingreso al sector 2 y 3 son de tipo I con un ancho de 3.15 y 6.9 de largo con una profundidad de 2.00m y finalmente la cámara reductora de presión es de tipo II de 3.10 m de ancho y 5.20m de largo con una profundidad de 2.00m (Ver Anexo N Planos DT-03 Detalle de estructuras).

Para el análisis se asume que todas las cámaras de concreto tienen medidas similares (los anchos y largos varían de 0.55 a 1.00 m), donde el volumen de trabajo varía de 1% a 2% en las diferentes operaciones. La unidad de producción para el proceso simple de cámaras de control de ingreso es:

$$m = 9$$

Ocho cámaras para el control de ingreso a los diferentes sectores y una cámara reductora de presión.

De las operaciones del proceso simple de cámaras de control de ingreso las actividades rectoras son las operaciones de Colocación de armaduras en muros y Tarrajeo muro interior y exterior, por poseer mayor cantidad de volumen de trabajo y menor rendimiento respectivamente.

Para la operación de Colocación de armaduras en muros de la tabla 4.1, ítem 01.03.02.04.01, tenemos  $V_T = 9874.18 \text{ kg}$ , los cuales se divide entre la cantidad de unidad de producción (9).

$$V_T = \frac{9,874.18}{9} \text{ Kg} \rightarrow V_T = 1,097.13 \frac{\text{Kg}}{\text{Und. de Produccion}}$$

Tomando un rendimiento de  $R=240 \text{ kg/día}$  considerando una cuadrilla unitaria de 1 oficial y 1 peón, para la operación de Colocación de armaduras en muros. El cálculo de tiempo será:

$$V_T = \frac{1,097.13}{240} \rightarrow C_i = 4.57 \text{ días por cámara}$$

Significa que la cuadrilla (1of+1pe), demorará casi 5 días para ejecutar la operación de Colocación de armaduras en muro. Lo cual genera 5 días de espera más el tiempo de fraguado (tiempos tecnológicos) para la liberación de frente de trabajo para la siguiente operación. Pero si aumentamos la cuadrilla de a uno a dos el nuevo tiempo es:

$$V_T = \frac{1,097.13}{480} \rightarrow C_i = 2.286 \text{ días por cámara}$$

Entonces aumentado el número de cuadrillas de uno a dos esta operación se desarrollaría en 2.28 días. Por ende, el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=3$  día, se toma 3 y no 2 porque se incorpora los posibles tiempos improductivos y tiempos utilizados en diferentes retrabajos que pudieran generarse.

Finalmente, el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=3$  día. Ordenando adecuadamente tenemos:

Procesos simples	Vol. De trabajo (P)		Cuadrilla típica				Trab* (q)	m	Ci (k)	Cuadrilla requerida (N)
	Und	Cant	op	of	pe	Rend. (S)				
Colocación de armaduras en muro	Kg	91874.18	1		1	240	4.57	9	3	2

\* Trabajosidad(q)

Por otro lado, la operación de tarrajeo muro interior y exterior tiene un rendimiento bajo de  $R=12$  m<sup>2</sup>/día, con una cuadrilla unitaria de 1 operario y 1 peón. Por ende, el tiempo necesario para ejecutar esta operación será:

$$V_T = \frac{85.46}{12} \rightarrow C_i = 7.12 \text{ días}$$

Si aumentamos el número de cuadrillas de uno a tres esta operación se desarrollaría en 2.37 días. Por ende, el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=3$  día, donde se incorpora los posibles tiempos improductivos y tiempos utilizados en diferentes retrabajos que pudieran generarse.

Finalmente, el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=3$  día. Ordenando adecuadamente tenemos:

Procesos simples	Vol. De trabajo (P)		Cuadrilla típica				Trab* (q)	m	Ci (k)	Cuadrillas requeridas (N)
	Und	Cant.	op	of	pe	Rend. (S)				
Tarrajeo muro interior y exterior	Kg	769.18	1		1	12	7.12	9	3	3

\* Trabajosidad(q)

Para el caso de la operación de Trazo, corte y excavación de cámaras (cadena particular) se utilizó el método de agrupación de cuadrillas, porque la cantidad de trabajosidad de las operaciones de la tabla 4.6 tienden a cero.

Las cuadrillas de las operaciones; trazos, niveles y replanteo y veredas; Excavación de zanja con equipo y Nivelación interior o apisonado manual,

fueron absorbidas por la cuadrilla de Corte y/o remoción de pavimentos y veredas.

**Tabla 4.6** Agrupamiento de cuadrillas

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			Rend. (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
	<b>VALVULAS DE AIRE</b>										
1	<b>Trazo, corte y excavación de válvulas de aire</b>										
	Trazos, niveles y replanteo	m2	32.49	1		2	200	0.16	9	1	1
	Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	32.49		1	3	1,200	0.03	9	1	1
	Excavación de zanja con equipo	m3	35.74	1		2	450	0.08	9	1	1
	Nivelación interior o apisonado manual	m2	32.49	1		1	120	0.27	9	1	1

FUENTE: Elaboración propia

Sumando la trabajosidad de cada una de las cuadrillas se llega a consumir el 0.71 (5h con 41 min) del total del día. Es decir que una cuadrilla (1pe+1of+1op) desarrollaría las cuatro actividades mencionadas en la tabla 4.2 en un día (8 horas) aproximadamente.

Finalmente, el módulo de ciclicidad (k) es considerada igual  $k=1$  día, para la operación de Trazo, corte y excavación de cámaras.

Aplicando el mismo criterio, podemos encontrar el coeficiente de ciclicidad (k), para las demás operaciones del proceso simple de cámaras de control ingreso y para las operaciones del proceso simple de válvulas de aire (Ver tabla 4.7).

**Tabla 4.7** Unidades de producción en el proceso simple de cámaras de concreto

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			Rend. (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
	<b>VALVULAS DE AIRE</b>										
1	<b>Trazo, corte y excavación de válvulas de aire</b>										
	Trazos, niveles y replanteo	m2	32.49	1		2	200	0.16	9	1	1
	Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	32.49		1	3	1,200	0.03	9	1	1
	Excavación de zanja con equipo	m3	35.74	1		2	450	0.08	9	1	1
	Nivelación interior o apisonado manual	m2	32.49	1		1	120	0.27	9	1	1
2	<b>Colocación de solado</b>	m2	32.49	2	1	6	80	0.41	9	1	1
	<b>Muro y Techo</b>										
3	<b>Colocación de acero corrugado en válvulas de aire</b>	kg	799.32	1		3	240	3.33	9	1	1
4	<b>Encofrado normal en válvulas de aire</b>	m2	211.49	1	1		12	17.62	9	1	2
5	<b>Colocación de concreto <math>f_c=210</math> Kg/cm<sup>2</sup> en válvulas de aire</b>	m3	26.89	1	1	3	65	0.41	9	1	1
6	<b>Desencofrado en válvulas de aire</b>	m2	211.49	1	1	1	100	2.11	9	1	1

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			Rend. (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
7	Tarrajeo muro interior y exterior	m2	16.89	1		1	12	1.41	9	1	1
8	Montaje/Colocación de tuberías y accesorios	Unid.	9.00	1	1	2	3	3.00	9	1	1
9	Relleno compactado con material propio	m3	7.15			1	7	1.02	9	1	1
10	Reposición de veredas	m2	32.49	1		1	70	0.46	9	1	1
11	Eliminación de desmonte	m3	42.89	1		1	100	0.43	9	1	1
<b>CAMARA DE INGRESO Y CONTROL</b>											
1	<b>Trazo, corte y excavación de cámaras</b>										
	Trazos, niveles y replanteo	m2	129.46	1		2	200	0.65	9	1	1
	Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	129.46		1	3	1,200	0.11	9	1	1
	Excavación de zanja con equipo	m3	381.74	1		2	450	0.85	9	1	1
	Nivelación interior o apisonado manual	m2	159.06	1		1	120	1.33	9	1	1
2	Colocación de solado	m2	159.06	2	1	6	80	1.99	9	1	1
<b>Losa de fondo</b>											
3	Colocación de armadura de losa de fondo	kg	2,773.43		1	1	240	11.56	9	1	2
4	Colocación de concreto fc=210 Kg/cm2 en losa de fondo	m3	31.81	1	1	3	65	0.49	9	1	1
<b>Muros</b>											
5	Colocación de armadura en muros	kg	9,874.18		1	1	240	41.14	9	3	2
6	Encofrado normal de muros	m2	619.52	1	1		12	51.63	9	2	3
7	Colocación de concreto fc=210 Kg/cm2 en muros	m3	65.90	1	1	3	65	1.01	9	1	1
8	Desencofrado normal en muros	m2	619.52	1	1	1	100	6.20	9	1	1
<b>Losa de techo</b>											
9	Encofrado de losa de techo	m2	149.66	1	1		12	12.47	9	2	1
10	Colocación de armadura en losa de techo	kg	1,448.38		1	1	240	6.03	9	1	1
11	Colocación de concreto fc=210 Kg/cm2 en losa de techo	m3	25.89	1	1	3	65	0.40	9	1	1
12	Desencofrado de losa de techo	m2	149.66		1	1	100	1.50	9	1	1
13	Tarrajeo muro interior y exterior	m2	769.18	1		1	12	64.10	9	3	3
14	Montaje/Colocación de tuberías y accesorios	Unid.	9.00	1	1	2	3	3.00	9	1	1
15	Relleno compactado con material propio	m3	114.52			1	7	16.36	9	1	2
16	Reposición de pavimentos	m2	129.46	1	1	1	150	0.86	9	1	1
17	Eliminación de desmonte	m3	389.38	1		1	100	3.89	9	1	1

Fuente: Elaboración propia

### c. Cadena Especializada de instalación de medidores

En el proyecto se reemplazarán 4,665 medidores nuevos en redes existentes y 675 medidores nuevos en redes proyectados. Estos medidores se instalarán en base a la sectorización proyectada y al plano de micromedición (Ver Anexo N planos Micromedición). La instalación se efectuará cuando el sistema de agua potable esté funcionando correctamente con todos sus componentes.

## 1. Proceso Simple de instalación de medidores

Este proceso simple está conformado por las siguientes operaciones:

- c1. Demolición y retiro de caja existente.
- c2. Instalación de caja prefabricada.
- c3. Instalación de elementos de control.
- c4. Instalación de dispositivo metálico de seguridad tipo argolla.
- c5. Instalación de medidores.
- C6. Instalación de elementos de control en redes matrices.
- C7. Instalación de dispositivo metálico de seguridad para medidor.
- C8. Instalación de medidor en redes matrices.
- C9. Pruebas de desempeño y estimación de errores.

De todas estas operaciones tomaremos como actividad rectora a la Instalación de medidores e Instalación de medidor en redes matrices, por poseer rendimientos bajos.

De la tabla 4.1, ítem 03.02.02.03 tenemos:  $V_T = 4665 \text{ und}$  lo cual es repartido en 8 sectores, de acuerdo a la sectorización proyectada.

$$V_T = \frac{4665}{8} = 583 \frac{\text{und}}{\text{und. de produccion}}$$

Tomando un rendimiento de  $R=48 \text{ und/día}$  (Considerando 1 operario + 1 peon) de instalación de medidores, el cálculo de tiempo será:

$$V_T = \frac{583}{48} \rightarrow Ci = 12.45 \text{ días por sector}$$

Es decir que una cuadrilla demoraría 13 días aproximadamente e instalarían 583 medidores por frente de trabajo, lo cual es demasiado.

Pero si dividimos estratégicamente cada sector en dos partes, tendríamos 16 subsectores mapeados en el plano para la instalación de medidores de acuerdo a la nueva sub-sectorización realizada.

$$V_T = \frac{4665}{16} = 292 \frac{\text{und}}{\text{und. de produccion}}$$

Tomando un rendimiento de  $R=48 \text{ und/día}$  (Considerando 1 operario + 1 peon) de instalación de medidores, el cálculo de tiempo será:

$$V_T = \frac{292}{48} \rightarrow Ci = 6.22 \text{ días por sub-sector}$$

Es decir que una cuadrilla demoraría 7 días aproximadamente en instalar 292 medidores por frente de trabajo, pero si triplicamos la cuadrilla la instalación de 292 medidores se desarrollaría en 2.01 días. Finalmente, el módulo de ciclicidad es  $k=2 \text{ días}$ .

Por otro lado, la operación de instalación de medidores en redes matrices tiene 675 und, lo cual también es dividido en 16 subsectores resultando:

$$V_T = \frac{675}{16} = 42 \frac{\text{und}}{\text{und. de produccion}}$$

Tomando un rendimiento de  $R=48 \text{ und/día}$  (Considerando 1 operario + 1 peon) de instalación de medidores, el cálculo de tiempo será:

$$V_T = \frac{42}{48} \rightarrow Ci = 0.88 \text{ días por sub-sector}$$

La cantidad de una unidad de producción (42 medidores) es menor al rendimiento mínimo por día en 6 unidades. Esto significa que esta operación se terminara en menos de ocho horas, pero considerando los posibles tiempos improductivos y tiempos utilizados en diferentes retrabajos que pudieran generarse, el módulo de ciclicidad (k) será igual  $k=1 \text{ día}$ .

Aplicando el mismo criterio, podemos encontrar el coeficiente de ciclicidad (k), para las demás operaciones del proceso simple de instalación de medidores (Ver tabla 4.8).

**Tabla 4.8** Unidades de producción en el proceso simple de instalación de medidores

N°	Procesos simples /Cadena Particular/operaciones	VOL. DE TRABAJO (P)		PERSONAL			REND. (S)	TRAB (q) q=P/S	m	k	CUADR. REQUERIDAS
		Und.	Cant.	OP	OF	PE	Valor				
	<b>INSTALACION DE MEDIDOR</b>										
	<b>Caja en Redes existentes</b>										
1	Demolición y retiro de caja existente, incl. Elim. de desmonte u 4,574.00	Und.	4,665.00	1		1	50	93.30	16	2	3
2	Instalación de caja prefabricada/conexión domiciliaria	Und.	4,665.00			4	48	97.19	16	2	3
3	Instalación de elementos de control para conexión domiciliaria	jgo	4,665.00	1		1	48	97.19	16	2	3
4	Dispositivo metálico de seguridad tipo argolla para medidor DN 15mm, según especificaciones	Und.	4,665.00	5	1		160	29.16	16	1	2
5	Instalación de medidor aprobado por EMAPA para conexión domiciliaria de agua DN 1/2"	Und.	4,665.00	1		1	48	97.19	16	2	3
	<b>Medidor en Redes matrices</b>										
6	Instalación de elementos de control para conexión domiciliaria	jugo	675.00	1		1	48	14.06	16	1	1
7	Dispositivo metálico de seguridad tipo argolla para medidor DN 15mm, según especificaciones	Und.	675.00	5		1	160	4.22	16	1	1
8	Instalación de medidor aprobado por EMAPA para conexión domiciliaria de agua DN 1/2"	Und.	675.00	1		1	48	14.06	16	1	1
	<b>Prueba hidráulica</b>										
9	Pruebas de desempeño y estimación del error de medición	Und.	400.00	2	2		24	16.67	16	1	2

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos en las diferentes tablas de unidades de producción, se podrá estructurar la tabla de asignación de recursos (Ver ítem 4.3.3.8.).

#### 4.3.3.7. Normal tecnológica de la obra

Con la elaboración de la normal tecnológica se efectuará las correcciones necesarias para desarrollar el secuenciamiento de las operaciones dentro de los procesos simples, en base a las cadenas especializadas definidas en el ítem 4.3.3.6, este paso es necesario para la realización del Objeto de Construcción. El Objeto de Construcción es particionado en unidades de producción teniendo en cuenta las características principales del objeto, y estableciendo la secuencia lógica de ejecución, obtendremos la Normal Tecnológica.

En el punto 4.3.3.6, se logró encontrar las unidades de producción para todas las operaciones que forman parte de las diferentes cadenas especializadas.

El secuenciamiento lógico de construcción del objeto de construcción se establece de acuerdo al proceso constructivo que se desarrollara en campo, en base a experiencias pasadas en proyectos similares. Primero se realizará la operación de replanteo, trazo y corte de pavimentos y veredas, donde indica que por cada unidad de producción se empleará 1.0 día.

Concluida ésta actividad, inmediatamente se debe ejecutar la operación de excavación de zanja en la línea de aducción N° 01, haciendo uso de un operador de equipo (retroexcavadora), un oficial y un peón que participarán colocando los entibados en la zanja y colaborando con la limpieza ocasional, donde  $m=10$  y  $k=2.0$ . Finalizado ésta actividad, al día siguiente se da inicio a la operación de Refine y nivelación de zanja, con dos peones. Donde estos peones llevaran el control de nivel de profundidad de zanja, donde  $m=10$  y  $k=1.0$

Similar a los casos anteriores se desarrollarán para las primeras 13 operaciones, donde finalmente se eliminará el material suelto que no se utilizó para esta unidad de producción, se observa la secuencia lógica constructiva para las 13 primeras actividades constructivas de la cadena especializada de excavación de redes en la tabla 4.9

**Tabla 4.9** Normal tecnológica para el proceso simple de líneas de aducción N° 01

PROCESO SIMPLE DE LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 01		k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas	1	1k																		
2	Excavación de zanja	2		1k;1k																	
3	Refine y nivelación de Zanja	2			1k;1k																
4	Preparación de cama de apoyo	1				1k															
5	Suministro e instalación de tuberías PVC-UF-ISO 4422	2						1k;1k													
6	suministro e instalación de accesorios PVC-UF ISO 4422	1							1k												
7	suministro e instalación de válvulas	1								1k											
8	anclaje de accesorios	1									1k										
9	relleno y compactación con material propio	3										1k	1k	1k							
10	Pruebas hidráulicas	2													1k;1k						
11	Pruebas de compactación	1																	1k		
12	Reposición de pavimentos y veredas	1																		1k	
13	Eliminación de desmonte	1																			1k

Fuente: Elaboración propia

La normal tecnológica completa del objeto de construcción podemos apreciar en en la tabla 4.4

NORMAL TECNOLÓGICA DE CONSTRUCCIÓN DE RED DE AGUA POTABLE

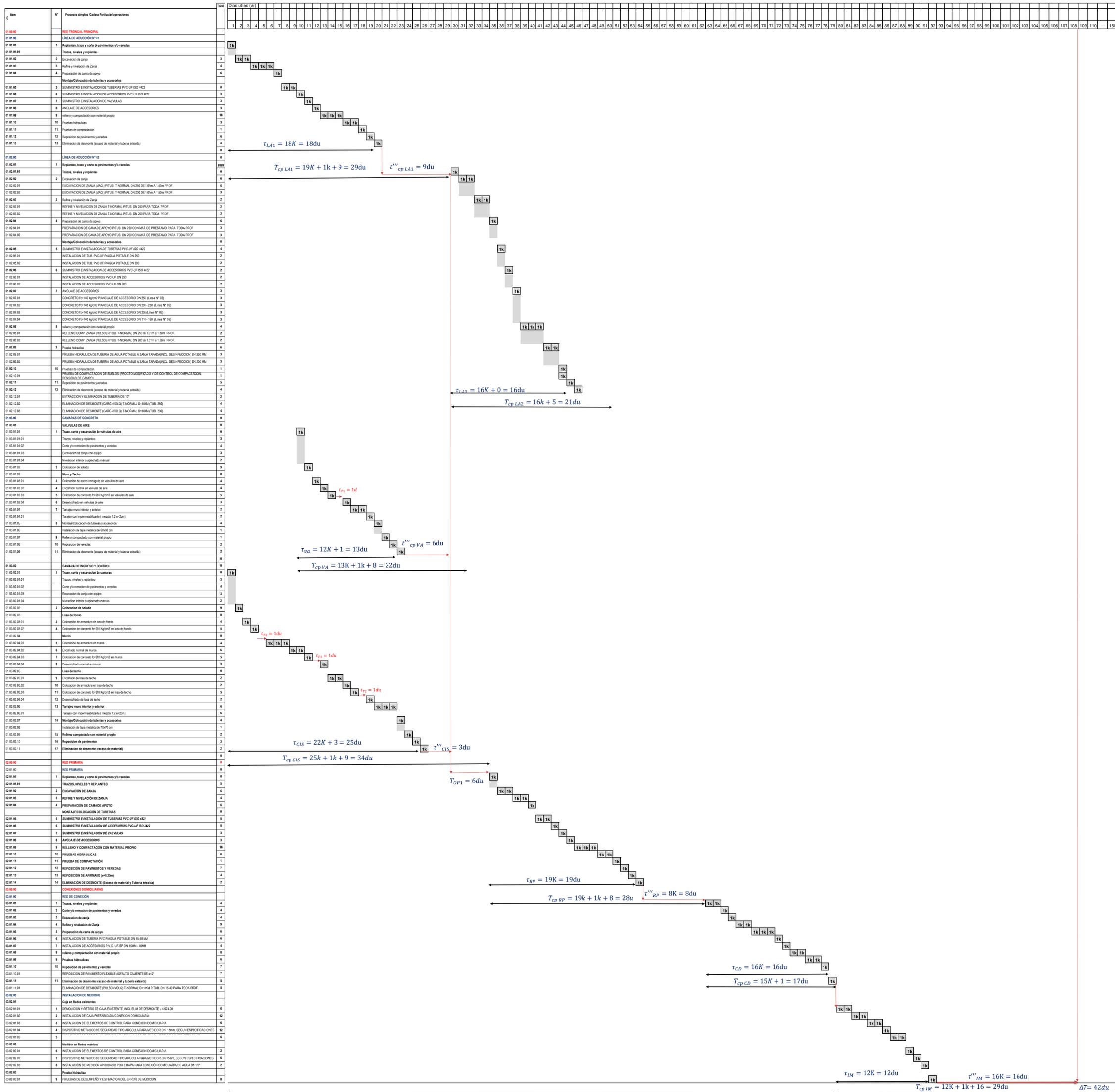


Figura 4.4: Normal tecnológica del objeto de construcción  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3.8. Asignación de recursos

Del análisis realizado en el ítem 4.3.3.6 se puede obtener los parámetros de tiempo, esto nos permitirá identificar los recursos correspondientes a cada proceso simple. Así mismo, los ritmos de producción de las cadenas particulares más predominantes están asociadas a un número  $N$  de ejecutores (Se toma número mayor entero, desde el punto de vista práctico).

