

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



TESIS

**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CADENA CRÍTICA EN LA
PROGRAMACIÓN DE OBRAS PARA MEJORAR LA
PRODUCTIVIDAD EN PROYECTOS DE SANEAMIENTO**

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

ELABORADO POR

CÉSAR RAMÓN SALDAÑA SILVA

ASESOR

Ing. LUIS ALFREDO COLONIO GARCÍA

LIMA-PERÚ

2023

© 2023, 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.”**

Saldaña Silva, César Ramón

cesar.saldana.s@uni.pe rased1967@gmail.com

995 269 758

Dedicatoria:

A mis entrañables hijos: Katherine, Christopher y Diego, motores y motivos de mis esfuerzos.

A mi abnegada esposa Luz, por tanta paciencia.

A mis queridos padres, Eleazar e Isabel por haberme dado la sabiduría de parecerme en algo a ellos, muchas gracias por tanta dedicación y disculpas por la demora, esta tesis es para todos Uds. para que se sientan orgullosos de este humilde ser que trajeron al mundo, reconoceré para toda mi vida la luz que serán para mí y los míos.

Agradecimiento a mi asesor Luis Colonio.

Muchas gracias.

ÍNDICE

RESUMEN.....	7
ABSTRACT	9
PRÓLOGO	11
LISTA DE CUADROS	12
LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS.....	13
LISTA DE ANEXOS	17
CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 VISIÓN GENERAL.....	18
1.2 ANTECEDENTES REFERENCIALES.....	20
1.3 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.	22
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	23
1.5 OBJETIVOS.....	23
1.5.1 Objetivo general.....	23
1.5.2 Objetivos específicos	23
1.6 HIPÓTESIS.....	23
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	24
2.1 MÉTODO DE LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.....	24
2.1.1 CONCEPTOS CLAVES DE LA CADENA DE CONSTRUCCIÓN.....	25
2.1.1.1 <i>Normal Tecnológica</i>	25
2.1.1.2 <i>Ciclograma</i>	26
2.1.1.3 <i>Parámetros de la Construcción en Cadena</i>	26
2.1.2 Importancia del Método de Construcción en Cadena.	29
2.1.3 Formas de los Métodos de la Construcción en Cadena	31
2.1.4 Variedades de Cadenas de Construcción	32
2.1.4.1 <i>Cadena Compleja</i>	33
2.1.4.2 <i>Cadena Objeto</i>	33
2.1.4.3 <i>Cadena Especializada</i>	33
2.1.4.4 <i>Cadena Particular</i>	33
2.1.5 Teoría de la Cadena Especializada.....	33
2.1.5.1 <i>Cadena Especializada rítmica</i>	33

2.1.5.2	<i>Cadena Especializada con Ritmo múltiple</i>	34
2.1.5.3	<i>Cadena Especializada arrítmica</i>	35
2.1.6	Teoría de la Cadena de Objeto	36
2.2	MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA (CPM – Critical Path Method).	36
2.2.1	Descripción de la metodología.	38
2.2.2	Debilidades del método del CPM	40
2.2.3	Características principales del CPM.....	41
2.2.4	Planeación, programación y control según el método de CPM.....	41
2.2.4.1	<i>Planeación</i>	42
2.2.4.2	<i>Programación</i>	42
2.2.4.3	<i>Control</i>	42
2.2.5	Ventajas y desventajas de los métodos PERT / CPM	44
2.2.5.1	<i>Ventajas del PERT / CPM</i>	44
2.2.5.2	<i>Desventajas del PERT / CPM</i>	44
2.2.6	Análisis de lógica de Redes.	45
2.2.6.1	<i>Conceptos básicos de la lógica de redes</i>	47
2.2.6.2	<i>Esquematización de redes y cálculo de holguras</i>	48
2.2.6.3	<i>Establecimiento de la ruta crítica</i>	50
2.2.7	Análisis estadístico para manejo de datos para la programación	50
2.2.7.1	<i>Conceptos básicos de estadística</i>	50
2.2.7.2	<i>Parámetros estadísticos principales</i>	52
2.3	MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA - CCPM.....	54
2.3.1	Teoría de las Restricciones	54
2.3.1.1	<i>Historia y evolución de Teoría de las Restricciones (TOC)</i>	54
2.3.1.2	<i>Elementos y recursos de la TOC</i>	54
2.3.1.3	<i>Objetivos generales de la Teoría de las Restricciones</i>	56
2.3.1.4	<i>Herramientas de la Teoría de Restricciones</i>	56
2.3.1.5	<i>Las cinco etapas de enfoque (Five Focussing Steps)</i>	57
2.3.1.6	<i>La metodología (Drum – Buffer – Rope)</i>	58
2.3.1.7	<i>Procesos de Pensamiento (Thinking process)</i>	60

2.3.1.8	<i>La Teoría de las Restricciones y sus aplicaciones.</i>	61
2.3.1.9	<i>Paradigmas que se supera para lograr los objetivos según TOC.</i>	63
2.3.1.10	<i>Restricciones o limitaciones en las Pymes.</i>	63
2.3.1.11	<i>Soluciones a las restricciones aplicando la metodología de la TOC.</i>	64
2.3.1.12	<i>Filosofías de Gestión Empresarial que apoyan la TOC.</i>	66
2.3.1.13	<i>Resultados de la implementación de la TOC.</i>	67
2.3.1.14	<i>Empresas u organizaciones en donde se vienen aplicando la TOC.</i>	71
2.3.1.15	<i>Indicadores de la TOC y su aplicación en las empresas.</i>	72
2.3.2	<i>Método de la Descomposición del trabajo</i>	72
2.3.2.1	<i>Teoría de la Descomposición del trabajo</i>	72
2.3.2.2	<i>Las claves de la descomposición del trabajo para la cadena crítica</i>	72
2.3.3	<i>Método de la Cadena Crítica</i>	73
2.3.3.1	<i>Definición y origen de la Cadena Crítica.</i>	73
2.3.3.2	<i>Características de la Cadena Crítica.</i>	74
2.3.3.3	<i>Ventajas de la aplicación de la Cadena Crítica.</i>	74
2.3.3.4	<i>Criterio para estimar duración de actividades “Criterio P (50%)”.</i>	75
2.3.3.5	<i>Etapas para la Programación con CCPM.</i>	75
2.3.3.6	<i>Dimensionamiento de los Buffers.</i>	77
2.3.3.7	<i>Secuencia ilustrativa de la Programación con CCPM.</i>	78
2.3.3.8	<i>Ventajas de la aplicación de la cadena crítica.</i>	81
2.3.3.9	<i>Prácticas habituales con el método de la Cadena Crítica.</i>	82
2.3.3.10	<i>Aplicación del método de la Cadena Crítica en Gestión de Proyectos.</i>	82
2.3.3.11	<i>Problemas que se presentan en los Proyectos.</i>	83
2.3.3.12	<i>Gestión de los tiempos de duración de las partidas.</i>	83
2.3.3.13	<i>Ideas claves en la Gestión de Proyectos aplicando Cadena Crítica.</i>	84
2.3.3.14	<i>La Gerencia de Proyectos utilizando la TOC.</i>	84
2.3.3.15	<i>Técnicas para la Gestión de Procesos en la Cadena Crítica.</i>	85
2.3.4	<i>Diferencias entre las metodologías de CPM Y CCPM</i>	88
2.3.4.1	<i>Análisis comparativo de los métodos CPM y CCPM</i>	88
2.3.5	<i>Cuadro comparativo de ambas metodologías.</i>	93

2.3.6	Problemas de comportamiento humano.....	95
2.3.7	Multitarea	97
2.3.8	Relación entre procesos	97
2.3.9	El Rendimiento.....	98
2.3.10	La Productividad	98
2.3.10.1	<i>Tipos de productividad.....</i>	<i>99</i>
2.3.10.2	<i>Factores que influyen en la productividad.</i>	<i>99</i>
CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO.....		101
3.1	UBICACIÓN DEL PROYECTO	101
3.1.1	Relieve, superficie de la zona y ubicación geográfica del proyecto. ...	101
3.1.2	Altitud, clima y accesibilidad a la zona del proyecto.	102
3.1.3	Micro localización del área de influencia del proyecto.	104
3.1.4	Antecedentes de situaciones antes de iniciarse el proyecto.....	105
3.2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	108
3.2.1	Preámbulo del proyecto.	108
3.2.2	Componentes del proyecto.	109
3.3	ALCANCES DEL PROYECTO URBANO.....	112
3.4	ALCANCES DEL PROYECTO.....	112
3.5	BENEFICIARIOS DEL PROYECTO.....	112
3.5.1	Beneficiarios directos	113
3.5.2	Beneficiarios indirectos	113
3.6	PARÁMETROS DE CONDICIONAMIENTO DEL PROYECTO	113
3.6.1	Modalidad de ejecución de obra.....	113
3.6.2	Sistema de Contratación.....	114
3.6.3	Plazo de ejecución.....	114
3.6.4	Fuentes de Financiamiento	114
3.7	PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN.....	114
3.7.1	Parámetros Principales.....	115
3.7.2	Parámetros Restrictivos.....	115