Por ejemplo para la operación de pruebas hidráulicas, de la tabla 4.1 ítem 01.01.10 tenemos  $V_T = 3,443.22 m$ , los cuales dividiremos en 10 partes iguales, resultando  $344.32m$ . considerando cuadrilla básica de 1 operador, 1 oficial y 1 peón. Para ejecutar 344.32 m con su rendimiento respectivo asignado demorara 1.72 días. Significa que la cuadrilla (1op+ 1of+1pe), demorará 2 días (desde el punto de vista práctico) para ejecutar la prueba hidráulica.

Para el caso de la actividad: operación de relleno y compactado, la cuadrilla básica es de 1.0 operario + 5.0 peones, por lo que, para ejecutar una unidad de producción diariamente se necesita de 7.0 cuadrillas. Por lo que se necesitaría de 42 personas (7 peones y 35 operarios). Sin embargo, se podría trabajar en tres días, para lo cual se necesita de 18 (3 operarios y 15 peones), lo cual es más práctico para tema de control de personal en campo.

La cantidad de recursos necesarios sería de:

**$N$  x (cantidad de recursos que conforman la cuadrilla unitaria y el tipo de recurso).**

En la tabla 4.10 se aprecia los recursos necesarios para la ejecución del objeto de construcción con cada una de sus operaciones de cada cadena especializada.

**Tabla 4.10** Recursos diarios para todas las unidades de producción del objeto construcción

OC*	CE**	N°	Proceso simple /Cadena Particular/operaciones	VOLUMEN DE TRABAJO (P)		CUADRILLA TÍPICA				Trab. (q) q=P/S	m	k	Cant. ejecutores (N) N=q/mk	Cant. cuad. (Requerida)	RECURSOS DIARIOS				
				Und.	Cant.	op	of	pe	REND. (S)						op	of	pe	Total	
LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 01	EXCAVACIÓN EN REDES DE AGUA POTABLE	1	<b>Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas</b>												136	72	243	451	
			Trazos, niveles y replanteo	m	3,443.22	1	0	2	800	m/día	4.30	10	1	0.43	1	1	0	2	3
			Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	877.63		1	3	1,200	m2/día	0.73	10	1	0.07	1	0	1	3	4
		2	Excavación de zanja	m	3,443.22	1	1	1	160	m/día	21.52	10	2	1.08	1	1	1	1	3
		3	Refine y nivelación de Zanja	m	3,443.22	0	0	2	130	m/día	26.49	10	2	1.32	2	0	0	4	4
		4	Preparación de cama de apoyo	m	3,443.22	0	0	3	225	m/día	15.30	10	1	1.53	2	0	0	6	6
			<b>Montaje/Colocación de tuberías y accesorios</b>																
		5	Suministro e instalación de tuberías PVC-UF ISO 4422	m	3,443.22	1	0	3	90	m/día	38.26	10	2	1.91	2	2	0	6	8
		6	Suministro e instalación de accesorios PVC-UF ISO 4422	unid.	22.00	1	2	0	4	und/día	5.50	10	1	0.55	1	1	2	0	3
		7	Suministro e instalación de válvulas	unid.	2.00	1	1	1	3	und/día	0.67	10	1	0.13	1	1	1	1	3
		8	Anclaje de accesorios	unid.	26.00	1	1	1	12	und/día	2.17	10	1	0.22	1	1	1	1	3
		9	Relleno y compactación con material propio	m	3,443.22	1	0	5	50	m/día	68.86	10	3	2.30	3	3	0	15	18
		10	Pruebas hidráulicas	m	3,443.22	1	1	1	200	m/día	17.22	10	2	0.86	1	1	1	1	3
11	Pruebas de compactación	m	43.00	1	0	0	48	m/día	0.90	10	1	0.09	1	1	0	0	1		
12	Reposición de pavimentos y veredas	m	877.63	2	1	3	450	m2/día	1.95	10	1	0.20	1	2	1	3	6		
13	Eliminación de desmonte	m3	1,883.54	2	0	2	200	m3/día	9.42	10	1	0.94	1	2	0	2	4		
LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 02	EXCAVACIÓN EN REDES DE AGUA POTABLE	1	<b>Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas</b>																
			Trazos, niveles y replanteo	m	1,844.79	1	0	2	800	m/día	2.31	5	1	0.46	1	1	0	2	3
			Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	1,075.75		1	3	1,200	m2/día	0.90	5	1	0.18	1	0	1	3	4
		2	Excavación de zanja	m	1,844.79	1	1	1	140	m/día	13.18	5	2	1.32	2	2	2	2	6
		3	Refine y nivelación de Zanja	m	1,844.79	0	0	2	170	m/día	10.85	5	2	1.09	1	0	0	2	2
		4	Preparación de cama de apoyo	m	1,844.79	0	0	3	318	m/día	5.80	5	1	1.16	2	0	0	6	6
			<b>Montaje/Colocación de tuberías y accesorios</b>																0
		5	suministro e instalación de tuberías PVC-UF ISO 4422	m	1,844.79	1	0	1	185	m/día	9.97	5	1	1.99	2	2	0	2	4
		6	suministro e instalación de accesorios PVC-UF ISO4422	unid.	34.00	1	1	0	12	und/día	2.83	5	1	0.57	1	1	1	0	2
7	anclaje de accesorios	unid.	26.00	1	1	1	16	und/día	1.63	5	1	0.33	1	1	1	1	3		
8	relleno y compactación con material propio	m	1,844.79	1		1	60	m/día	30.75	5	3	2.05	2	2	0	2	4		

		9	Prueba hidráulica	m	1,844.79	1	1	1	160	m/día	11.53	5	2	1.15	2	2	2	2	6	
		10	Pruebas de compactación	unid.	23.00	1	0	0	48	und/día	0.48	5	1	0.10	1	1	0	0	1	
		11	Reposición de pavimentos y veredas	m2	1,075.75	1	1	3	450	m2/día	2.39	5	1	0.48	1	1	1	3	5	
		12	Eliminación de desmonte	m3	613.86	2		2	200	m3/día	3.07	5	1	0.61	1	2	0	2	4	
VALVULAS DE AIRE	TRABAJOS EN CAMARAS DE CONCRETO	1	<b>Trazo, corte y excavación de válvulas de aire</b>																0	
			Trazos, niveles y replanteo	m2	32.49	1		2	200	m2/día	0.16	9	1	0.16	1	1	0	2	3	
			Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	32.49		1	3	1,200	m2/día	0.03	9	1	0.03	1	0	1	3	4	
			Excavación de zanja con equipo	m3	35.74	1		2	450	m3/día	0.08	9	1	0.08	1	1	0	2	3	
			Nivelación interior o apisonado manual	m2	32.49	1		1	120	m2/día	0.27	9	1	0.03	1	1	0	1	2	
		2	Colocación de solado	m2	32.49	2	1	6	80	m2/día	0.41	9	1	0.05	1	2	1	6	9	
			<b>Muro y Techo</b>																	0
		3	Colocación de acero corrugado en válvulas de aire	kg	799.32	1		3	240	kg/día	3.33	9	1	0.37	1	1	0	3	4	
		4	Encofrado normal en válvulas de aire	m2	211.49	1	1		12	m2/día	17.62	9	1	1.96	2	2	2	0	4	
		5	Colocación de concreto fc=210 Kg/cm2 en válvulas de aire	m3	26.89	1	1	3	65	m3/día	0.41	9	1	0.05	1	1	1	3	5	
		6	Desencofrado en válvulas de aire	m2	211.49	1	1	1	100	m2/día	2.11	9	1	0.23	1	1	1	1	3	
		7	Tarrajeo muro interior y exterior	m2	16.89	1		1	12	m2/día	1.41	9	1	0.16	1	1	0	1	2	
		8	Montaje/Colocación de tuberías y accesorios	unid.	9.00	1	1	2	3	und/día	3.00	9	1	0.33	1	1	1	2	4	
		9	Relleno compactado con material propio	m3	7.15			1	7	m3/día	1.02	9	1	0.11	1	0	0	1	1	
		10	Reposición de veredas	m2	32.49	1		1	70	m2/día	0.46	9	1	0.05	1	1	0	1	2	
11	Eliminación de desmonte	m3	42.89	1		1	100	m3/día	0.43	9	1	0.05	1	1	0	1	2			
CAMARA DE INGRESO Y CONTROL	TRABAJOS EN CAMARAS DE CONCRETO	1	<b>Trazo, corte y excavación de cámaras</b>																0	
			Trazos, niveles y replanteo	m2	129.46	1		2	200	m2/día	0.65	9	1	0.07	1	1	0	2	3	
			Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	129.46		1	3	1,200	m2/día	0.11	9	1	0.01	1	0	1	3	4	
			Excavación de zanja con equipo	m3	381.74	1		2	450	m3/día	0.85	9	1	0.09	1	1	0	2	3	
			Nivelación interior o apisonado manual	m2	159.06	1		1	120	m2/día	1.33	9	1	0.15	1	1	0	1	2	
		2	<b>Colocación de solado</b>	m2	159.06	2	1	6	80	m2/día	1.99	9	1	0.22	1	2	1	6	9	
			<b>Losa de fondo</b>																	0
		3	Colocación de armadura de losa de fondo	kg	2,773.43		1	1	240	kg/día	11.56	9	1	1.28	2	0	2	2	4	
		4	Colocación de concreto fc=210 Kg/cm2 en losa de fondo	m3	31.81	1	1	3	65	m3/día	0.49	9	1	0.05	1	1	1	3	5	
			<b>Muros</b>																	0

	5	Colocación de armadura en muros	kg	9,874.18		1	1	240	kg/día	41.14	9	3	1.52	2	0	2	2	4		
	6	Encofrado normal de muros	m2	619.52	1	1		12	m2/día	51.63	9	2	2.87	3	3	3	0	6		
	7	Colocación de concreto fc=210 Kg/cm2 en muros	m3	65.90	1	1	3	65	m3/día	1.01	9	1	0.11	1	1	1	3	5		
	8	Desencofrado normal en muros	m2	619.52	1	1	1	100	m2/día	6.20	9	1	0.69	1	1	1	1	3		
		<b>Losa de techo</b>																	0	
	9	Encofrado de losa de techo	m2	149.66	1	1		12	m2/día	12.47	9	2	0.69	1	1	1	0	2		
	10	Colocación de armadura en losa de techo	kg	1,448.38		1	1	240	kg/día	6.03	9	1	0.67	1	0	1	1	2		
	11	Colocación de concreto fc=210 Kg/cm2 en losa de techo	m3	25.89	1	1	3	65	m3/día	0.40	9	1	0.04	1	1	1	3	5		
	12	Desencofrado de losa de techo	m2	149.66		1	1	100	m2/día	1.50	9	1	0.17	1	0	1	1	2		
	13	Tarrajeo muro interior y exterior	m2	769.18	1		1	12	m2/día	64.10	9	3	2.37	3	3	0	3	6		
	14	Montaje/Colocación de tuberías y accesorios	unid.	9.00	1	1	2	3	und/día	3.00	9	1	0.33	1	1	1	2	4		
	15	Relleno compactado con material propio	m3	114.52			1	7	m3/día	16.36	9	1	1.82	2	0	0	2	2		
	16	Reposición de pavimentos	m2	129.46	1	1	1	150	m2/día	0.86	9	1	0.10	1	1	1	1	3		
	17	Eliminación de desmonte (exceso de material)	m3	389.38	1		1	100	m3/día	3.89	9	1	0.43	1	1	0	1	2		
	RED PRIMARIA	EXCAVACIÓN REDES DE AGUA POTABLE	1	Replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas																
				trazos, niveles y replanteo	m	9,818.20	2	0	3	1,700	m/día	5.78	20	1	0.29	1	2	0	3	5
				corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	1,616.77		1	3	1,200	m2/día	1.35	20	1	0.07	1	0	1	3	4
2			excavación de zanja	m	9,818.20	1	1	1	160	m/día	61.36	20	2	1.53	2	2	2	2	6	
3			refine y nivelación de zanja	m	9,818.20			2	170	m/día	57.75	20	2	1.44	2	0	0	4	4	
4			preparación de cama de apoyo	m	9,818.20			3	318	m/día	30.87	20	1	1.54	2	0	0	6	6	
			montaje/colocación de tuberías																	
5			suministro e instalación de tuberías PVC-UF ISO 4422	m	9,818.20	1	3		205	m/día	47.89	20	2	1.20	2	2	6	0	8	
6			suministro e instalación de accesorios	unid.	831.00	1	1	2	30	und/día	27.70	20	1	1.39	2	2	2	4	8	
7			suministro e instalación de válvulas	unid.	240.00	1	1	1	25	und/día	9.60	20	1	0.48	1	1	1	1	3	
8			anclaje de accesorios	unid.	76.00	1	1	1	12	und/día	6.33	20	1	0.32	1	1	1	1	3	
9			relleno y compactación con material propio	m	9,818.20	1		5	70	m/día	140.26	20	3	2.34	3	3	0	15	18	
10			pruebas hidráulicas	m	9,818.20	1	1	1	197	m/día	49.84	20	2	1.66	2	2	2	2	6	
11			prueba de compactación	unid.	123.00	1			48	und/día	2.56	20	1	0.13	1	1	0	0	1	
12	reposición de pavimentos y veredas	m2	1,616.77	3	1	3	450	m2/día	3.59	20	1	0.18	1	3	1	3	7			
13	reposición de afirmado (e=0.20m)	m2	2,004.36		1	3	300	m2/día	6.68	20	1	0.33	1	0	1	3	4			
14	eliminación de desmonte	m3	2,613.27	1		1	200	m3/día	13.07	20	1	0.65	1	1	0	1	2			

RED DE CONEXIÓN	1	Trazos, niveles y replanteo	m	4,073.05	2			140	und/día	29.09	8	2	1.82	2	4	0	0	4	
	2	Corte y/o remoción de pavimentos y veredas	m2	560.00		1	3	1,200	m2/día	0.47	8	1	0.06	1	0	1	3	4	
	3	Excavación de zanja	m	4,073.05	1		1	250	m/día	16.29	8	1	2.04	2	2	0	2	4	
	4	Refine y nivelación de Zanja	m	4,073.05			3	105	m/día	38.79	8	2	2.42	3	0	0	9	9	
	5	Preparación de cama de apoyo	m	4,073.05			3	90	m/día	45.26	8	3	1.89	2	0	0	6	6	
		Montaje/Colocación de tuberías (línea de conducción)																	
	6	instalación de tubería PVC p/agua potable DN 15-40 mm	m	4,073.05	1		2	250	m/día	16.29	8	1	2.04	2	2	0	4	6	
	7	instalación de accesorios PVC-UF ISO 15mm - 40mm	und.	2,475.00	2			160	und/día	15.47	8	1	1.93	2	4	0	0	4	
	8	relleno y compactación con material propio	m	4,073.05	2	2		160	m/día	25.46	8	2	1.59	2	4	4	0	8	
	9	Pruebas hidráulicas	m	4,073.05	1	1	1	200	m/día	20.37	8	2	1.27	2	2	2	2	6	
	10	Reposición de pavimentos y veredas	m2	618.90	3	1	3	180	m2/día	3.44	8	1	0.43	1	3	1	3	7	
11	Eliminación de desmonte	m3	546.00	1		4	150	m3/día	3.64	8	1	0.46	1	1	0	4	5		
INSTALACION DE MEDIDOR		Caja en Redes existentes																	
	1	Demolición y retiro de caja existente, incl elim de desmonte	und.	4,665.00	1		1	50	m2/día	93.30	16	2	2.92	3	3	0	3	6	
	2	Instalación de caja prefabricada/conexión domiciliaria	und.	4,665.00			4	48	und/día	97.19	16	2	3.04	3	0	0	12	12	
	3	instalación de elementos de control para conexión domiciliaria	jgo	4,665.00	1		1	48	jgo/día	97.19	16	2	3.04	3	3	0	3	6	
	4	Dispositivo metálico de seguridad tipo argolla para medidor DN 15mm, según especificaciones	und.	4,665.00	5	1		160	und/día	29.16	16	1	1.82	2	10	2	0	12	
	5	instalación de medidor aprobado por EMAPA para conexión domiciliaria de agua DN 1/2"	und.	4,665.00	1		1	48	und/día	97.19	16	2	3.04	3	3	0	3	6	
		medidor en redes matrices																	
	6	instalación de elementos de control para conexión domiciliaria	jgo	675.00	1		1	48	jgo/día	14.06	16	1	0.88	1	1	0	1	2	
	7	dispositivo metálico de seguridad tipo argolla para medidor DN 15mm, según especificaciones	und.	675.00	5		1	160	und/día	4.22	16	1	0.26	1	5	0	1	6	
	8	instalación de medidor aprobado por EMAPA para conexión domiciliaria de agua DN 1/2"	und.	675.00	1		1	48	und/día	14.06	16	1	0.88	1	1	0	1	2	
	Prueba hidráulica																		
9	Pruebas de desempeño y estimación del error de medición	und.	400.00	2	2		24	und/día	16.67	16	1	1.04	2	4	4	0	8		

\*Objeto de construcción

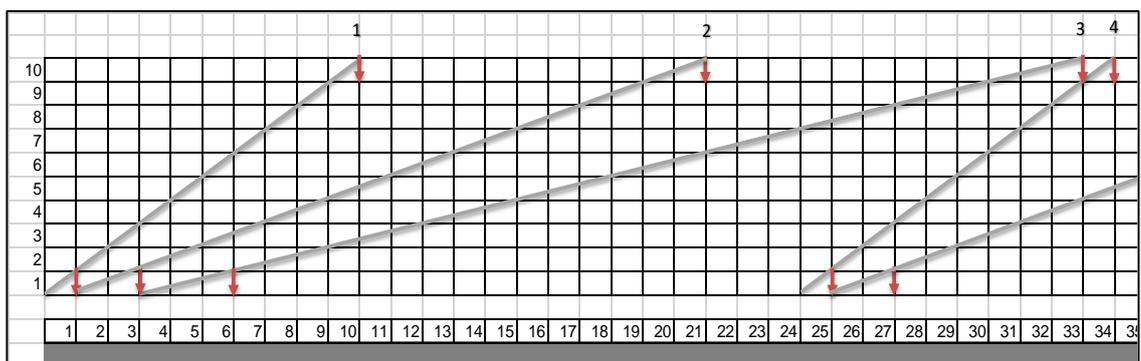
\*\* Cadena especializada

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3.9. Ciclograma de la obra

El ciclograma de la obra nos permite secuenciar los procesos constructivos del Objeto de Construcción. Calculado las duraciones de las diferentes operaciones de acuerdo a sus respectivas cadenas especializadas en cada una de sus respectivas unidades de producción y definido los esquemas de desarrollo de las diferentes operaciones, así como la interrelación entre ellas, se procederá a representar estos cálculos, esquemas y consideraciones en el ciclograma.

De la normal tecnológica, desarrollada en el punto 4.3.3.7, observamos que la operación de replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas el primer día realiza una unidad de producción ( $m=1$ ) y al término del día 10, habrá completado el décimo y última unidad de producción ( $m=10$ ). Así mismo la operación de preparación de cama de apoyo tiene el mismo ritmo que la operación de replanteo, trazo y corte de pavimentos y/o veredas y luego la operación de relleno compactado con material propio tiene el un ritmo diferente a los anteriores donde la unidad de producción  $m=1$  demora en ejecutar 3 días, y como tenemos 10 unidades de producción en este proceso simple en líneas de aducción N° 01, la última unidad de producción  $m=10$  lo estaría terminando luego de 30 días. Lo cual significa que las cuadrillas de las primeras operaciones tendrían esperar 2 días por cada unidad de producción, generándose un tiempo de espera de 20 días, lo cual no es recomendable (ver figura 4.5 y figura 4.7), donde finalmente se necesitaría 74 días útiles para ejecutar solo este objeto complejo de líneas de aducción N° 01



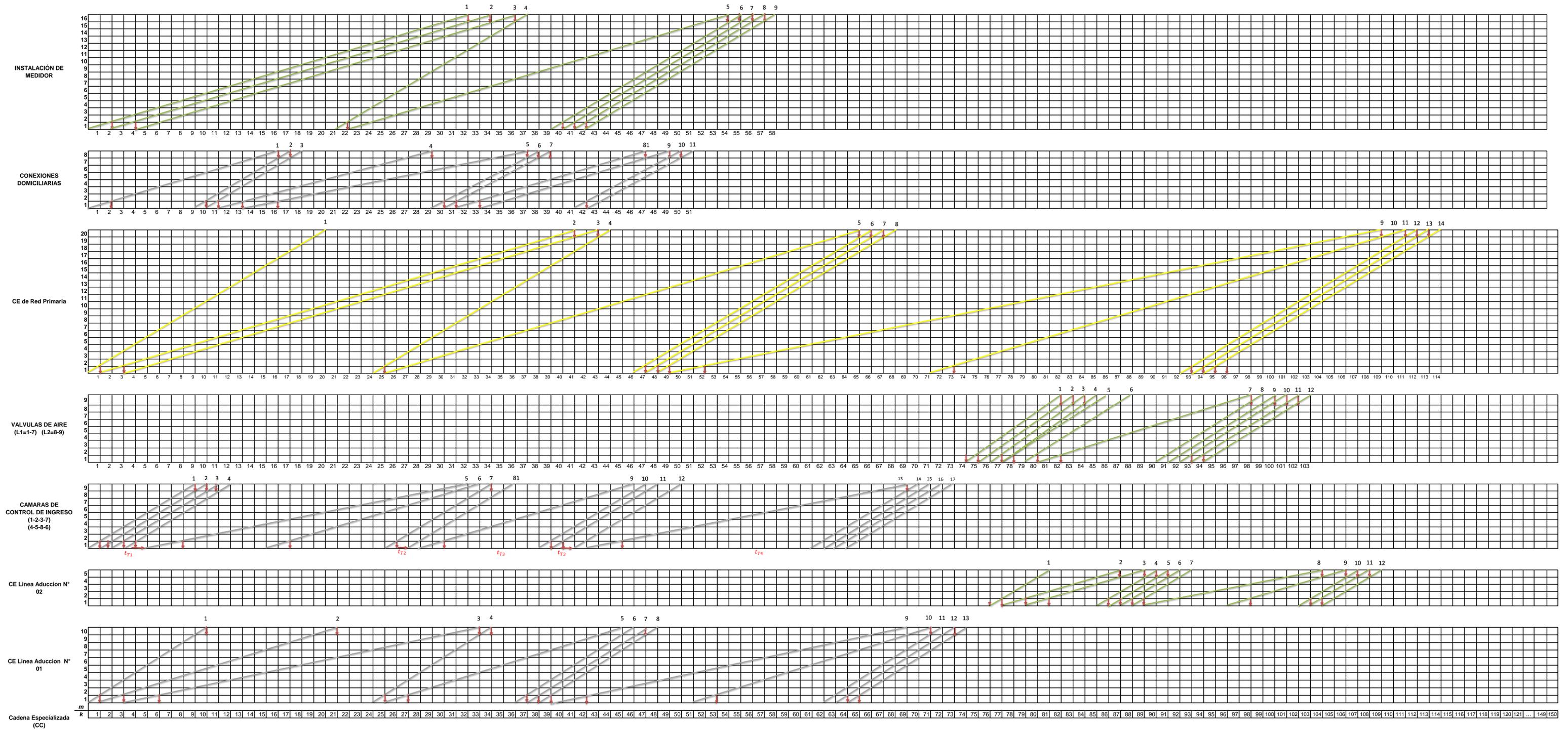
**Figura 4.5:** Ciclograma del objeto de construcción líneas de aducción N° 01 sin nivelar ritmos

**Fuente:** Elaboración propia



Cuando haya transcurrido 1.0 día, le corresponderá un espacio ejecutado de 1.0 unidad de producción tal es así que, al término del décimo día, el espacio total ejecutado corresponde a la décima unidad de producción en esta operación del objeto de construcción línea de aducción N° 01. Es decir que la operación de Trazo y corte de pavimentos y/o veredas ya estará concluida, como podemos apreciar en la figura 4.8. Realizando un análisis similar para todos los componentes del objeto de construcción red de agua potable, se puede mostrar el desarrollo completo del Ciclograma en la figura 4.8.

CICLOGRAMA DE LA CADENA DE OBJETO DE RED DE AGUA POTABLE SIN NIVELACION DE RITMOS

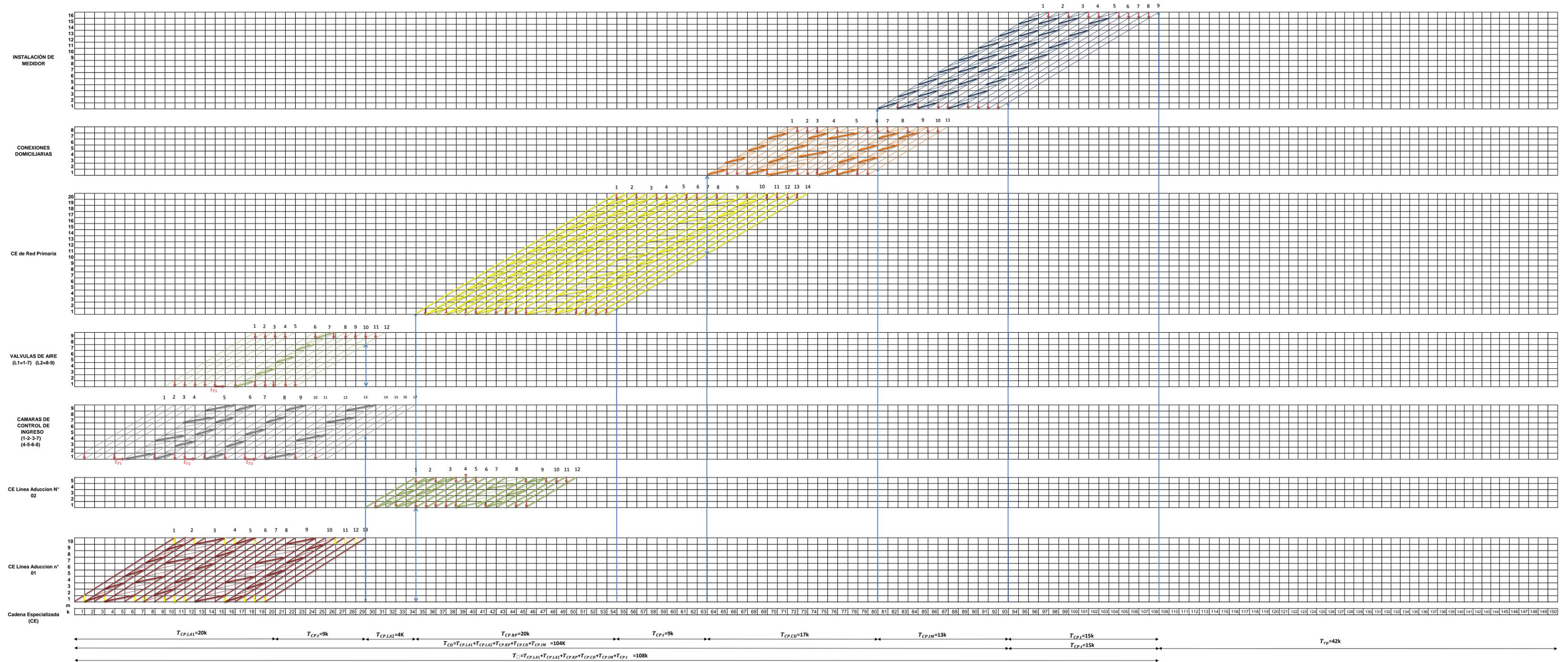


Nota:  
 1) Cada unidad de producción m, es tramo de la línea de aducción  
 2) El módulo de ciclicidad (k) es de 1 día útil, y es igual para todas las CE luego de realizar la nivelación.  
 3) Las cadenas de ritmo más lento se han nivelado a la más acelerada en todas las CE, y se muestra con diferentes grosores de línea  
 4) las duraciones de los tiempos tecnológicos se consideran en días útiles.

Figura 4.7: Ciclograma del objeto de construcción sin nivelar ritmos

Fuente: Elaboración propia

CICLOGRAMA DE LA CADENA OBJETO DE RED DE AGUA POTABLE



Nota:  
1) Cada unidad de producción m, es tramo de la línea de aducción  
2) El módulo de ciclicidad (k) es de 1 día útil, y es igual para todas las CE luego de realizar la nivelación.  
3) Las cadenas de ritmo más lento se han nivelado a la más acelerada en todas las CE, y se muestra con diferentes grosores de línea  
4) las duraciones de los tiempos tecnológicos se consideran en días útiles.

Figura 2.8: Ciclograma del objeto de construcción con ritmo nivelado  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3.10. Programación de obra

Con la información trabajada en la descripción del proyecto desarrollada en el capítulo III y de acuerdo con los parámetros analizados en el ítem 4.3.3.6 y el desarrollo del ciclograma elaborado para el proyecto (Ver figura 4.8), se tiene la duración de la cadena de construcción es  $t_T = 108$  días útiles. Pero de acuerdo a las bases de licitación establecidas en el proyecto, el tiempo contractual es seis meses, que vendría a ser tiempo exigido ( $T_L$ ).

$$T_L = 6 \text{ meses} = 180 \text{ días} = 24 \text{ semanas}$$

De acuerdo a Castillejo (2001) cada mes tiene 25 días útiles en promedio, por lo tanto el tiempo contractual es:  $T_L = 150$  días útiles.

De acuerdo al catedrático Dr. Juan G. Ríos Segura (2015) se debe cumplir la siguiente condición:

$$T = T_p + T_{co} + T_o + T_r = (t_{1,mov} + t_{1,desmov}) + (t_{2,int} + t_{2,desint}) + t_p + f(m, n, k) + t_o + (T_{pr} + T_{fnc}) < T_{exigido} = T_L \dots \dots \dots (\alpha)$$

Donde:

**T:** Duración de los procedimientos constructivos del objeto de construcción.

**T<sub>p</sub>:** Tiempo preparatorio para inicio. (Necesario desde la fecha de inicio contractual, hasta el inicio de los trabajos principales), y finalización del objeto de construcción.

**T<sub>co</sub>:** Duración de la cadena de construcción (teórica), que está en función de los parámetros tecnológicos de: unidad de producción(m), espacio (n) y tiempo (k).

**T<sub>o</sub>:** Tiempo para la entrega final del objeto de construcción.

**T<sub>r</sub>:** Tiempo de reserva para culminar los trabajos de todas las cadenas de producción.

De acuerdo al análisis desarrollado para el cálculo de volumen de trabajo y cálculo de parámetros tecnológicos se concluye que el tiempo preparatorio es conformada por los tiempos de movilización y desmovilización (transporte interno e externo) y los tiempos de instalaciones y desinstalaciones provisionales (preparación/habilitación), las cuales son:

$$T_p = (t_{1,mov} + t_{1,desmov}) + (t_{2,int} + t_{2,desint})$$

$$T_p = (5 + 3) + (3 + 2) = 13 \text{ días útiles}$$

Por ende, el  $T_p=2.5$  semanas aproximadamente.

El tiempo de la cadena de construcción es  $t_p = 108$  días útiles, convirtiendo a días calendarios se tendría: 130 días (18 semanas aproximadamente).

$$T_{co} = f(m, n, k) = t_T = 118 \text{ días útiles}$$

para el tiempo de inicio y entrega final de obra del objeto de construcción se considera  $T_o = t_i + t_o = 5 + 5$  días útiles.

Para determinar el tiempo de reserva se tuvo en cuenta algún error en la estimación de tiempos en el ciclo de producción consideraremos  $t_{fnc} = 13$  días útiles para amortiguar el error en la estimación de tiempos, y considerando los tiempos que se podrían generar por los diferentes parámetros restrictivos que no se consideró en la duración de la cadena de construcción, se considera  $t_{pr} = 6$  días útiles, con lo cual se tiene:

$$T_r = t_{fnc} + t_{pr} = 13 + 6 = 19 \text{ días útiles}$$

Dentro de la duración de los parámetros restrictivos se considera los tiempos invertidos en la implementación de las actividades de implementación de seguridad y salud ocupacional, medio ambiente y realización de las diferentes pruebas de calidad y dentro de los tiempos de factores no controlables se considera los efectos en cuanto a tiempo que podrían generar las diferentes restricciones o riesgos identificados en el ítem 4.4.4

Reemplazando datos en la ecuación ( $\alpha$ ), se tiene:

$$T = 13 + 108 + 5 + 24 \leq T_L = 150$$

$$T = 150 \leq TL = 150 \text{ dias utiles... (ok)}$$

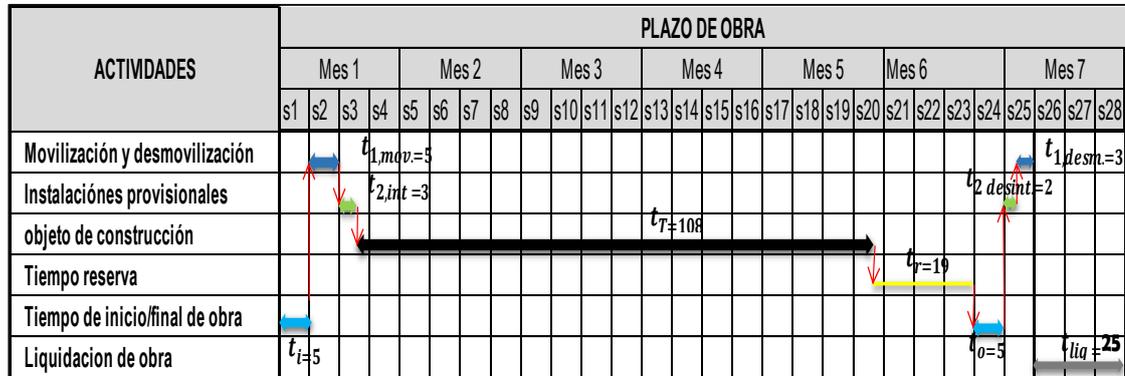


Figura 4.9: Es cronograma de duración teórica del desarrollo del objeto de construcción  
Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.3.11. Asignación de costos directos

Del cálculo de volumen de trabajo realizado en el ítem 4.3.3.5 y el respectivo análisis de costos unitarios elaborados en el ítem 3.2.5 para el proyecto: “Mejoramiento y aplicación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), Distrito de Imperial-Cañete-Lima” y del análisis desarrollado en el ítem 4.3.3.4 y ítem 4.3.3.6, se tiene el costo directo estimado del Objeto de Construcción (Ver tabla 4.11), en base a la asignación de recursos establecidos para cada operación (Ver tabla 4.10). Cabe resaltar que la valorización obtenida son de los insumos que directamente se utilizará en el procedimiento constructivo del objeto de construcción.

Tabla 4.11 Costo directo del Objeto de Construcción

N°	Proceso o Cadena Particular	COSTO PARCIAL
01.00.00	<b>RED TRONCAL PRINCIPAL</b>	
01.01.00	LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 01	822,201.00
01.02.00	LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 02	296,380.10
01.03.00	<b>CAMARAS DE CONCRETO</b>	
01.03.01	VALVULAS DE AIRE	180,791.63
01.03.02	CAMARA DE INGRESO Y CONTROL	412,817.20
02.00.00	<b>RED PRIMARIA</b>	
02.01.00	RED PRIMARIA	1,221,899.19
03.00.00	<b>CONEXIÓN DOMICILIARIA</b>	
03.01.00	RED DE CONEXIÓN	346,077.10
03.02.00	INSTALACION DE MEDIDOR	1,050,045.00
Costo directo del objeto de construcción (S/.)		<b>4,330,211.27</b>

Fuente: Elaboración propia

Así mismo se observa que los recursos que presentan mayor incidencia económica son: accesorios y tuberías de PVC, válvulas (compuertas, de aire triple acción, reductoras de presión) y medidor de caudal electromagnético, por lo que se debe tener mayor control sobre éstas operaciones. Es importante mencionar que el recurso humano representa alta incidencia económica, por lo que su adecuado manejo o organización constructiva que se escoja, permitirá optimizar su costo de operación.

#### 4.3.3.12. *Asignación de costos indirectos*

##### **1. Costo estimado en gastos generales administrativos**

Los Costos Indirectos son todos aquellos costos que no pueden aplicarse a una operación específica, sino tiene incidencia sobre todo en el costo de obra.

Estos costos indirectos son: Gastos generales y Utilidad.

##### **i) Gastos generales**

El análisis del desagregado de gastos generales se desarrolló de acuerdo artículo 2° del D.S 011-79-VC del 1.3.79.

Estos gastos generales se dividen a su vez en:

- a. Gastos Generales Fijos:** se elaboró de acuerdo al numeral 28 del anexo de Definiciones del D.S N° 184-2008-EF donde establece.

se tuvo en cuenta los siguientes aspectos para el análisis de gastos fijos.

- Gastos de licitación y contratación
- Gastos indirectos varios

- b. Gastos Generales variables:** se elaboró de acuerdo al numeral 29 del anexo de Definiciones del D.S N° 184-2008-EF.

Además, se consideró los siguientes conceptos:

- Gastos de administración de obra
- Gastos de administración de oficina

○ Gastos financieros relativos a la obra

**ii) Utilidad**

Los servicios de construcción se encuentran sujeto a un margen de ganancia, que la empresa contratista percibe. La cual es un porcentaje del presupuesto directo de la obra, en el Perú se suele aplicar un rango de utilidad teórica que varía entre un 6 y 10%. Para efectos de la presente Tesis se ha considerado una utilidad del 10% respecto al Costo Directo.

De la programación de obra (Ver figura 4.9) se tiene el tiempo de ejecución del proyecto de 6 meses y en base a experiencias en proyectos similares de la entidad se realizó el análisis de desagregado de gastos generales del proyecto para determinar los sueldos y honorarios del personal profesional y técnico del proyecto (Ver tabla 4.12).

**Tabla 4.12** Análisis de gastos generales y utilidad

<b><u>ANÁLISIS DE GASTOS GENERALES Y UTILIDAD</u></b>	
	Datos: Obra                      6 meses Recepción y                      1 meses Liquidación
<b>1.00 GASTOS GENERALES FIJOS</b>	(No Relacionados Directamente con el Tiempo de Ejecución de la Obra)
<b>1.01 GASTOS DEL CONCURSO Y CONTRATACIÓN:</b>	S/.
<b>Fianzas: Contratación</b>	
Fianza por Garantía de Fiel Cumplimiento ((Vigencia hasta la liquidación)	2,140.67
Fianza por Garantía de Adelanto en Efectivo	4,587.09
Fianza por Garantía de Adelanto en Materiales	9,174.18
<b>Seguros: Contratación</b>	
Póliza de Seguros C.A.R. Contra Todo Riesgo (vigencia durante ejecución de la obra)	24,464.48
Póliza de Seguros Complementario de Trabajo de Riesgo (vigencia durante ejec. de obra)	3,669.66
Póliza de Seguros ESSALUD + Vida para los trabajadores	7,500.00
<b>1.02 GASTOS INDIRECTOS VARIOS:</b>	
Legales y Notariales de la Organización	1,000.00
Patentes y Regalías	500.00
Inscripción en el Registro Nacional de Proveedores	2,020.77
Seguro de las Instalaciones de la Empresa	1,000.00
Pagos para Derechos de Trámite, Autorización y/o licencia y Control	4,587.09
Pagos por verificación de Estudio de Suelos detallado	2,000.00
Otros Gastos Financieros u Obligaciones Fiscales	634.44
<b>TOTAL GASTOS GENERALES FIJOS :</b>	<b>63,278.38</b>



<u>Vehículos para Movilidad y Transporte interno:</u>	<u>Cant.</u>		<u>Jornada</u>		<u>Periodo</u>	<u>S/.</u>
Camión plataforma 5 Ton	1.00	x	1	x	2.00 meses	10,520.00
Camioneta operada 2 Ton	1.00	x	1	x	6.00 meses	24,300.00
<b>2.02 GASTOS DE ADMINISTRACIÓN EN OFICINA</b>						
<u>PERSONAL DE DIRECCIÓN:</u>						
Adm. Gral de Proyectos y Control de Calidad	1.00	x	15%	x	6.00 meses	4,500.00
<u>Sueldos, Bonif. y Benef. Personal Administrativo:</u>						
Contador	1.00	x	15%	x	6.00 meses	3,884.40
Auxiliar Administrativo – Logístico	1.00	x	15%	x	6.00 meses	2,700.00
Secretaria	1.00	x	15%	x	6.00 meses	2,070.00
Guardiania - Vigilancia del Local Oficina Central	1.00	x	15%	x	6.00 meses	1,440.00
Personal de limpieza y mantenimiento	1.00	x	15%	x	6.00 meses	1,125.00
<u>Local - Oficina Principal</u>						
Depreciación o Alquiler de Local Central c/mobiliario	2500		15%		6.00 meses	2,250.00
<u>Útiles de Oficina, Amortización de Equipos:</u>						
Útiles de Oficina	800		15%		6.00 meses	720.00
Equipos de Cómputo, calculadoras, plotter, etc.	1000		15%		6.00 meses	900.00
Servicios de Fotocopiado, Video, foto, Fax, etc.	1000		15%		6.00 meses	900.00
<u>Mantenimiento de Servicios de Of. central:</u>						
Servicio de Electricidad	1200		15%		6.00 meses	1,080.00
Servicio de Radio – Telefonía	750		15%		6.00 meses	675.00
Servicio de Agua Potable	800		15%		6.00 meses	720.00
Servicio de Mantenimiento y Seguridad	1000		15%		6.00 meses	900.00
<u>Dispositivos Complementarios de Seguridad</u>						
Extintores 6Kg (1 tipo PQS, 1 tipo CO2), Botiquín Primeros Auxilios (1)						4,500.00
<b>GASTOS FINANCIEROS COMPLEMENTARIOS</b>						
<b>2.03 Fianzas: Renovaciones</b>						
Renovación de Fianza por Garantía de Adelanto en Efectivo						4,077.40
Renovación de Fianza por Garantía de Adelanto en Materiales						6,116.12
<b>TOTAL GASTOS GENERALES VARIABLES :</b>						<b>332,292.83</b>
<b>TOTAL GASTOS GENERALES FIJOS Y VARIABLES (1y2):</b>						<b>395,571.21</b>
<b>UTILIDAD(10%):</b>						<b>433,021.13</b>
<b>TOTAL GASTOS GENERALES Y UTILIDAD:</b>						<b>828,592.34</b>

Fuente: Elaboración propia

## 2. Costo en seguridad y salud ocupacional (S&SO)

Previo a la ejecución del proyecto, es indispensable elaborar un plan de seguridad laboral de tal forma que permita identificar los riesgos, restricciones y evaluar estas restricciones y/o riesgos, adoptando ante ello los equipos de protección personal apropiados, así como el plan de seguridad que se deben implementar.

Un mal desempeño del personal de S&SO, inevitablemente afecta al presupuesto en el desarrollo del proyecto. Por lo que es necesario estimarlos y considerarlo dentro de la elaboración del presupuesto de un Proyecto.

Enfocaremos nuestro análisis para poder hallar los costos, considerando lo siguiente:

- Equipo de protección personal (EPP's)

De las experiencias pasadas en proyectos similares sobre la duración promedio de los EPP's, en la tabla 4.12 se muestra los tiempos de duración promedio en horas.

**Tabla 4.13** Duración promedio de EPP's

N°	PROCESO SIMPLE DE LÍNEA DE ADUCCIÓN N° 01	Durabilidad(Horas)
1	Casco de seguridad	2450
2	Arnés y líneas de vida	2200
3	Guantes de cuero	80
4	Guantes de hilo con puntos de PVC	120
5	Guantes de nitrilo	400
6	Lentes de seguridad	190
7	Zapatos de seguridad con puntera de acero	1000
8	Botas de PVC con puntera de acero	600
9	Camisa	600
10	Pantalón	600
11	Tapones auditivos	50
12	Mascarilla contra el polvo	50
13	Protector facial	200
14	Faja lumbar con suspensión	1200

Fuente: Mallma, M. (2011)

- Índice de capacitaciones (I)

Los indicadores permiten comparar la cantidad de horas que un trabajador debe ser capacitado diariamente por jornada laboral de 08 horas diarias. La

frecuencia con que se debe desarrollar el curso de inducción en seguridad es de seis meses, en este lapso de tiempo se debe realizar durante 5 horas, por lo tanto:

$$I = \frac{\text{Tiempo de capacitación en un mes}}{25(\text{días laborables } \times \text{ mes})}$$

El tiempo correspondiente a un mes es:

$$t = \frac{5}{6}; \quad t = 0.83 \text{ horas}$$

Luego:

$$I = \frac{0.83}{25}; \quad I = 0.033 \frac{\text{horas}}{\text{diarias}}$$

En la tabla 4.14 se muestra los índices de capacitación de S&SO.

**Tabla 4.14** Índice de Capacitación en S&SO

CAPACITACIONES	DURACIÓN (horas)	FRECUENCI	Equivalencia en horas por jornada de 8 horas
Curso de Inducción en seguridad	5.00	Cada 6 meses	0.033
Capacitaciones en seguridad			0.083
Charlas de 5 min			0.15
<b>Total de capacitación diaria</b>			<b>0.266</b>
<b>Índice de Capacitación (I=0.266/8 : 0.03325) : 0.03325 (Horas/hora de trabajo)</b>			

Fuente: Mallma M., (2011)

## PRESUPUESTO PARA SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL

Aplicar un plan en Seguridad y Salud Ocupacional (S&SO), durante la realización de un proyecto, necesariamente genera costos, las cuales son calculados (Ver tabla 4.15).

Los equipos de protección personal (EPP's) constituyen uno de los conceptos más básicos en cuanto a la seguridad del personal profesional y técnico en la zona de trabajo y son necesario cuando los peligros no han sido eliminados por completo o controlados por otros medios, como el control de ingeniería.

Las condiciones que se debe tener en cuenta para seleccionar el EPP's es:

- Proporcionar máximo confort y su peso debe ser ligero.
- No debe incomodar los movimientos del trabajador.
- Debe ser de alta calidad y de ser posible el mantenimiento debe realizarse en la entidad.

- Debe ser fabricado de acuerdo con las normas del sector de construcción.

Así mismo debemos indicar que los EPP's se clasifican en:

- Protección a la cabeza (cráneo).
- Protección de ojos y cara.
- Protección a los oídos.
- Protección de las vías respiratorias.
- Protección de manos y brazos.
- Protección de pies y piernas.
- Cinturón de seguridad para trabajos en altura.
- Ropa de trabajo.
- Ropa protectora.

En la tabla 4.15, se ensaya una forma de encontrar un presupuesto para seguridad y salud ocupacional (S&SO).

Del cuadro de asignación de recursos diarios (ver tabla 4.10) se puede contabilizar el total de horas hombre, desdoblarlos en las horas hombre correspondiente a los peones operarios y oficiales. Con el total de h-h parcial, se relacionó con la durabilidad promedio de cada EPP, la cual nos permitió calcular la cantidad de EPP's que se consumirán durante el desarrollo del proyecto. Teniendo el costo unitario de cada EPP, lo cual se multiplicamos por la cantidad de EPP's y estaremos encontrando el Presupuesto esperado.

**Tabla 4.15** Costo directo para Seguridad y Salud Ocupacional

Descripción	Durabilidad (Horas)	Op	Of	Pe	Cantidad	Precio \$/.	Parcial
		9424.50	5439.77	29772.78			
Casco de seguridad	2400	4	3	13	20	13.99	279.80
Arnés y líneas de vida	2200	5	3	14	22	339.90	7477.80
Guantes de cuero	80	118	68	373	559	6.99	3907.41
Guantes de hilo con puntos de PVC	120	79	46	249	374	2.50	935.00
Guantes de nitrilo	400	24	14	75	113	8.99	1015.87
Lentes de seguridad	190	50	29	157	236	10.50	2478.00
Mentoneras	1200	8	5	25	38	12.90	490.20
Zapatos de seguridad con puntera de acero	1000	10	6	30	46	45.00	2070.00
Botas de PVC con puntera de acero	600	16	10	50	76	31.90	2424.40
Camisa	600	16	10	50	76	28.50	2166.00
Pantalón	600	16	10	50	76	32.80	2492.80
Tapones auditivos	50	189	109	596	894	5.90	5274.60

Descripción	Durabilidad (Horas)	Op	Of	Pe	Cantidad	Precio S/.	Parcial
		9424.50	5439.77	29772.78			
Mascarilla contra el polvo*	50	29	17	90	136	14.90	2026.40
Protector facial	200	48	28	149	225	19.90	4477.50
Faja lumbar con suspensión	1200	8	5	25	38	29.90	1136.20
Índice de capacitación (I=0.03325)		313.36	180.87	989.94	1484.2	11.14	16533.79
* Solo se consideró del total HH el 15%, porque solo es usado en la cadena de cámaras de concreto							
<b>Costo Directo S&amp;SO =</b>						<b>55,185.77</b>	

Fuente: Adaptado de Mallma M., (2011)

### 3. Costos de medio ambiente

La estrategia de manejo ambiental desarrollado dentro del marco de una estrategia de protección del medio ambiente del proyecto, en armonía con el desarrollo socioeconómico del área de emplazamiento del proyecto. Está compuesto por diversos programas, en donde se establecen las acciones y medidas correctivas necesarias para evitar y/o atenuar las implicancias ambientales negativas.

Los programas de manejo medio ambiental implementados en el proyecto son:

- Programa de Medidas Preventivas, Correctivas y/o de Mitigación.
- Plan de Manejo de Residuos Sólidos.
- Programa de Monitoreo Ambiental.
- Plan de Contingencia.
- Plan de Cierre y Abandono.
- Plan de Seguridad y Salud Ocupacional.
- Plan de Relaciones Comunitarias.

Con el fin de ejecutar todos los objetivos de los diferentes planes y programas propuestos en la Estrategia de Manejo Ambiental del Estudio de Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto “Mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), Distrito De Imperial -Provincia De Cañete-Lima”. Se estimó la inversión necesaria para su implementación durante la etapa de construcción.

**Tabla 4.16** Costo de implementación de la estrategia de manejo medioambiental

Descripción	Costo (S/.)
Programa de Medidas Preventivas, Correctivas y/o de Mitigación	S/. 203,289.76
Programa de Manejo de Residuos	
Programa de Monitoreo Ambiental	
Programa de Abandono y Cierre	
Plan de Participación Ciudadana	
Plan de Contingencias	

**Fuente:** Costo estimado en la declaración de impacto ambiental del proyecto

#### 4. Costos de calidad

La empresa responsable de la construcción realiza la planificación para cumplir con los controles, ensayos, pruebas, análisis, etc de los procedimientos constructivos y diferentes entregables del proyecto. Con el objetivo de cumplir con los requisitos del proyecto. Su cumplimiento, demanda de un costo que evidentemente, afectará al presupuesto. De ahí surge la necesidad de considerar en costo de calidad en la fase de elaboración del presupuesto (ver tabla 4.17).

Por lo tanto, los costos relativos a la calidad son:

Costos de Calidad (CDC). - Costos en que se incurre para asegurar una calidad satisfactoria y dar confianza de ello. considera que el costo indirecto varía en forma directamente proporcional al tiempo.

Costos de NO Calidad (CNC). - Se considera a las perdidas cuando no se logra la calidad satisfactoria establecida en las especificaciones técnicas.

$$CRC = CDC + CNC$$

Donde:

**CRC** = costos relativos a la calidad

**CDC** = costos de calidad

**CNC** = costos de no calidad

Dentro de los costos de calidad, se incluye los costos de prevención y los costos de evaluación.

**Tabla 4.17** Costo relativo de calidad

Control, pruebas y ensayos de materiales					
Nº	Descripción	cantidad	Global(*)	Precio S./	Parcial
1	verificación de diseño de mezcla	6	1	345.00	2,070.00
2	control de calidad de agua	8	1	340.00	2,720.00
3	rotura de probetas de concreto	150	1	68.00	10,200.00
4	prueba a tableros eléctricos	8	1	300.00	2400,00
*Para todo el proyecto					
<b>Costo Directo de Calidad (S./)</b>					<b>17,390.00</b>

Fuente: Elaboración Propia

## 5. Costos de riesgos

Como la entidad es la unidad ejecutora y evaluadora del proyecto, por lo tanto, es responsable de la construcción del proyecto, y por ende, evaluar el presupuesto de obra. Además, la entidad debe tener en cuenta que durante la ejecución de la obra se podría presentar adicionales de obra y ampliaciones de plazo, lo cual genera sobrecostos al proyecto. Por lo tanto, la entidad está en la obligación de estimar los costos de los diferentes imprevistos que se podría generar durante la ejecución del proyecto. La estimación de costos de contingencia se desarrollará en base a los términos planteados en el ítem 4.4 del presente capítulo.

### 4.4. PLANIFICACION DE CONTINENCIAS

La planificación de contingencias es sin duda el tema que más se ha desarrollado últimamente en cuanto a la dirección de proyectos, que es parte fundamental de la gestión empresarial u organizacional, ya que manejar un proyecto sin evaluar los posibles inconvenientes o riesgos que se puedan generar, sin tomar en cuenta las acciones necesarias para su prevención, control y mitigación, es prácticamente un suicidio administrativo (Mallma M., 2011). La Teoría de Restricciones es la nueva forma del pensamiento de dirección organizacional, esta forma de pensar como un todo a la organización, como un sistema. Los expertos lo denominan pensamiento sistémico y en los últimos años empezó a tomar fuerza interrelacionándose con las nuevas filosofías de gestión empresarial como Sistemas de Producción Justo a Tiempo, Calidad Total, Reingeniería y Planificación de los recursos de la empresa. Todas estas herramientas se complementan unas con otras.

Todas estas filosofías requieren un gran esfuerzo de implementación, debido a que generan un cambio cultural en la organización, una manera más dinámica de coordinar ideas y esfuerzos. Todas las personas que forman parte de la organización se ven afectadas en su forma de trabajar, en su forma de compartir información y comunicarse.

Estas filosofías demandan:

- Gran interacción entre las diferentes áreas de la organización.
- Mayor autonomía en las tareas.
- Mayor responsabilidad en la ejecución.
- Aporte de ideas para mejorar el proceso.
- Participación directa en el control de proceso.
- Mayor rapidez en la toma de decisiones.

Para que estas nuevas filosofías sean exitosas, requieren básicamente, que:

- Las necesidades básicas de la organización deben ser cubiertas en el mayor grado posible.
- Enseñanza de las nuevas herramientas de eficiencia. No solo saber qué son y cómo se utilizan, sino cómo afectan a todos los miembros del proceso.
- Capacitación en trabajo en equipo, dominio personal y liderazgo. Y sobre todo la inteligencia emocional.
- Lograr el compromiso de los niveles más altos de la organización, para que las nuevas ideas tengan fuerza permanente y estén alineados con los objetivos estratégicos de la organización.

El uso de estos sistemas de gestión y en especial de la Teoría de Restricciones puede resultar un sueño, pero porque no realizar el intento si empresas exitosas como AT&T, 3M Corporation, Delta Airlines, Ford Electronic, General Motors Corporation, Intel International, entre otras utilizan los principios de la Teoría de Restricciones como su sistema de operaciones y afirman haber obtenido resultados como la reducción de Lead Time (Acero, 2009), mejoró en el cumplimiento de sus fechas de entrega al cliente, incremento en sus ventas, reducción de sus inventarios, reducción de sus gastos de fabricación e

incremento en las utilidades netas, y por supuesto, han logrado llegar rápidamente a su meta, han conseguido dinero. (Mallma M., 2011)

#### 4.4.1. La meta del sistema

Todos los sistemas tienen que tener una sola meta (a la vez) y esta meta debe poder cuantificarse de alguna forma tangible. Un sistema u organización es la unión de recursos (personas, dinero, maquinas, conocimientos, etc.) para lograr una meta común. La cual va acompañada de una serie de **condiciones necesarias**. En el caso del proyecto “Mejoramiento y aplicación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), distrito de Imperial-Cañete-Lima”, objeto de nuestro estudio, los objetivos se encuentran definidos por tres variables fundamentales: tiempo de ejecución de la obra, costo del proyecto y cumplimiento de las especificaciones técnicas. Estas tres variables (plazo, costo y calidad del proyecto) constituyen la meta del proyecto y por tanto existen fuerzas internas y externas al proyecto que originarán que la modificación de alguna de estas tres variables influya en las otras dos. Un esquema que representa de manera interesante el comportamiento del sistema de objetivos de nuestro proyecto se ilustra en la figura 5.2 del Capítulo 5 del presente trabajo de investigación.

Los sistemas no son una caja llena de eslabones (operaciones), son una cadena en donde los resultados de un eslabón dependen de su interacción con otros eslabones (Acero E., 2003). La definición de cadena no es nueva, lo nuevo es su importancia de la cadena es su resistencia y no necesariamente su peso.

Convencionalmente se ha establecido que disminuir el peso de la cadena es la meta del sistema y por esto las empresas constantemente tratan de reducir sus gastos en todos los eslabones sin tener en cuenta que todas las cadenas tienen un eslabón débil.

La Teoría de Restricciones manifiesta que lo importante de un sistema es resistir más, lo que al traducir la analogía de la cadena a la realidad de los negocios es aumentar las utilidades, es decir, aumentar la resistencia de la cadena, concentrándose en el eslabón más débil, que es el único que determina la resistencia de la cadena (Acero E., 2003).

La mejor solución es enfrentar a las restricciones del sistema en equipo y atacar sólo hasta el momento en que la restricción cambie de lugar, en ese momento el equipo debe orientarse a la nueva restricción.

#### 4.4.2. Las restricciones

Una empresa es una cadena de eventos organizacionales, la existencia de esta cadena compromete al hecho de que haya recursos dependientes (un paso no puede realizarse antes que su anterior) y por la Ley de Murphy: si algo puede salir mal, va a salir mal, existen fluctuaciones estadísticas que afectan el flujo del producto a través de los recursos (Acero E., 2003). Esta realidad puede presentarse en (cuando menor) tres escenarios: Materia prima, proceso (operaciones) y Mercado. Para obtener la mejora continua en las **restricciones del proyecto, la Teoría de Restricciones** ha formulado un procedimiento repetitivo de cinco pasos simples para alcanzar la meta del sistema:

El presente trabajo de investigación tiene como uno de sus objetivos fundamentales determinar analíticamente, a través de un modelo de simulación, la dimensión del amortiguador del costo del proyecto para luego ser gestionados por EMAPA CAÑETE S.A. El dimensionamiento del valor del costo de contingencia dependerá de las características, la probabilidad de ocurrencia y el impacto de los riesgos o restricciones que pudieran afectar el costo directo del proyecto. Los diferentes factores de restricciones y muchos otros factores adicionales que se identificaran, mencionarán y analizarán a lo largo del presente estudio, facilitan la aplicación de los procesos y herramientas del pensamiento sistémico de la Teoría de Restricciones, con la finalidad de predecir, mitigar o eliminar dichos factores en cuyo caso de ocurrencia hubieran afectado el cumplimiento de la meta del proyecto.

#### 4.4.3. Pasos del pensamiento sistémico

Se realiza un análisis de todas las operaciones de la cadena de la construcción, en base a los cinco pasos de focalización, dicho análisis nos servirá para identificar adecuadamente cuáles son las operaciones que podrían generar el NO cumplimiento de la meta planteada y consecuentemente generaría los adicionales de obra y ampliaciones de plazo. El estudio de las especificaciones

técnicas; la compatibilización de los planos por especialidades; la revisión de la normal tecnológica del objeto de construcción y la asignación de costo directo; los roles y responsabilidades del equipo de trabajo, la transmisión de la información; los requerimientos de materiales y equipos, órdenes de trabajo y compras del proyecto deben estar especificadas; la tolerancia al riesgo de los interesados en el proyecto (patrocinadores, inversionista, subcontratistas, proveedores, clientes, trabajadores, población, etc.); son los puntos que se va a discutir durante el análisis de restricciones en nuestro Objeto de Construcción.

- **Paso 1: Identificar las restricciones del sistema total:**

Debemos recordar que existen dos tipos de restricciones: restricciones físicas; que ocurren durante la ejecución de las operaciones de la organización (ejecución de las actividades constructivas de la obra) y restricciones políticas; que podrían ocurrir antes, durante o después de la ejecución de las operaciones de la organización. En nuestro caso se identificarán las restricciones políticas que se podría generar durante la ejecución del proyecto.

El presente estudio tiene como uno de sus objetivos identificar los procesos más riesgosos de la etapa de construcción del proyecto con la finalidad de minimizar los efectos negativos y maximizar las oportunidades y efectos positivos que pudieran acontecer a lo largo de la fase de construcción, donde muchas veces pudieran evitarse problemas si es que dichos eventos hubieran sido identificados y gestionados con antelación.

A continuación, con la finalidad de eliminar los adicionales de obra y ampliaciones de plazo por diferentes conceptos (Ver Anexo A), elaboramos una lista con las diferentes restricciones que generan estos adicionales de obra y ampliaciones de plazo:

- ✓ Deficiencias en la elaboración del expediente técnico.
- ✓ Error en el cálculo del volumen proyectado de insumos.
- ✓ Variación en el costo cotizados en los principales insumos de construcción.
- ✓ La falta de evaluación del contenido legal y técnico de los contratos con los subcontratistas preseleccionados especializados.

- ✓ No formular las preguntas y consultas sobre las especificaciones técnicas del proyecto con anterioridad.
- ✓ La falta de identificación adecuada de las fuentes de suministro de agua potable para el consumo de la población afectada durante la ejecución de la obra y la fuente de electricidad el uso en las instalaciones de la empresa contratista.
- ✓ Falta de identificación de la distribución del emplazamiento del proyecto para almacenamiento de materiales térreos e insumos diversos.
- ✓ Falta de reuniones de coordinación con el sindicato de trabajadores de Imperial y otros sindicatos y asociaciones existentes en todo el Distrito Imperial.
- ✓ Mala elaboración del análisis de precios unitarios y análisis de gastos generales.
- ✓ Falta de validación de los estudios básicos de ingeniería.
- ✓ Falta de validación de los puntos topográficos.
- ✓ Falta de validación de la ubicación de las canteras y depósitos de material excedente.

Es importante mencionar que las restricciones identificados en la lista anterior pueden ser restricciones causados por factores controlados y factores no controlables al proyecto.

En esta etapa del análisis de restricciones, es importante tener cuidado en los siguientes riesgos negativos (amenazas) como: fallas en las especificaciones técnicas y/o planos, volumen de trabajo mal elaborados, cotizaciones diversas, permisos con la municipalidad, ausencia de fuentes de provisión de agua potable y electricidad, problemas con el sindicato de trabajadores, etc.

- **Paso 2: Decidir cómo EXPLOTAR las restricciones:**

El proyecto “Mejoramiento y aplicación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), distrito de Imperial-Cañete-Lima” fue minuciosamente estudiado en el paso anterior, por los involucrados al proyecto con la finalidad de tener una imagen clara del trabajo a realizar. Esta revisión del proyecto y sus principales

necesidades llevaron a los interesados del proyecto a tomar ciertas acciones para mitigar ciertas restricciones y disminuir la posibilidad de ocurrencia de ciertos eventos negativos, sin utilizar nuevos recursos en dichas medidas, estas medidas fueron las siguientes:

- ✓ Realizar por segunda vez el cálculo de volumen de trabajo de las actividades constructivas más incidentes en costo, tiempo y calidad del proyecto (Excavación en zanja, instalación de tuberías y accesorios, concreto en cámaras e instalación de medidores) con la finalidad de verificar el volumen de trabajo inicial y mitigar el riesgo de haber cometido un error en el cálculo del volumen proyectado de insumos.
- ✓ Volver a cotizar los principales insumos de construcción realizando consultas a varios proveedores con la finalidad de tener una idea clara del costo real actualizado de los materiales que tendrán una mayor participación en nuestro proyecto, como: tuberías PVC, accesorios, válvulas de aire y purga, válvulas de registro, medidores, arena fina, arena gruesa y pinturas, etc.
- ✓ Evaluar las cotizaciones y el contenido legal y técnico de los contratos con los subcontratistas preseleccionados especializados con los cuales realizar varias entrevistas de trabajo. En este caso es fundamental para el equipo de proyecto realizar las entrevistas con varios subcontratistas para cada una de las especialidades (instalación de medidores, montaje e instalaciones de tuberías y accesorios, cámaras de concreto) ya que ellos serán la principal fuente de información para la identificación de riesgos del proyecto debido a su vasta experiencia en proyectos de construcción de agua potable y alcantarillado. Al evaluar a varios posibles subcontratistas no solamente se calificaba el costo de sus servicios sino otras cuestiones de índole técnico como por ejemplo la experiencia como subcontratistas en otros proyectos de similares características y envergadura, la seguridad de la mano de obra ofrecida, la suficiencia de personal especializado para mantener el ritmo de avance planificado para el proyecto según la programación, manejo de cuestiones laborales y/o sindicales y las experiencias y soluciones técnicas ofrecidas por cada subcontratista para llevar a cabo el proyecto de “Mejoramiento y aplicación con sectorización del sistema de distribución de

agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), distrito de Imperial-Cañete-Lima”.

- ✓ Tener reuniones de trabajo con profesionales de la construcción que anteriormente han trabajado en proyectos de construcción de agua potable y alcantarillado, con la finalidad de aprovechar sus experiencias en proyectos pasados e identificar los principales riesgos del proyecto y tomar las medidas adecuadas para mitigar los riesgos que puedan acontecer tomando en cuentas las características especiales de nuestro proyecto.
- ✓ Formular las preguntas y consultas sobre las especificaciones técnicas del proyecto con anterioridad para evitar detener el trabajo en el momento mismo de ejecución de las actividades de construcción. En este caso las principales dudas ocurren por lo general debido a planos incompatibles (no existe coincidencia entre los planos de red de distribución, planos de catastro de la ciudad y con los planos de estructuras de cámaras de concreto e instalaciones) o debido a especificaciones no claras en el expediente técnico. Las consultas fueron enviadas con anticipación al consultor encargado de elaborar determinada especialidad en el proyecto con la finalidad de aclarar las dudas previo al trabajo de construcción.
- ✓ Identificar adecuadamente las fuentes de suministro de agua potable y electricidad para las diferentes instalaciones de la empresa constructora. En este caso se realizaron varias reuniones con la junta de vecinos directamente afectados por el proyecto y se planteó racionalizar el uso de agua de una de las líneas de conducción. Dichas reuniones de coordinación con las juntas vecinales sirvieron para explicar las características operativas del proyecto de construcción y definir las medidas de seguridad a llevar a cabo para las personas que transiten alrededor de las obras a ejecutar en el distrito. Después de haber planificado las fuentes de suministro, se eligieron otras fuentes de abastecimiento cercanas a la zona tomando en cuenta cualquier problema a suscitarse en las fuentes planificadas anteriormente.
- ✓ El análisis espacial del emplazamiento del proyecto, la distribución de la cancha para almacenamiento de materiales térreos e insumos diversos, la

zona de tránsito de los trabajadores, los vestuarios, los servicios higiénicos para los obreros y para el personal administrativo, la zona de estacionamiento de los vehículos de transporte de los proveedores de insumos de construcción, la seguridad del ingreso y salida de los stakeholders (involucrados) en el proyecto; conforman las actividades de la planificación operacional del proyecto y se realizó posteriormente al reconocimiento del terreno (ver figura 4.2).

- ✓ Se sostuvieron varias reuniones de coordinación con el Sindicato de Trabajadores de Imperial y otros sindicatos y asociaciones existentes en todo el Distrito Imperial. Esta organización ya ha venido trabajando en múltiples obras con la empresa prestadora de servicios de agua potable y alcantarillado (EMAPA CAÑETE S.A) por lo que las reuniones fueron más de negociación y de coordinación.
- ✓ Realizar por segunda vez el análisis de precios unitarios del total de las partidas del presupuesto de obra, en base a lo establecido en las especificaciones técnicas respectivas.
- ✓ Revisar si el análisis del desagregado de gastos generales se encuentra dentro de los parámetros establecidos y si se encuentran todos los ítems necesarios para culminar con la ejecución de la obra.
- ✓ Establecer el visto bueno de los estudios de suelos, de cantera, geológico, topográficos, etc. que justifiquen los diseños ejecutados.
- ✓ Revisar si el expediente técnico tiene la información completa de los BMs. necesarios con sus cotas respectivas, así como revisar en campo si las cotas que indica el expediente técnico coinciden con los correspondientes en el expediente técnico, correspondiente a las líneas de conducción, aducción, colectoras, efluentes y emisoras, así como de los terrenos donde se van a sostener las estructuras de concreto correspondientes, los cuales van a determinar los metrados reales de explanaciones a realizar en obra.

- ✓ Revisar si el expediente técnico indica el lugar preciso de las canteras para materiales de rellenos, así como también la zona exacta de los botaderos para los materiales excedentes.

Todas estas restricciones, ya han sido, identificados y evaluados adecuadamente, pasando por un proceso de planificación de respuestas para mitigarlos y minimizarlos, por lo cual ya no son tomados en cuenta durante las siguientes etapas de la gestión de contingencias, pero sí vienen a formar parte de la etapa de supervisión y control de restricciones, con la finalidad de sacarle el máximo provecho a estas restricciones.

Sin embargo, Luego de haber estudiado y evaluado intuitivamente las posibles restricciones, con lo cual se está minimizando los posibles factores que llevaría al fracaso lograr la meta del sistema, aún existen restricciones durante la fase de planificación de obra no se puede eliminar o mitigar, estas restricciones son causados por los factores no controlables al proyecto. Por ende, se decidió estructurar con los interesados del proyecto una relación con los siguientes puntos fundamentales:

- ✓ Problema contractual con el proveedor o subcontratista.
- ✓ Incremento del precio de insumos y materiales de construcción.
- ✓ Falla en el suministro de materiales por parte del proveedor.
- ✓ Accidentes en obra por falta de seguridad en la construcción.
- ✓ Marcha de trabajadores o huelga sindical.
- ✓ Baja productividad de la mano de obra y/o equipo.
- ✓ Baja calidad de la construcción por falta de control de los procedimientos constructivos.

La lista anterior contiene siete de las restricciones más frecuentes en los proyectos de construcción de agua potable y alcantarillado en nuestro medio, las cuales fueron determinados en base a la experiencia del equipo de la gerencia de ingeniería de EMAPA CAÑETE S.A y diferentes ingenieros especialistas en el tema.

Además, se identificó riesgos positivos u oportunidades del proyecto durante el proceso constructivo. Como ya se ha mencionado en un punto anterior, los riesgos no son necesariamente eventos negativos, si no que pueden representar ventajas y oportunidades para el equipo de proyecto y la consecución de los objetivos del mismo:

- ✓ Ventaja u oportunidad por incumplimiento del subcontratista.
- ✓ Disminución del precio de insumos o materiales de construcción.
- ✓ Alta productividad de la mano de obra y/o equipo.
- ✓ Mejoramiento de procedimientos constructivos a través de innovaciones tecnológicas en la construcción.

- **Paso 3: SUBDORDINAR todo lo demás a las restricciones:**

En este paso llegamos a un estado en el que estamos manejando la situación actual. Existen tres aspectos fundamentales que definen las características esenciales de cualquier tipo de proyecto: costo del proyecto, tiempo de realización del proyecto y las especificaciones técnicas del proyecto.

Estas tres variables son fundamentales para el control y el éxito de todo proyecto durante la etapa de construcción. Si bien la tercera variable, las especificaciones técnicas del proyecto, no es predecible a un nivel de detalle aceptable, sin embargo, la variable costo del proyecto forma parte de un presupuesto, mientras que la segunda variable, el tiempo de ejecución del proyecto, es parte de una programación preliminar desarrollada en el ciclograma y en base a dichos datos iniciales podremos formular un modelo estadístico según las características específicas del proyecto en cuestión.

Pero la variable de tiempo de ejecución del proyecto ya está controlada con la programación realizada en base a los fundamentos de la construcción en cadena, por lo que solo analizaremos el costo directo de la obra. Por lo tanto, la variable que forma parte de los datos de entrada de nuestra simulación será: la curva de distribución probabilística del costo directo de la obra. Con la cual se manejarán las restricciones en base al objetivo global planteado para el proyecto.

Después de haber analizado los costos parciales de las diferentes operaciones simples de la cadena de construcción, se determinó realizar un análisis cualitativo y cuantitativo de riesgos solamente a ciertas operaciones o cadenas especializadas del objeto de construcción. Estas operaciones o cadenas especializadas son:

- Excavación en zanja.
- Montaje y colocación de tuberías y accesorios.
- Instalación de medidor.
- Cámaras de concreto.

La elección de estas operaciones fue en base a los resultados de haber aplicado el Principio de Pareto, Estas operaciones son los que más costo directo poseen.

El análisis cuantitativo de riesgos se realizará tomando en cuenta una serie de factores que podrían inducir variabilidad del costo proyecto (de acuerdo a lo establecido en el paso 2) durante la etapa de construcción.

- **Paso 4: ELIMINAR la restricción:**

Una vez sincronizado el funcionamiento del sistema o los procesos constructivos del proyecto conviene empezar a superar las condiciones impuestas por la restricción, por ejemplo, implementando la metodología de gestión de riesgos nos permitirá tener datos objetivos sobre lo que realmente está sucediendo con las restricciones que no han sido mitigados en el paso 2.

Las operaciones que fueron objeto de un análisis cualitativo preliminar en el cual se evaluó los posibles riesgos (positivos y negativos) de cada una de ellas, tomando en cuenta una serie de factores como: seguridad en la construcción, eficiencia del proveedor, huelgas de trabajadores, problemas con el sindicato, control de calidad de procedimientos constructivos, alza en el precio de los insumos de construcción, baja productividad de la mano de obra, modificaciones o problemas contractuales, etc.

Dicho análisis cualitativo nos permitirá obtener un valor del impacto del riesgo en el costo de las diferentes operaciones en caso de ocurrencia. Dicho valor puede aumentar el costo de la operación (amenaza o evento negativo) o disminuir el costo de la misma (oportunidad o evento positivo). Dependiendo de las características de las operaciones u objetos de construcción y de las condiciones contractuales, técnicas o laborales en medio de la cual se ejecuta determinado proceso constructivo, se realiza el ajuste de la curva de distribución del costo directo de la operación tomando en cuenta el impacto del riesgo en el costo de la operación en caso que llegue a ocurrir.

Las características del modelo de simulación, así como la explicación de la determinación de la forma y características probabilísticas de las curvas de distribución del costo de las operaciones más incidentes en el presupuesto estimado serán explicadas con mayor detalle en la sección 4.4.4.

Para determinar si el costo de operación aumento o disminuye se realizó el análisis cuantitativo de riesgos por medio de la simulación de Monte Carlo en base a la metodología de gestión de riesgos planteado en la tesis “modelo de gestión de riesgos para proyectos de construcción en el Perú”, por Willy R. Vílchez Chuman en el año 2006.

Con la determinación de valor de costo de contingencia (aumento o disminución), la empresa EMAPA CAÑETE S.A podrá contar con el monto de dinero necesario para finalizar la construcción del proyecto dentro de los plazos establecidos en el contrato, generado por eventos imprevistos o factores no controlables al proyecto.

- **Paso 5: Si se eliminó la restricción, regresar al Paso 1:**

Una vez estimada el valor del costo de riesgo del proyecto, con la cual se eliminaron muchos factores que afectarían el cumplimiento de la meta, se identificaron nuevas restricciones como las restricciones técnicas y para seguir mejorando el sistema, se volvió a iniciar todos los pasos iterativamente para conseguir el mejoramiento del sistema entero.

Estas restricciones técnicas conocidas como "tiempos tecnológicos" deben ser consideradas al momento de ejecutar y programar una obra. Por ejemplo, para iniciar la pintura de los muros de las cámaras de control de ingreso, las paredes deben haber sido empastados con anterioridad y se debe esperar un lapso de tiempo determinado (según las características del empaste) para que la pintura se adhiera adecuadamente. Lo mismo ocurre con el desencofrado del fondo de los muros y losa de techo de las cámaras de concreto y cámaras de reducción de presión. Cada uno de estos elementos tiene un tiempo mínimo de encofrado a partir del día de vaciado, que depende de las características de la estructura de concreto. En el proyecto los tiempos de permanencia del encofrado es de un día, tiempo necesario de fraguado del concreto.

#### 4.4.4. Aplicación de la teoría de riesgos

Luego de identificar las diferentes restricciones o riesgos que podrían llevar al fracaso los diferentes objetivos planteados<sup>27</sup> durante la ejecución de la obra. Contar con una metodología para manejar las oportunidades y amenazas que se podría generar durante el proceso de construcción, tendría un impacto positivo en la administración de nuestras obras, ya que se tendría herramientas para disuadir las incertidumbres que existe en todo proyecto. Manejando de una manera sistémica los procesos orientados a identificar, analizar y responder a los riesgos del proyecto. De esta manera, el director del proyecto podrá enfocarse en las operaciones críticas y más riesgosas del proyecto, teniendo ya planificado quiénes participarán en los procesos ya definidos de prevención, mitigación y control de riesgos en dichos eventos, mejorando de una manera eficaz la consecución de los objetivos del proyecto en cuanto a costo, calidad y tiempo, y disminuyendo considerablemente las actividades de "apagar incendios" cada vez que se presente un evento inesperado (Mallma, 2011).

El proceso de análisis cuantitativo de riesgos tiene por objetivo analizar numéricamente la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo y sus consecuencias en los objetivos planteado del proyecto, así como también determinar la magnitud del riesgo total del proyecto, los diferentes riesgos que se

---

<sup>27</sup> Costo, Tiempo y calidad.

van a analizar se evaluarán en base a la relación que se elaboró en el paso 3 de pensamiento sistémico. Para desarrollar este proceso de análisis cuantitativo se pueden usar una serie de herramientas como la simulación de Monte Carlo.

#### 4.4.4.1. Simulación de Monte Carlo

La simulación de Monte Carlo es una metodología que combina conceptos estadísticos (muestreo aleatorio) con la capacidad que tienen las computadoras para generar números aleatorios y automatizar cálculos. La simulación de Monte Carlo posee múltiples aplicaciones en infinidad de ámbitos como alternativa de solución a los modelos matemáticos exactos o incluso como único medio de estimar soluciones para problemas complejos (Mallma M., 2011). Es así que, hoy en día es posible encontrar modelos que hacen uso de simulación Monte Carlo en las áreas informática, empresarial, económica, industrial e incluso social. En otras palabras, el modelo de simulación de Monte Carlo está presente en todos aquellos ámbitos en los que el comportamiento probabilístico o aleatorio desempeña un papel fundamental en el cálculo de resultados aleatorios. Precisamente, el nombre de Monte Carlo proviene de la ciudad de Mónaco, donde abundan los casinos y conocido por sus juegos del azar, la probabilidad y el comportamiento aleatorio conforman todo un estilo de vida.

Existen innumerables trabajos de investigación en diversas ramas del conocimiento humano que han utilizado hojas de cálculo para realizar simulación Monte Carlo. La capacidad de las hojas de cálculo reside en su facilidad de uso, en su universalidad, en su capacidad para recalcular valores y, sobre todo, en las posibilidades que tiene con respecto al análisis de diversos escenarios.

El método de Monte Carlo proporciona soluciones aproximadas a una gran variedad de problemas matemáticos posibilitando la realización de experimentos con muestreos estadísticos en una computadora (Vilchez, 2006). El método se puede aplicar a cualquier tipo de problema, ya sea estocástico o determinístico. El método de Monte Carlo es una herramienta de investigación y planeamiento; fundamentalmente es una técnica de muestreo artificial, utilizado para operar numéricamente sistemas complejos que tengan componentes aleatorios.

Por lo tanto, las entradas de una simulación de Monte Carlo están conformadas por una serie de distribuciones de probabilidad de una o varias partes del sistema en estudio que al ser interrelacionadas por medio de la generación de números aleatorios dan como resultado una distribución de probabilidad de salida que viene a ser el resultado de la ejecución de la simulación del sistema entero.

#### 4.4.4.2. *Parámetros de entrada al modelo matemático*

- Encontrar un problema del mundo real. En nuestro caso el problema consiste en determinar el desempeño final del objeto de construcción, en cuanto a costo de ejecución.
- Elaborar un modelo matemático referente al problema, identificando variables dependientes e independientes y planteando hipótesis lo suficientemente sencillos para tratarse de manera matemática. Las variables independientes son los valores de impacto y de probabilidad de ocurrencia de los eventos de riesgo, que nos permiten tener el criterio adecuado para ajustar las curvas de distribución respectiva. Las variables dependientes son esas curvas de distribución de las actividades u operaciones del objeto de construcción que son fáciles de predecir y a las cuales se les ha diseñado una curva de distribución de su posible costo de ejecución.
- Utilizar los conocimientos matemáticos que se conocen para llegar a conclusiones matemáticas. Esto se realiza mediante la ejecución de la simulación del modelo matemático al costo del objeto de construcción a partir de números aleatorios.

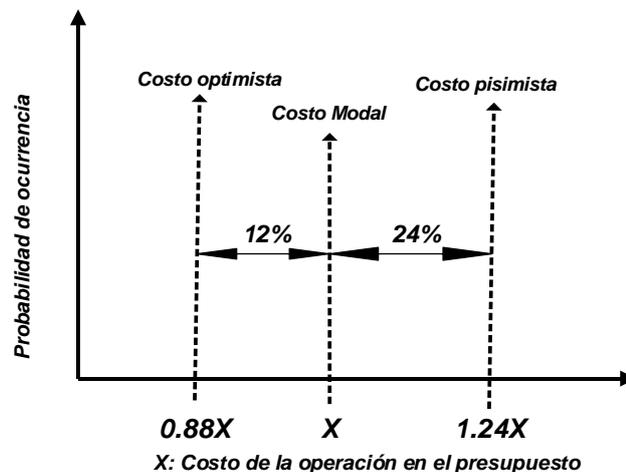
Es importante recalcar que un modelo matemático no es del todo exacto, y peor aun tratándose de problemas de la vida real, de hecho, se trata de una idealización de la realidad.

Hay una gran cantidad de funciones que representan relaciones observadas en el mundo real. Para este caso se ha optado por utilizar FUNCIONES TIPO BETA para la mayoría de las entradas de la simulación debido a las características probabilísticas de ocurrencia del costo de ejecución de las operaciones dentro del objeto de construcción.

#### 4.4.4.3. *Parámetros de la función probabilidad: Impacto y Probabilidad de ocurrencia.*

En la evaluación de riesgos, algunos riesgos pueden mitigarse mediante condicionamientos en la oferta que transfieran el riesgo, total o parcialmente. Esta transferencia se da al cliente, a los subcontratistas, a las aseguradoras, etc. Cuando no se puede realizar lo antes mencionado, es común incluir contingencias económicas para cubrir, al menos parcialmente, el posible incremento de algunos de los costos estimados en el presupuesto. ¿Cuál es el porcentaje que debería tomarse en cada caso para obtener un adecuado equilibrio entre el costo final de la obra y el grado de mitigación del riesgo?

Esta pregunta la responderemos con un ejemplo: Después de realizar el análisis de una operación determinada se encontró que en el caso más optimista se produciría una disminución del 12% del costo de dicha operación, mientras que en el caso más pesimista generaría el incremento en un 24% del valor total de dicha operación. Por lo tanto, se tiene el siguiente grafico para nuestra curva de distribución de probabilidades:



**Figura 4.10:** Distribución de probabilidad  
Fuente: Vílchez W., 2006

Del gráfico nuestra meta es conseguir los dos valores extremos: 0.88 y 1.24 (88% y 124%).

Por consiguiente, para evaluar el posible incremento del costo directo de las diferentes operaciones seleccionadas de nuestro objeto de construcción en estudio, deberemos obtener los valores de impacto de cada riesgo, dependiendo

si se trata de una oportunidad (donde el costo de cada operación disminuye) o de una amenaza (donde se incrementa el costo de cada operación).

Para calcular estas variaciones es necesario designar funciones de probabilidad al costo directo de cada una de las operaciones que pueden introducir más variabilidad al costo final del proyecto. Estos costos probabilísticos, representados por curvas de distribución, sirven para generar múltiples simulaciones, que nos permiten determinar la probabilidad de terminar el proyecto en un rango de costos previsto. Este método se denomina Método de Simulación de Monte Carlo.

La importancia de un riesgo está determinada por dos de sus elementos: su Probabilidad de Ocurrencia y el Impacto del Riesgo. El impacto del riesgo puede ser negativo (amenaza) o positivo (oportunidad). A continuación, se muestra la tabla 4.18 donde se cuantifican los valores de impacto según su influencia en los objetivos del proyecto.

**Tabla 4.18** Definición de escalas de impacto

Condiciones Definidas para las Escalas de Impacto de un Riesgo sobre los Principales Objetivos del Proyecto (Sólo se muestran ejemplos para impactos negativos)					
Objetivo del Proyecto	Se muestran escalas relativas o numéricas				
	Muy bajo /0,05	Bajo /0,10	Moderado /0,20	Alto /0,40	Muy alto /0,80
<b>Costo</b>	Aumento del costo insignificante	Aumento del costo < 10%	Aumento del costo del 10 - 20%	Aumento del costo del 20 - 40%	Aumento del costo > 40%
<b>Tiempo</b>	Aumento del tiempo insignificante	Aumento del tiempo < 5%	Aumento del tiempo del 5 - 10%	Aumento del tiempo del 10 - 20%	Aumento del tiempo > 20%
<b>Alcance</b>	Disminución del alcance apenas perceptible	Áreas secundarias del alcance afectadas	Áreas principales del alcance afectadas	Reducción del alcance inaceptable para el patrocinador	El elemento final del proyecto es efectivamente inservible
<b>Calidad</b>	Degradación de la calidad apenas perceptible	Sólo se ven afectadas las aplicaciones muy exigentes	La reducción de la calidad requiere la aprobación del patrocinador	Reducción de la calidad inaceptable para el patrocinador	El elemento final del proyecto es efectivamente inservible
Esta tabla muestra ejemplos de definiciones del impacto de los riesgos para cuatro objetivos diferentes del proyecto. Deben adaptarse al proyecto individual y a los umbrales de riesgo de la organización durante el proceso de Planificación de la Gestión de los Riesgos. De forma similar, pueden desarrollarse definiciones del impacto para las oportunidades.					

**Fuente:** Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos, 5ta Edición 2013-pag. 317

Para el caso de la probabilidad la Guía De Los Fundamentos de la Dirección de Proyectos, 5ta Edición 2013, recomienda usar una escala relativa que represente

los valores de probabilidad desde "muy improbable" hasta "casi certeza" en base a una escala general, por ejemplo: 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9

A Los riesgos se priorizan según sus posibles implicaciones en las diferentes operaciones para lograr el éxito del proyecto.

Se utilizó el método común para priorizar los riesgos. En la tabla de búsqueda o matriz de Probabilidad e Impacto (Ver tabla 4.19) se busca los valores del impacto y probabilidad.

**Tabla 4.19** Matriz de probabilidad e impacto

<b>Matriz de Probabilidad e Impacto</b>										
<b>Probabilidad</b>	<b>Amenazas</b>					<b>Oportunidades</b>				
<b>0,90</b>	0,05	0,09	0,18	0,36	0,72	0,72	0,36	0,18	0,09	0,05
<b>0,70</b>	0,04	0,07	0,14	0,28	0,56	0,56	0,28	0,14	0,07	0,04
<b>0,50</b>	0,03	0,05	0,10	0,20	0,40	0,40	0,20	0,10	0,05	0,03
<b>0,30</b>	0,02	0,03	0,06	0,12	0,24	0,24	0,12	0,06	0,03	0,02
<b>0,10</b>	0,01	0,01	0,02	0,04	0,08	0,08	0,04	0,02	0,01	0,01
	0,05/ Muy Bajo	0,10/ Bajo	0,20/ Moderado	0,40/ Alto	0,80/ Muy Alto	0,80/ Muy Alto	0,40/ Alto	0,20/ Moderado	0,10/ Bajo	0,05/ Muy Bajo

Impacto (escala numérica) sobre un objetivo (p.ej., costo, tiempo, alcance o calidad)  
 Cada riesgo es calificado de acuerdo con su probabilidad de ocurrencia y el impacto sobre un objetivo en caso de que ocurra. Los umbrales de la organización para riesgos bajos, moderados o altos se muestran en la matriz y determinan si el riesgo es calificado como alto, moderado o bajo para ese objetivo.

**Fuente:** Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos, 5ta Edición 2013-pag. 331

Al observar la tabla 4.19 se aprecia que el riesgo se obtiene al multiplicar:

$$\mathbf{Riesgo = Impacto \times Probabilidad}$$

Cada una de las operaciones de la construcción en cadena del proyecto "Mejoramiento y ampliación con sectorización del sistema de distribución de agua potable de la localidad de Imperial (Esquema Imperial), Distrito de Imperial - Cañete", fue analizada tomando en cuenta las características de su realización o ejecución, es decir si es una operación que será íntegramente subcontratada, si es una operación cuyo subcontrato solo incluirá los servicios de ejecución de

mano de obra o si es una operación cuya ejecución estará a cargo de los trabajadores del contratista principal.

Las operaciones más importantes del proyecto y su respectiva clasificación según la probabilidad existente de sufrir una variación significativa de costo, se resume a continuación en la tabla 4.20.

**Tabla 4.20** Principales operaciones de proyecto

Nombre de la operación	Subcontrato de mano de obra	Subcontrato a todo costo	Operaciones desarrolladas por el subcontratista	Simulación
Excavación de zanja			x	Monte Carlo
Montaje y colocación de tuberías y accesorios			x	Monte Carlo
Instalación de medidor	x			Monte Carlo
Cámaras de concreto		x		Monte Carlo

Fuente: Adaptado de Vilchez W. (2006) & Mallma M., (2011)

Para nuestro caso, de la asignación de costos directos, podemos observar las operaciones que tienen mayor incidencia en el presupuesto de la obra son:

- Excavación de zanja.
- Montaje y colocación de tuberías y accesorios.
- Instalación de medidor.
- Cámaras de concreto.

Cada una de estas operaciones del presupuesto del proyecto, fue analizada considerando 3 aspectos:

- Operación íntegramente subcontratada
- Operación subcontratada la mano de obra
- Operación de ejecución propia.

De los tres aspectos, el riesgo de aumento del costo directo se incrementa si es que su ejecución es propia, siempre y cuando contractualmente sea a todo costo.

Por otra parte, la mano de obra propia, puede estar estandarizada y acompañada de una alta eficiencia, que compensarla aquel riesgo. Mientras que un subcontrato puede caer en reprocesos, mal uso de materiales, incidentes laborales etc. Y como consecuencia repercutiera en los costos indirecto, y plazo de obra, etc. Por lo tanto, cada una de las operaciones será sometido a éste tipo de análisis y a la vez serán afectados de un factor probabilístico para finalmente aplicarlas una simulación probabilística (Análisis de Montecarlo) para ver si el valor es significativo en la variación que sufre su costo.

Líneas abajo, se realiza un resumen del análisis de riesgo cualitativo para las operaciones más críticas del proyecto, las cuales fueron sometidas a la simulación de Monte Carlo.

**Tabla 4.21** Impacto positivo en el costo directo del proyecto

IMPACTO POSITIVO EN EL COSTO	ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO				IMPACTO POSITIVO
	OPERACIONES	Subcontrato (Oportunidad contractual)	Disminución del precio de insumos	Alta productividad de la mano de obra	
Instalación de medidor	0.05	0.00	0.00	0.00	<b>0.05</b>
Montaje y colocación de tuberías y accesorios	0.00	0.00	0.05	0.20	<b>0.25</b>
Cámaras de concreto	0.05	0.00	0.00	0.05	<b>0.10</b>
Excavación de zanja	0.00	0.00	0.00	0.00	<b>0.00</b>

\*Valores extraídos de la tabla 4.18

FUENTE: Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos, 5ta Edición 2013

**Tabla 4.22** Probabilidad de ocurrencia de las oportunidades en el costo directo de las operaciones del proyecto.

PROBABILIDAD EN EL COSTO	ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO			
	OPERACIONES	Subcontrato (Oportunidad contractual)	Disminución del precio de insumos	Alta productividad de la mano de obra
Instalación de medidor	0.30	0.00	0.00	0.00
Montaje y colocación de tuberías y accesorios	0.00	0.00	0.10	0.30
Cámaras de concreto	0.10	0.00	0.00	0.10
Excavación de zanja	0.00	0.00	0.00	0.00

- Valores extraídos de la tabla 4.19

FUENTE: Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos, 5ta Edición 2013

**Tabla 4.23** Análisis cualitativo de las oportunidades en el costo del proyecto.

OPORTUNIDAD EN EL COSTO DIRECTO DEL PROYECTO	ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO				IMPACTO POSITIVO	NIVEL DE OPORTUNIDAD
	OPERACIONES	Subcontrato (Oportunidad contractual)	Disminución del precio de insumos	Alta productividad de la mano de obra		
Instalación de medidor	0.015	0.00	0.00	0.00	0.015	Bajo
Montaje y colocación de tuberías y accesorios	0.00	0.00	0.005	0.06	0.065	Medio
Cámaras de concreto	0.005	0.00	0.00	0.005	0.010	Bajo
Excavación de zanja	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Bajo

- Valores obtenidos al multiplicar los impactos de la la tabla 4.21 y las probabilidades de ocurrencia de la tabla 4.22

FUENTE: Guía de los fundamentos de la dirección de proyectos, 5ta Edición 2013.

**Tabla 4.24** Impacto negativo en el costo directo del proyecto.

IMPACTO NEGATIVO EN EL COSTO	ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO							IMPACTO PESIMISTA
	OPERACIONES	Subcontrato (Oportunidad contractual)	Incremento del precio de insumos	Confiabilidad del proveedor (Falla)	Seguridad en la construcción (Accidente)	Sindicato (Huelga)	Baja productividad de la mano de obra.	
Instalación de medidor	0.10	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.10	<b>0.50</b>
Montaje y colocación de tuberías y accesorios	0.05	0.00	0.05	0.10	0.05	0.05	0.05	<b>0.35</b>
Cámaras de concreto	0.10	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05	0.10	<b>0.50</b>
Excavación de zanja	0.10	0.00	0.00	0.05	0.00	0.05	0.10	<b>0.30</b>

• Valores extraídos de la tabla 4.18

FUENTE: Guía de los Fundamentos de la Dirección De Proyectos, 5ta Edición 2013

**Tabla 4.25** Probabilidad de ocurrencia de las amenazas en el costo directo de La operaciones del proyecto.

PROBABILIDAD EN EL COSTO (AMENAZA)	ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO						
	OPERACIONES	Subcontrato (Oportunidad contractual)	Incremento del precio de insumos	Confiabilidad del proveedor (Falla)	Seguridad en la construcción (Accidente)	Sindicato (Huelga)	Baja productividad de la mano de obra.
Instalación de medidor	0.10	0.70	0.30	0.50	0.50	0.10	0.90
Montaje y colocación de tuberías y accesorios	0.90	0.00	0.90	0.70	0.90	0.90	0.90
Cámaras de concreto	0.50	0.10	0.30	0.30	0.50	0.30	0.50
Excavación de zanja	0.70	0.00	0.10	0.30	0.50	0.10	0.30

• Valores extraídos de la tabla 4.19

FUENTE: Guía de los Fundamentos de la Dirección De Proyectos, 5ta Edición 2013

**Tabla 4.26** Probabilidad de ocurrencia de las amenazas en el costo directo de La operaciones del proyecto.

AMENAZA EN EL COSTO DEL PROYECTO	ESTRUCTURA DE DESGLOSE DEL RIESGO							IMPACTO PESIMISTA	NIVEL DE IMPACTO
	OPERACIONES	Subcontrato (Oportunidad contractual)	Incremento del precio de insumos	Confiablez del proveedor (Falla)	Seguridad en la construcción (Accidente)	Sindicato (Huelga)	Baja productividad de la mano de obra.		
Instalación de medidor	0.001	0.035	0.015	0.05	0.002	0.005	0.09	<b>0.1985</b>	<b>ALTA</b>
Montaje y colocación de tuberías y accesorios	0.045	0.00	0.045	0.07	0.045	0.045	0.04	<b>0.295</b>	<b>ALTA</b>
Cámaras de concreto	0.05	0.005	0.015	0.03	0.025	0.015	0.05	<b>0.19</b>	<b>ALTA</b>
Excavación de zanja	0.07	0.00	0.00	0.01	0.025	0.00	0.01	<b>0.115</b>	<b>MEDIA</b>

- Valores obtenidos de multiplicar los impactos de la tabla 4.24 y las probabilidades de ocurrencia de la tabla 4.25

FUENTE: Guía de los Fundamentos de la Dirección De Proyectos, 5ta Edición 2013

Para cada uno de los riesgos dependiendo de las operaciones elegidas para ejecutar la simulación de Monte Carlo se debe establecer la probabilidad de ocurrencia, dependiendo si se trata de una oportunidad o de una amenaza, así como se ha realizado el análisis para el impacto de cada riesgo.

**Tabla 4.27** Cuantificación de la probabilidad de ocurrencia de un riesgo

EXPRESIÓN VERBAL	PROBABULIDAD
Seguro	100%
Muy alta	90%
Alta	80%
Probable	70%
Más que el promedio	60%
Mitad y mitad	50%
Poco probable	40%
Muy poco probable	30%
No se cree	20%
Improbable	10%
Imposible	0%

Fuente: Adaptado de Mallma M., (2011)

Para el caso de las cuatro operaciones que presentan mayor incidencia en el presupuesto del proyecto, adoptaremos un criterio moderado para cuantificar la

probabilidad de ocurrencia de un riesgo, en base al diseño del modelo cuantitativo de la curva de distribución de probabilidad.

#### 4.4.4.4. *Diseño del modelo de la curva de distribución de probabilidad*

Conociendo la probabilidad de ocurrencia adoptada y los impactos optimista y pesimista en el costo directo, procedemos a construir su respectiva curva de distribución probabilística.

Escogemos la operación de instalación de medidores, como ejemplo para el diseño del modelo de la curva de distribución probabilística del costo de dicha operación. Las demás operaciones se realizarán exactamente el mismo proceso de diseño.

Verificando la tabla de impacto positivo (oportunidad) en el costo directo del proyecto, notamos que esta operación tiene los siguientes valores: 0.05, 0.00, 0.00, 0.00. Estos valores corresponden a las situaciones optimistas de Oportunidad contractual, Disminución del precio de insumos, Alta productividad de la mano de obra y/o equipo y Mejoramiento de procedimientos constructivos respectivamente.

El caso óptimo se daría si es que estas cuatro situaciones se presenten a la vez, lo que significaría un impacto positivo de 0.05. Esto significa que si ocurren estas cuatro oportunidades a la vez la reducción de costos dentro de dicha partida alcanzaría el 5%. Es decir que el costo considerado en el presupuesto para la operación de instalación de medidores se reduciría en un 5% o lo que es lo mismo, el costo sería tan sólo el 95% del valor estimado para esta operación.

Verificando la tabla de impacto negativo (amenaza) en el costo directo del proyecto, visualizamos que la operación de instalación de medidor tiene los siguientes valores: 0.10, 0.05, 0.05, 0.10, 0.05, 0.05, 0.10.

Estos valores corresponden a las situaciones pesimistas de Problema contractual, Incremento del precio de insumos, Falla del proveedor, Accidente en

obra, Huelga de trabajadores, Baja productividad y Falla en el procedimiento constructivo respectivamente.

El caso más pesimista se daría si es que estas siete situaciones se presenten simultáneamente, lo que significaría un impacto negativo de 0,50. Esto significa que si ocurren estas siete amenazas a la vez el incremento de costos dentro de dicha operación alcanzaría el 50% o el costo sería del 150% del valor estimado.

Por lo tanto, tenemos que para la operación de instalación de medidor el caso más óptimo produciría una disminución del 5% del costo de dicha operación, mientras que el caso más pesimista generaría el incremento en un 50% del valor total de dicha operación. Por lo tanto, tendremos el esquema de la figura 4.11 para nuestra curva de distribución de probabilidades para esta operación.

Recordar que el valor que aparece en nuestro presupuesto para cada operación viene a ser el valor modal de nuestro modelo. La razón por la cual se elige como costo modal al costo presupuestado, es porque la MODA se define como EL VALOR NUMERICO DE MAYOR FRECUENCIA ABSOLUTA DENTRO DE UNA POBLACION. También se define como EL VALOR MAS RECURRENTE DEL CONJUNTO. Es por esto que para nuestro modelo matemático la moda representa el valor más representativo (el que más se repite) y no el promedio como muchos creen. Si nosotros creemos que el costo presupuestado de cada operación viene a ser el promedio de los valores posibles, entonces estamos tomando en cuenta todas las variaciones excesivas de los datos y por lo tanto nuestro modelo nos inducirá a error.

Dependiendo si la variación del costo es muy alta, alta, media, baja o muy baja, la probabilidad del costo modal tendrá cinco valores posibles. Las cuáles serán utilizados para representar la probabilidad de ocurrencia del costo modal de acuerdo a la intensidad de dicha variable.

**Tabla 4.28** Probabilidad de ocurrencia del costo modal

Expresión verbal	Probabilidad
Variación muy alta	10%
Variación alta	20%

Expresión verbal	Probabilidad
Variación media	30%
Variación baja	40%
Variación muy baja	50%

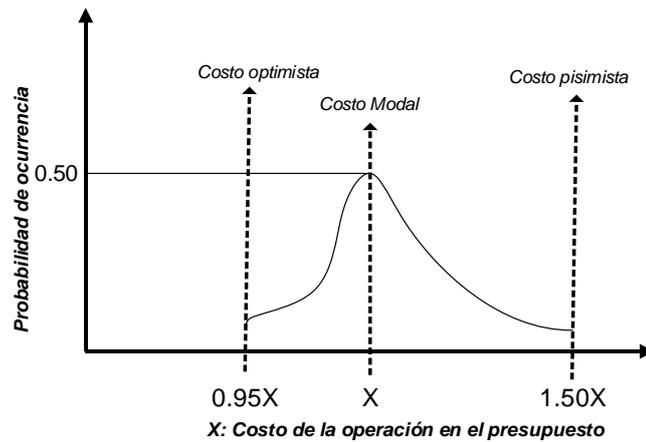
FUENTE: Risk management research and development program, 2002

Estos cinco valores nacen de la clasificación de cinco tipos de densidades de probabilidad dados en el documento denominado "Universal Risk Project Final Report" elaborado por el Risk Management Research and Development Program los mismos que son producto de diversas investigaciones realizadas en diversos proyectos (Vílchez W., 2006).

Para el caso de la operación de instalación de medidor, debido a que tiene una variación media de valores en cuanto a costo, le asignaremos una probabilidad de ocurrencia de 30% a su costo modal. Por lo tanto, la forma de la curva que va ir tomando será una distribución BETA, es decir una campana sesgada hacia la izquierda (Figura 4.11).

La mayoría de curvas de distribución tienen la forma de una CURVA BETA, sin embargo, la operación de excavación de zanja, debido a las características de su subcontrato, la empresa contratista principal debe entregar al subcontratista un mínimo costo por el trabajo total realizado y si en caso existen vicios ocultos o problemas adicionales durante el trabajo, ambas empresas deben asumir los costos adicionales. Esto quiere decir que dichas operaciones tienen un costo mínimo pudiendo incrementar el pago final por parte del contratista principal dependiendo de las condiciones de ejecución de las operaciones. Para esto la oportunidad de optimizar el costo de dicha operación es CERO, mientras que el riesgo que tienen dichas operación de generar sobrecostos con respecto al costo presupuestado previamente es relativamente alto. Por tanto, la forma de la curva resultante es una hipérbola decreciente (ver Figura 4.14).

Finalmente, se muestra las gráficas de cada uno de las operaciones consideradas para su análisis de cuantificación de riesgos.

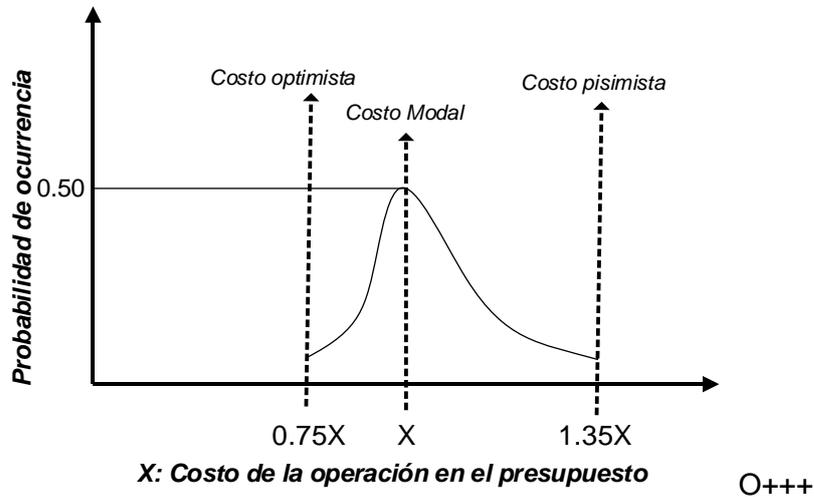


**Figura 4.11:** Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación  
 Instalación de Medidor

**Fuente:** Adaptado de Vílchez W. (2006) & Mallma M., (2011)

Instalación de medidor:

Costo de la operación instalación de medidores:	S/	1,050,045.00
Costo optimista (Oportunidad):	S/	997,542.75
Costo pesimista (Amenaza)	S/	1,575,067.50

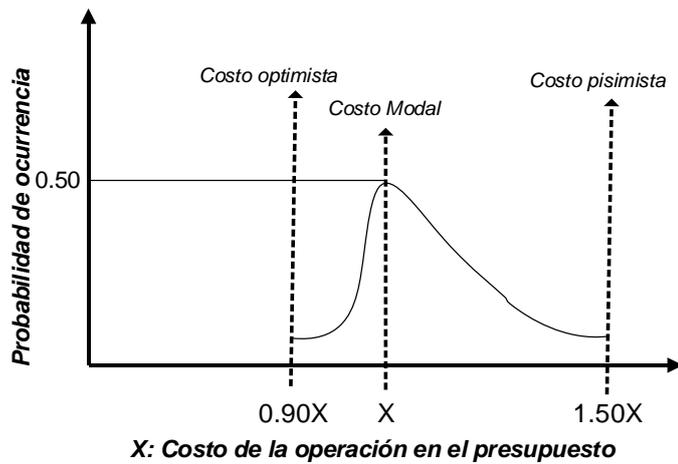


**Figura 4.12:** Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación  
 Montaje y colocación de tuberías y accesorios.

**Fuente:** Adaptado de Vílchez W. (2006) & Mallma M., (2011)

Montaje y colocación de tuberías y accesorios:

Costo de la operación montaje y colocación de tuberías y accesorios:	S/	1,332,322.96
Costo optimista (Oportunidad):	S/	999,242.22
Costo pesimista (Amenaza)	S/	1,798,636.00

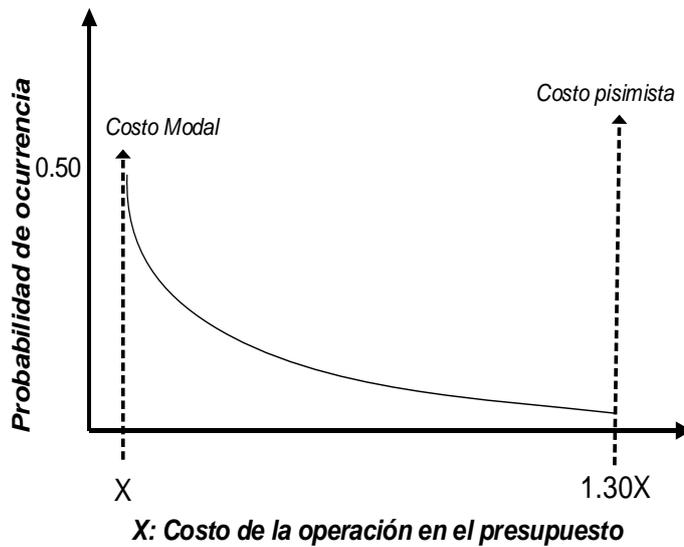


**Figura 4.13:** Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación  
 Cámaras de concreto.

**Fuente:** Adaptado de Vílchez W. (2006) & Mallma M., (2011)

Cámaras de concreto:

Costo de cámaras de concreto:	S/	593,608.83
Costo optimista (Oportunidad):	S/	534,247.95
Costo pesimista (Amenaza)	S/	890,413.25



**Figura 4.14:** Modelo de distribución de probabilidades del costo directo de la operación  
 Excavación de zanja.

**Fuente:** Adaptado de Vílchez W. (2006) & Mallma M., (2011)

Excavación de zanja:

Costo de la operación de excavación de zanja:	S/	240,095.65
Costo optimista (Oportunidad):	S/	240,095.62
Costo pesimista (Amenaza)	S/	312,124.35

## 4.4.4.5. Costo estimado de riesgo

Con los costos optimistas y pesimista, aplicamos la simulación de Monte Carlo y obtenemos los siguientes datos (ver tabla 4.29)

Tabla 4.29 Variable de riesgo en los costos

ANÁLISIS DE PROBABILIDAD DE COSTO					
Variable independiente	Costo Directo	Oportunidad	Amenaza	increment.	valor Var.
excavación de zanja	240,095.65	240,095.65	312,124.35	180.07	248,378.95
montaje y col. De tub. Y acc.	1,332,322.96	999,242.22	1,798,636.00	366.39	1,333,855.13
cámaras de concreto.	593,608.83	534,247.95	890,413.25	178.08	616,344.04
Instalación de medidores	1,050,045.00	997,542.75	1,575,067.50	315.01	1,337,547.32

FUENTE: Elaboración propia

Consecuentemente, el presupuesto aplicado a los riesgos es:

Tabla 4.30 Costo estimado de los riesgos

COSTO ESTIMADO DE RIESGOS					
<b>Excavación de zanja:</b>			<b>S/</b>	<b>240,095.65</b>	
Oportunidad	0.00	100%	S/	240,095.65	
Amenaza	0.50	135%	S/	312,124.35	
COSTO + CONTINGENCIA:			S/	248,378.95	
<b>COSTO DE RIESGO:</b>			<b>S/</b>	<b>8,283.30</b>	
<b>Montaje y colocación de tuberías y accesorios</b>			<b>S/</b>	<b>1,332,322.96</b>	
Oportunidad	0.25	75%	S/	999,242.22	
Amenaza	0.35	135%	S/	1,798,636.00	
COSTO + CONTINGENCIA			S/	1,333,855.13	
<b>COSTO DE RIESGO</b>			<b>S/</b>	<b>1,532.17</b>	
<b>Cámaras de concreto</b>			<b>S/</b>	<b>593,608.83</b>	
Oportunidad	0.10	90%	S/	534,247.95	
Amenaza	0.50	150%	S/	1,459,210.00	
COSTO + CONTINGENCIA			S/	890,413.25	
<b>COSTO DE RIESGO</b>			<b>S/</b>	<b>22,735.21</b>	
<b>Instalación de medidores</b>			<b>S/</b>	<b>1,050,045.00</b>	
Oportunidad	0.05	95%	S/	997,542.75	
Amenaza	0.50	150%	S/	1,575,067.50	
COSTO + CONTINGENCIA			S/	1,337,547.32	
<b>COSTO DE RIESGO</b>			<b>S/</b>	<b>287,502.32</b>	
<b>Costo de Riesgo</b>			<b>S/</b>	<b>320,053.00</b>	

FUENTE: Adaptado de Mallma M., (2011)

#### 4.5. COSTO ESTIMADO TOTAL DEL PROYECTO

El costo estimado total del proyecto obtenido a precios de marzo del 2013, resulta de la suma de los siguientes puntos: Costo directo, Gastos generales administrativos, Seguridad y salud ocupacional, Medio ambiente, Calidad y Costo en riesgos. La entidad como dueño del cliente debe gestionar el presupuesto del proyecto teniendo en consideración los puntos establecidos y sobre todo incidir en gestionar los costos de contingencias que se está incorporando en este trabajo de tesis.

**Tabla 4.31** Costo total estimado del proyecto

<b>COSTOS DIRECTOS</b>		
001	OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES	67,462.29
002	COSTO DIRECTO	4,330,211.27
<b>COSTOS INDIRECTOS</b>		
003	GASTOS GENERALES ADMINISTRATIVOS	395,571.21
004	SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL	55,185.77
005	MEDIO AMBIENTE	203,289.76
006	CALIDAD	17,390.00
007	COSTO ESTIMADO DE RIESGO	320,053.00
COSTO DIRECTO		4,397,673.56
COSTOS INDIRECTOS		991,489.74
UTILIDAD (10%)		439,767.36
SUB TOTAL (1)		5,828,930.66
IGV (18%)		1,049,207.52
<b>TOTAL PRESUPUESTO DE OBRA</b>		<b>6,878,138.18</b>
SUPERVISION DE OBRA (5%)		343,906.91
EDUCACION SANITARIA (1%)		68,781.38
SANEAMIENTO FISICO LEGAL (0.6%)		41,268.83
<b>TOTAL PRESUPUESTO DEL PROYECTO</b>		<b>7,332,095.30</b>

Nota : Los precios de los recursos incluyen I.G.V. son vigentes al :  
**FUENTE:** Elaboración propia

12/03/2013

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE ESTIMACION DE COSTOS; CONVENCIONAL Y CON APLICACIÓN DE LA TEORÍA DE RESTRICCIONES

### 5.1. GENERALIDADES

Para el desarrollo del análisis comparativo de las dos propuestas en la estimación de costos analizados en los capítulos anteriores, debemos recordar que un proyecto es **la combinación de recursos humanos y no humanos reunidos en una organización temporal con el fin de lograr un propósito determinado** (Cleland & King, 1999). Esto quiere decir que dicha combinación nace debido a la necesidad de cumplir un objetivo global. En realidad, no se trata de un solo objetivo, sino nos referimos a cumplir todos los propósitos que conforman un sistema de objetivos planteados para desarrollar este proyecto, es decir, todos los fines que persigue el proyecto están relacionados entre sí y la variación en el cumplimiento de cualquiera de los elementos del sistema de objetivos planteados, va a tener una influencia determinante en la consecución de los demás propósitos del proyecto.

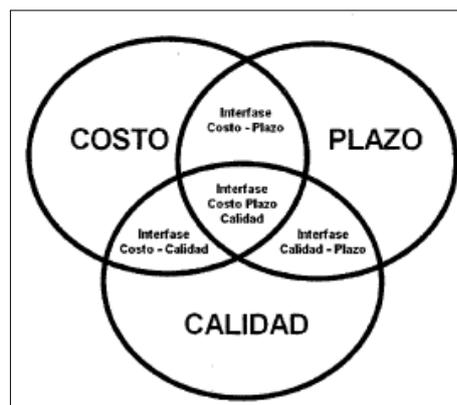
El conjunto de propósitos establecidos está expuesto a cambios a lo largo de la ejecución del proyecto y se busca que esa variación tenga como límite los vértices de cada lado del triángulo (Ver Figura 5.1), y el objetivo global del proyecto, para tal configuración, es un punto interior del triángulo que está definido por tres aspectos fundamentales tales como: costo, plazo y la calidad. La característica más importante es que, el objetivo global del proyecto no es un punto fijo y determinado ya que puede cambiar con el tiempo, debido al grado de avance del proyecto, en función de las características del entorno del proyecto, así su propia naturaleza y de los recursos que se dispongan en el momento de su ejecución de proyecto. Debido a las diferentes variaciones que se genera, durante la ejecución del proyecto, por tanto, los objetivos constituyen un sistema dinámico.



**Figura 5.1:** Interdependencia de los objetivos de un proyecto de construcción

**Fuente:** Dirección integrada de proyectos (Heredia,1999)

Cada objetivo constituye un subsistema (del sistema de configuración), que da lugar a interfaces entre ellos (Ver Figura 5.2). Las interfaces que se producen significan que los tres objetivos que corresponden a todo proyecto de construcción están relacionados y que, además son inseparables, la alteración de cualquiera de ellos afecta a los otros dos.



**Figura 5.2:** Sistema de objetivos de un proyecto de construcción y sus respectivos interfaces.

**Fuente:** Dirección integrada de proyectos (Heredia,1998)

Además, se debe tener en cuenta, si se modifica la configuración que constituye el entorno del sistema conformado por tres objetivos (Costo, tiempo y calidad), estos, forzosamente serán afectados por estos factores externos, y varían también. Como los que se observó en el desarrollo del capítulo IV de esta tesis, donde se analizó las variaciones en el costo, plazo de ejecución y características técnicas de proyecto que se construirá en un futuro.

Los efectos de esta variación alteran el normal desarrollo del proyecto, y en nuestro medio se conoce como adicionales de obra y ampliaciones de plazo.

Por ello es necesario que los interesados del proyecto conozcan y comprendan qué es y cómo se generan estas alteraciones por factores externas e internas.

Un modelo ideal de la construcción de un proyecto sería el que se realiza respetando los plazos, con una calidad y presupuesto establecido. Para conseguirlo con éxito, la experiencia enseña que el director o el jefe de proyecto debe ser competente en los aspectos técnicos de la dirección. Por lo tanto, la labor de un "director de proyecto eficaz" es pronosticar los problemas que se puedan suscitar durante la ejecución del proyecto en un futuro, adoptando una "actitud proactiva" por medio de la adecuada planificación y predicción de los acontecimientos positivos o negativos que podrían surgir a lo largo de ejecución del proyecto, y comunicar adecuadamente a los interesados del proyecto.

Radica aquí la importancia del análisis de contingencia desarrollado para el proyecto, tema central del presente trabajo de investigación y a continuación se analizará las principales ventajas y desventajas de las dos metodologías estudiadas.

## 5.2. ANALISIS COMPARATIVO DE ESTIMACION DE PRESUPUESTO DE OBRA

En tabla 3.14 del capítulo III se observa que el costo total estimado del presupuesto de obra es S/. 6,205,143.49, la cual fue estimada utilizando la metodología convencional de elaboración de presupuestos y el costo estimado aplicando la nueva metodología propuesta es de S/. 6,878,138.18 (Ver tabla 4.30), que viene a ser un aproximadamente un 10% más del costo estimado por la metodología convencional. Esta variación en el costo estimado del presupuesto de obra, básicamente se suscitó por los factores externos e internos que afectan al sistema de objetivos planteados. A continuación, analizaremos las causas que podrían generar la activación de estos factores en el normal desarrollo del proyecto en su etapa de ejecución de obra.

### 5.3. CAUSAS DE LA VARIACION DE COSTOS

De acuerdo al análisis desarrollado las principales causas que podrían llegar a generar la variación del costo estimado del presupuesto de obra durante la etapa de ejecución, son las siguientes:

- ✓ Deficiencias en la elaboración del expediente técnico del proyecto.
- ✓ Mala estimación del volumen de trabajo en la diferentes operaciones o partidas del proyecto.
- ✓ Falta en obra de materiales e insumos de construcción indicados en el expediente técnico, lo cual impide ejecutar algunas partidas del presupuesto de obra.
- ✓ Complejidad de la obra.
- ✓ Asignación de muchas actividades (Asignación de multitareas de manera simultánea) al personal profesional y técnico.
- ✓ Falta de capacitación de personal profesional y técnico.
- ✓ Falta de conocimiento de los procedimientos constructivos por el personal técnico en campo.
- ✓ Profesional involucrada en el proyecto con deficiente conocimiento en aspectos técnicos y teóricos en elaboración de computo de costos para una obra.
- ✓ Mala calidad de los insumos a utilizar durante el proceso constructivo.
- ✓ Los análisis de precios unitarios no reflejan la realidad, ya que no se tubo los factores externos propias de la zona de trabajo, lo cual ocasiona distorsión del rendimiento de la cuadrilla del personal.
- ✓ Mala elaboración de los estudios básicos de ingeniería como: Estudios básicos de mecánica de suelos, topografía, hidrogeológica, población afectada, etc.
- ✓ Deficiente concepción del proyecto a nivel de ingeniería de diseño, por el especialista en realizar el computo anticipado de coste de obra.
- ✓ Deficiente elaboración del cronograma de actividades de las diferentes partidas, no reflejan lo que realmente se debe ejecutar.
- ✓ Durante la elaboración del presupuesto de obra, los especialistas a nivel de elaboración de expediente técnico solo se centraron en los factores internos que afectan directamente a la obra, mas no en los factores externos que afectan a la obra.

- ✓ Elaboración del presupuesto de obra con precios cotizados con varios años de anticipación hasta la fecha de ejecución del proyecto.
- ✓ Falta de conocimiento de los estándares de protección del medio ambiente y/o procedimientos constructivos establecidos por el Ministerio del Ambiente.
- ✓ Mala asignación de horarios de trabajo con jornadas laborales muy largas.
- ✓ Malas condiciones laborales en las que se desarrolla el personal profesional y técnico de la obra, tales como: un clima organizacional deficiente, herramientas de trabajo en mal estado y los espacios de trabajo incómodos para ejercer sus actividades.
- ✓ Alta especialización de la mano de obra.
- ✓ Mala operación de equipos y herramientas.
- ✓ Mala ubicación de los almacenes de obra, generando consumo de mucho tiempo en transporte de materiales y personal de obra.
- ✓ Mala ubicación de los almacenes de residuos sólidos generados en obra y mala ubicación de los depósitos de material excedente de obra.
- ✓ Mala gestión de los diferentes procesos o flujo de valor para los entregables del proyecto.
- ✓ Por incumplimiento del subcontratista.
- ✓ Disminución del precio de insumos o materiales de construcción en el mercado.
- ✓ Alta productividad de la mano de obra y/o equipo.
- ✓ Mejoramiento de procedimientos constructivos a través de innovaciones tecnológicas en la construcción.
- ✓ Problema contractual con el proveedor o subcontratista.
- ✓ Incremento del precio de insumos y materiales de construcción.
- ✓ Falla en el suministro de materiales por parte del proveedor.
- ✓ Accidentes en obra por falta de seguridad en la construcción.
- ✓ Marcha de trabajadores o huelga sindical.
- ✓ Baja productividad de la mano de obra y/o equipo.
- ✓ Baja calidad de la construcción por falta de control de los procedimientos constructivos

## 5.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS METODOLOGÍAS UTILIZADAS EN LA ESTIMACION DE COSTOS

### 5.4.1. Ventajas y desventajas de la estimación de costos con la metodología convencional.

#### ❖ Ventajas:

- Listado de precios básicos de materiales, equipos y salarios utilizados.
- Listado de cotizaciones de los materiales a utilizar en la obra y listado de cotizaciones de subcontratos.
- Fácil identificación de las partidas críticas y cuál posee su tiempo de holgura asignada.
- Facilita el control de gastos de operación de la empresa contratista que va ejecutar la obra.
- Facilita la valorización de obra, luego de su ejecución.
- La normativa peruana establece los mecanismos de valorización en base a partidas.
- Se puede realizar el ajuste de precios frente a variación en el costo de los insumos y materiales.
- La revisión del presupuesto base se realiza con profesional calificados en la materia.
- Permite realizar el análisis de los insumos para establecer su importancia en la producción.
- El control de los costos de insumos se realiza a la par con los volúmenes de producción
- Los compontes de la estructura de presupuestos son normados.
- El contratista puede obtener ganancias adicionales con la fijación de los precios de los insumos en el momento de su determinación del costo unitario de una partida.
- Fácil inserción de partidas en cualquier parte de la programación.
- Fácil identificación de que partidas están atrasadas durante la ejecución de la obra.
- Un obrero puede desarrollar múltiples partidas.

#### ❖ Desventaja

- El costo estimado del presupuesto base del proyecto no refleja el costo real de obra.
- Diferentes errores u omisiones en la elaboración del expediente técnico.
- El presupuesto estimado está expuesto a la burocracia de las autoridades competentes en la gestión de la ejecución del proyecto (el trámite desde su elaboración de expediente técnico hasta su aprobación para la ejecución de la obra demoran muchos meses).
- El precio de los insumos es asumido como si estos precios no cambiarían en el tiempo.
- Los rendimientos utilizados en el análisis de costos unitarios no reflejan el rendimiento real en obra.
- La desvirtuarían real del presupuesto base por factores políticos. (alcaldes distritales, alcaldes provinciales y presidentes regionales hacen promesas de entrega de obra en tiempos menores a lo establecida)
- Dentro del análisis de costos unitarios se considera un porcentaje de 2 ó 3 por ciento del costo directo de mano de obra para las herramientas manuales, lo cual no refleja el costo real de herramientas manuales.
- El control de los costos fijos puede encontrarse separado del volumen de trabajo.
- Existen conceptos de costos que son considerados con fijas y variables, por lo cual generan confusión en el computo anticipado de coste de obra.
- Los precios unitarios del estimado de costos de una partida no reflejen realmente lo cuesta realizar esa partida.
- Las cantidades de metrado pueden aumentar o disminuir, influyendo en el valor final del presupuesto de obra

#### 5.4.2. Ventajas y desventajas de la estimación de costos aplicando TOC.

## ❖ VENTAJAS

- Alta especialización de la mano de obra del personal.
- Permite determinar con mayor exactitud los tiempos de amortiguamiento y costos adicional que podría generarse en obra.
- Mejor utilización de los recursos humanos y no humanos, siguiendo una cadena de construcción de línea en el proceso constructivo.
- Permite analizar algún evento inesperado durante el proceso constructivo de la obra en sus diferentes operaciones de la cadena especializada, desde una perspectiva global e interdependiente de las demás operaciones.
- Permite explotar mejor los recursos de los procesos constructivos que dificultan el avance de obra.
- Permite una mejor programación de las diferentes operaciones que formara la estructura del proceso constructivo de la obra, básicamente las cuadrillas de trabajo conocen el tren de actividades de las operaciones repetitivas y secuenciadas de acuerdo a sus cadenas especializadas.
- Alta sectorización del área de trabajo, con áreas o bloques similares (unidades de producción), con el fin de que el personal realice siempre las mismas actividades y procuren volverse especialistas en dicha labor.
- Permite dimensionar los recursos necesarios para cada operación establecida en el momento necesario de su ejecución.
- La empresa contratista obtiene ventajas competitivas teniendo productos a precios más bajos, de alta calidad y con respuestas más rápidas en los entregables del proyecto.
- Se genera alta calidad en los procedimientos constructivos donde se establecen “estándares operacionales” (Tamaño, color, cantidad, etc.),
- La interacción entre la calidad adecuada y a una excelente ingeniería hace que el proceso constructivo tenga una ventaja competitiva frente al procedimiento constructivo establecido por otros métodos.
- Permite realizar un balance de uso de recursos humanos y no humanos durante la ejecución de la obra.

- Permite manejar los espacios de trabajo de las diferentes operaciones del proceso constructivo.
- Alta capacidad de respuesta de los involucrados del proyecto frente a los requerimientos que se podría generar durante la ejecución de la obra.
- Permite anticiparse a los hechos fortuitos que se podrían generar durante la ejecución del proyecto
- El manejo de un costo de contingencia frente a cualquier evento que se podría generar durante la ejecución de la obra, nos garantiza la entrega del proyecto dentro de los plazos y costos estimados.
- Las operaciones o procesos simples son trabajos individualizadas, por ende, existe alta especialización de la mano de obra.
- Mejora la calidad, la productividad, la reducción de tiempo, profundo compromiso, fuerte orientación de los ejecutores en sus actividades.
- Se elimina el desperdicio, tiempos muertos, se reduce el tiempo de fabricación, se liberan los espacios de trabajo rápidamente.
- Su proceso de implementación es relativamente fácil y sencillo además que no requiere grandes cambios físicos ni organizacionales en la entidad o empresa contratista.
- El mejoramiento continuo del sistema fortalece constantemente la posición estratégica de la empresa contratista y asegura así el futuro en forma sostenible.
- Como la metodología se enfoca a los procedimientos constructivos por operaciones y por ende, se tiene una demanda real, únicamente se utilizan los materiales y recursos estrictamente necesarios para la realización de las operaciones.
- Minimización de los desperdicios de materias primas y energía contribuyendo a la fuerza laboral, y por ende se conserva el medio ambiente.
- Su proceso de implementación es relativamente sencillo y ágil.
- Contiene una eficiente y poderosa herramienta de simulación.
- Permite realizar el análisis de pareto con facilidad.
- Identifica y trabaja sobre los procesos restrictivos de la producción en cadena.

- Permite la realización de mejores acabados de los diferentes componentes del proyecto, debido a la alta especialización de mano de obra.
- Permite realizar un óptimo trabajo y aprovecha al máximo las habilidades del personal involucrado al proyecto.
- Se desarrollan relaciones de confianza entre las partes involucradas al proyecto, conforme van aprendiendo entre ellas a través de las operaciones sucesivas o repetitivas que permite el método.
- Oportunidad de reducir los costos del proceso constructivo mediante el desarrollo de una curva de aprendizaje.
- Permite desarrollar estrategias de colaboración para la resolución de problemas.
- Mejor distribución de los materiales hacia a los frentes de trabajo gracias a la buena planificación táctica-operacional con la ayuda del transporte horizontal y vertical.

#### ❖ DESVENTAJAS

- Como toda metodología nueva presenta dificultades en sus primeras fases de implementación, desarrollo y puesta en marcha.
- El mal enfoque de los principios genera problemas de retrasos en los procedimientos constructivos.
- Aumento en el costo de precios de compra de insumos debido a bajas cantidades de material requerido para la operación establecida en ese momento de ejecución de obra.
- La empresa en cargada de ejecutar la obra requiere conocer el enfoque que se propone en esta nueva metodología de estimación de costos.
- La mala identificación de las restricciones genera mayor inconveniente en los diferentes procesos constructivos durante la ejecución de obra.
- El mal enfoque de la metodología podría aislar procesos constructivos que muchas veces pueden ir en contra de los resultados esperados.
- Considera las actividades del proceso constructivo como independientes.

- Se requiere mayor participación de los involucrados del proyecto, lo cual representa mayor inversión de tiempo
- Requiere de mucho criterio de parte de la alta gerencia de EMAPA CAÑETE S.A. para elegir a la empresa ejecutora del proyecto.
- Se genera gastos adicionales en la capacitación de los miembros del equipo, especialmente en temas relacionados a la toma de decisiones de manera cooperativa.
- Requiere de mucha apertura y gran disposición de todos los involucrados del proyecto para tener una efectiva comunicación.
- Requiere de un cambio en toda la organización lo cual se logra en un largo proceso.
- Reducción en fallas de los equipos y herramientas, así como en los tiempos de preparación de máquinas.
- Minimiza pérdidas por causa de suministros obsoletos.
- Alta laboriosidad en la estructuración de los diferentes componentes del método.

Finalmente es importante conocer las condiciones de la metodología planteada para tener mejores resultados en la estimación de costos en un proyecto de ingeniería de infraestructura pública, pero de acuerdo a los lineamientos organizacionales que busca la entidad ejecutora y/o evaluadora del proyecto. Teniendo un conocimiento integral de las condiciones del entorno tanto interno como externo al proyecto.

## CONCLUSIONES

- En la cultura de la elaboración de los presupuestos bases de un proyecto aún existen defectos o vicios ocultos debido a que no se está tomando en consideración las diferentes restricciones que se podrían presentar durante la ejecución del proyecto. Entonces, para tales condiciones aplicar la Teoría de Restricciones en la estimación de costos en obras de ampliación y mejoramiento del sistema de red de agua potable es factible, lo cual concuerda con la hipótesis formulada.
- Se elaboró una nueva propuesta de elaboración de presupuestos base combinando los principios de los Fundamentos de la Construcción en Cadena y la Teoría de Restricciones. Con la cual se logró estimar el cómputo anticipado del costo de una obra, de manera que el computo anticipado refleje el costo real de ejecución de la obra en un futuro, y sobre todo se consideró los costos de contingencia que se podrían generar durante la ejecución de la obra por diferentes factores no controlables al proyecto.
- La metodología convencional de estimación de costos, no toma en cuenta el nivel de planificación de la entidad (unidad ejecutora y evaluadora) a largo, mediano y corto plazo, las cuales se describen en la planificación estratégica, planificación táctica y planificación operacional respectivamente, y mucho menos analizan los diferentes imprevistos que se podrían presentar durante la ejecución del proyecto y por lo tanto, establece el costo final de obra, como si la entidad no participará directa o indirectamente en la ejecución del proyecto.
- Con la nueva metodología planteada se estimó que el presupuesto de obra será de S/. 6,878,138.18, que viene a ser un 10% más de lo estimado por la metodología convencional. Pero, además se tendrá un posible sobrecosto de S/. 320,053.00. este posible sobrecosto puede ser generado por muchas situaciones adversas al desarrollo del proyecto en la fase de construcción. Las situaciones que se ha tomado en cuenta para modelar las causas de los posibles sobrecostos son: problema contractual de subprocesos (Subcontrato), incremento del precio de insumos, falla del proveedor de materiales, accidentes de trabajo en obra, huelga de trabajadores, baja

productividad de la mano de obra y falta de calidad durante la ejecución de los procesos constructivos.

- Con la aplicación de los fundamentos de la construcción en cadena se asegura que los procedimientos constructivos del objeto de construcción o dicho en otras palabras las cadenas especializadas, procesos simples u operaciones tengan la oportunidad de ser ejecutadas adecuadamente, en el lugar y momento apropiado, y con los recursos necesarios.
- Las operaciones de Pruebas hidráulicas y Relleno y compactación con material propio son las actividades que marcan el ritmo de producción en este tipo de proyecto. En el caso de la operación de Pruebas hidráulicas, se efectuó las pruebas en circuitos cerrados y/o tramos no mayores a los 500.00m lineales, mientras que la operación de Relleno y compactado con material propio marca el ritmo de producción debido a que posee un rendimiento menor respecto a las demás operaciones.
- La estimación del tiempo neto de ejecución del objeto de construcción, sin considerar los tiempos preparatorios, tiempos de entrega de obra, tiempos de movilización y desmovilización y/o tiempos imprevistos, es de 108 días útiles. El cual es resultado de la nivelación de las operaciones lentas a la más acelerada. En este proyecto la operación con el ritmo más acelerado es la operación de Excavación de zanja, que tiene un módulo de ciclicidad igual a un día ( $K = 1$  día útil). Con la nivelación de ritmos se garantiza el consumo uniforme de los recursos y continuidad de los procedimientos constructivos de todas las operaciones del objeto de construcción.
- La amenaza de incremento de costo en todas las operaciones es mucho mayor comparado con la oportunidad de reducir costos, ya que debido a las características inherentes en la ejecución de obras en nuestro país existen muchas situaciones adversas que podrían generar sobrecostos o gastos adicionales durante la etapa de construcción del proyecto (Ver tabla 4.30).
- La amenaza del costo en las operaciones de Excavación de zanja, Montaje y colocación de tuberías y accesorios, instalación de medidor y en el objeto de complejo de cámaras de concreto es debido a un posible incumplimiento

del contrato por parte del proveedor de insumos o del subcontratista de mano de obra (Ver tabla 4.20). Los futuros problemas legales, atraso de obra, un accidente grave de alguno de los trabajadores del subcontratista, retrasos en la ejecución de sus trabajos, problemas de calidad en el trabajo realizado en operaciones tan delicadas, son riesgos que podrían generar sobrecostos en el proyecto. Es por esto que es preferible subcontratar algunas operaciones con el fin de delegar responsabilidades a otras empresas, sin embargo, debemos tener mucho cuidado con el control a todos los subcontratistas y proveedores ya que podrían ocasionar riesgos que afecten los objetivos planteados.

- Los diferentes factores de restricciones y muchos otros factores adicionales que se identificaron y analizaron a lo largo del presente estudio, facilitaron la aplicación de los procesos y herramientas del pensamiento sistémico de la Teoría de Restricciones, con la finalidad de predecir, mitigar o eliminar dichos factores en cuyo caso de ocurrencia afectarían el cumplimiento de la meta del proyecto.
- Se realizó la validación de la información de los planos catastrales en campo, con el fin de verificar que la información mostrada en los planos refleje lo que realmente se observa en campo. Para evitar futuros inconvenientes como el caso que pasó en el proyecto “Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del Esquema Independencia Unificada y Ermitaño-Independencia”; donde el plano catastral figura un pasaje de 1.80 m de ancho y por donde pasaba un tramo de red de agua potable (Ver anexo A), pero cuando se fue a campo a realizar el replanteo correspondiente, los ingenieros de campo se dieron con la sorpresa de que ese pasaje no existía.

## RECOMENDACIONES

- En la actualidad las diferentes entidades públicas y/o privadas en su cultura de elaboración de presupuestos bases de un proyecto aún tienen inconvenientes o vicios ocultos, porque no toma en consideración las diferentes restricciones que se podrían presentar durante la etapa de ejecución de la obra. Por ende, es recomendable la aplicación de la Teoría de Restricciones en la estimación de costos en obras de ampliación y mejoramiento del sistema de red de agua potable para un mejor estimado de costos.
- Se recomienda analizar la metodología convencional de estimación de costos, antes de utilizar en la elaboración de presupuesto base de un proyecto, porque este método no toma en cuenta el nivel de planificación de la entidad (unidad ejecutora y evaluadora) a largo, mediano y corto plazo, las cuales se describen en la planificación estratégica, planificación táctica y planificación operacional, respectivamente y mucho menos analizan los diferentes imprevistos que se podrían presentar durante la ejecución del proyecto y por lo tanto, establece el presupuesto base de obra, como si la entidad no participará directa o indirectamente en la etapa de ejecución del proyecto.
- Con la nueva metodología planteada se estimó que el presupuesto de obra es 10% más de lo estimado por la metodología convencional. Lo cual fue ocasionado por diferentes situaciones pésimas. Por lo tanto, durante la etapa de construcción del proyecto, se recomienda tener cuidado con las siguientes situaciones pésimas de; Problema contractual de subprocesos (Subcontrato), Incremento del precio de insumos, Falla del proveedor, Accidentes en obra, Huelga de trabajadores, Baja productividad y Fallas en el procedimiento constructivo.
- Como la operación de excavación de zanja es la que marca el ritmo de la producción en todo el objeto de construcción. Entonces, se recomienda tener mayor control en esta operación.
- Se recomienda realizar la programación del procedimiento constructivo

aplicando los principios de la construcción en cadena. Ya que con este sistema de programación y planeamiento de obra se asegura que las cadenas especializadas, procesos simples u operaciones tengan la oportunidad de ser ejecutadas adecuadamente, en el lugar y momento apropiado, y con los recursos necesarios. Además, te permite conocer el proyecto al detalle.

- Para la identificación de las diferentes actividades que dificultan alcanzar el objetivo planteado en cuanto a; tiempo, costo y calidad, se recomienda utilizar los cinco pasos de focalización de la Teoría de Restricciones y para poder cuantificarlo, utilizar el modelo matemático de Monte Carlo.
- La metodología planteada es flexible y adaptable a cualquier tipo de proyectos de construcción, por consiguiente, se recomienda a las diferentes entidades públicas y privadas ligadas al sector de la construcción implementar responsablemente la nueva metodología propuesta en la estimación de costos.
- El modelo desarrollado ayuda a académicos y profesionales a tener una alternativa más de solución, en cuanto a elaboración de presupuestos base de proyectos. Por ende, se recomienda estudiar y/o investigar la nueva metodología propuesta, debido a que te permite concebir el proyecto desde un punto de vista holístico y sobre todo involucra a todos los interesados del proyecto en el proceso de estimación de presupuestos base.
- Se recomienda validar la información de los planos catastrales en campo, con el fin de verificar que la información mostrada en los planos refleje lo que realmente se observa en campo. Para evitar futuros inconvenientes como el caso que paso en el proyecto “Ampliación y mejoramiento de los sistemas de agua potable y alcantarillado del Esquema Independencia Unificada y Ermitaño-Independencia”; donde el plano catastral figura un pasaje de 1.80 m de ancho y por donde pasaba un tramo de red de agua potable (Ver anexo A), pero cuando se fue a campo a realizar el replanteo correspondiente, los ingenieros de campo se dieron con la sorpresa de que ese pasaje no existía.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Acero, E. G. (2003), Administración de Operaciones Aplicando la Teoría de Restricciones en una PYME (tesina de pregrado), Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.
- Aguilera, C. I. (2000), Un enfoque gerencial de la teoría de las restricciones, Scielo.
- Budnikov, M. (1961), Fundamentos de la Construcción en Cadena, (J. G. Ríos, Trad.), Kiev: Literatura de construcción y arquitectura de la RSSU.
- Calvachi, B. N., & González, F. A. (2013), Teoría de Restricciones (TOC): Modelo de Gestión Gerencial Para el Crecimiento de las PYMES en Colombia (tesis de pregrado), Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Bogotá.
- Chen, Q., Jin, Z., Xia, B., & Skitmore, P. W. (2015), Time and Cost Performance of Design Projects, American Society of Civil Engineers, doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000575
- Drucker, P. (1998), Management's New Paradigms, Forbes Magazine.
- Estrategia focalizada, (2012), Introducción a la teoría de restricciones (TOC). Disponible en: [www.estrategiafocalizada.com](http://www.estrategiafocalizada.com).
- García, G. D. (2014), Estudio de la Planificación y Control de la Producción Aplicando la Teoría de Restricciones (TOC) en el Área de Acabados de la Empresa Imprenta Mariscal (tesis de pregrado), Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Glenn B., (2009), The Last Planner System of Production Control, School of Civil Engineering Faculty of Engineering, The University of Birmingham.
- Goldratt, Goldratt, Eliyahu M. - Cox, Jeff. (1994), La Meta (THE GOAL). Un Proceso de Mejora Continua, Ediciones Castillo, Nuevo León, México.
- Goldratt y Jeff Cox. (1996), La Meta - Un proceso de Mejora Continua. Ediciones Castillo, Monterrey, México.
- Hinostroza, J. C. (2016). Evaluación de la Gestión de Costos y Tiempos Usados en los Proyectos de Construcción en las Grandes Ciudades del Perú (tesis de pregrado), Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- López, J. A. (2009), Con ustedes, el sistema de agua potable que alimenta a san Vicente de cañete. Disponible en:

<http://canetehoy.blogspot.com/2009/02/con-ustedes-el-sistema-de-agua-potable.html>

- Mabin, V., & Balderstone, S. (2000), *The World of Theory of Constraints*, Press: St. Lucie.
- Meléndez, R. (2013), *Propuesta de Plan de Mejoramiento de la Gestión en la Ejecución de Obras por Administración Directa del Proyecto Especial Alto Mayo (tesis de maestría)*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Ministerio de Economía y Finanzas, (2017). Recuperado de [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/invierte/INVIERTE.PE.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/invierte/INVIERTE.PE.pdf)
- Oberlender, Garold D. (1993), *Project Management for Construction*, Editorial Mc Graw Hill, USA.
- Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), (2010), *Lineamientos para la elaboración de un plan de contingencia regional para el sector*. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-as428s.pdf>
- Peter E. D. Love, X. W.-p. (2013), *Determining the Probability of Project Cost Overruns*, American Society of Civil Engineers, 1. doi:10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000575
- Reyes, L. E. (2008), *TOC en PM, O la Teoría de las Restricciones de Goldratt en la Gerencia de Proyectos*. Recuperado de : <https://ventadirecta.wordpress.com/2008/03/04/toc-en-pm-teoria-de-las-restricciones-de-goldratt-en-la-gerencia-de-proyectos-project-management/>
- Ríos, Juan G. (2015), *Programación de Obras y Costos en Obras Civiles*, Apuntes de Clase, Lima, Perú.
- Salinas, M., & Álvarez, J. (2013), *Manual de liquidación técnico financiero de obras públicas*, Instituto del pacifico S.A.C., Lima.
- Salinas, M. (2008). *Costos y presupuestos de obra*, Fondo Editorial ICG, Lima.
- Serpell A. y Alarcón L. (2009), *Planificación y Control de Proyectos*, Cuarta Edición.
- Vílchez, W. R. (2006), *Modelo de gestión de riesgos para proyectos de construcción en el Perú (tesis de pregrado)*, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.