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN USANDO EL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA	117
4.1 RELACIÓN DE PROYECTOS DE CARACTERÍSTICAS SIMILARES	117
4.1.1 Resúmenes con resultados cuantitativos de los proyectos.....	117
4.2 PROPUESTA DEL PLAN ESTRATÉGICO APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LA CADENA CRÍTICA CCPM.	120
4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCEDIMIENTO ANALÍTICO	121
4.4 PROGRAMACIÓN CON CPM (Camino Crítico).....	122
4.4.1 Organización del Parámetro Espacio	123
4.4.2 Estructura de descomposición del trabajo (EDT).	130
4.4.3 Etapas tecnológicas y procesos de construcción.	131
4.4.4 Ciclograma de Construcción	134
4.4.5 Etapas tecnológicas y procesos de construcción.	135
4.4.6 Diagrama Red CPM (Programación temprana).....	138
4.4.7 Diagrama Gantt CPM (Programación temprana).....	139
4.5 PROGRAMACIÓN CON CADENA CRÍTICA (CCPM).....	141
4.5.1 Análisis de las restricciones para determinar la duración pesimista. ..	141
4.5.2 Tabla del análisis de restricciones.....	159
4.6 RESTRICCIONES QUE SE ENCONTRARÓN EN EL PROYECTO... 160	
4.6.1 Análisis de restricciones con Juicio de Expertos.	161
4.6.1.1 <i>Del financiamiento de la obra</i>	163
4.6.1.2 <i>De las obras provisionales o trabajos preliminares</i>	163
4.6.1.3 <i>De la construcción de los buzones</i>	164
4.6.1.4 <i>De la red de alcantarillado</i>	166
4.6.1.5 <i>De la red de aducción y distribución</i>	167
4.6.1.6 <i>De las conexiones domiciliarias de desagüe</i>	168
4.6.1.7 <i>De las conexiones domiciliarias de agua potable</i>	169
4.6.1.8 <i>De la construcción del Reservorio</i>	170
4.6.1.9 <i>De la construcción de la Captación</i>	171
4.6.1.10 <i>De la construcción de la PTAR</i>	172
4.6.2 Etapas Tecnológicas-resumen de duraciones pesimista y P(50%)	173

4.6.3	Diagrama red (CCPM) – Programación tarde.....	174
4.6.4	Diagrama Gantt (CCPM) Programación tarde.	176
4.6.5	Determinación de los buffers.....	176
	CONCLUSIONES.....	179
	RECOMENDACIONES.....	180
	BIBLIOGRAFÍAS	181
	INFOGRAFIA	182
	ANEXOS	

RESUMEN

La tendencia actual en los proyectos de construcción ha llevado en los últimos años a la búsqueda de nuevas y mejores metodologías de planificación, a fin de buscar un mejor control y manejo de los procesos, que permitan obtener resultados con mejor efectividad.

En tal sentido y en la búsqueda de aportar con la solución, la presente tesis tiene como objetivo principal usando la Metodología de la Cadena Crítica (CCPM), mejorar la productividad; brindando resultados de gran eficacia dentro de los procesos constructivos, aportando además una encuesta de tipo descriptivo-cuantitativo de corte transversal (juicio de expertos), que permitió cuantificar los diferentes inconvenientes que se encontraron. A continuación, se presenta un breve resumen de los capítulos:

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN: Se describe una visión general de la realidad problemática, aportando para ello los informes de las visitas a las diferentes obras a nivel Nacional por parte de la Contraloría General de la Republica, encontrando un panorama bastante desalentador y siendo esta la motivación principal en la búsqueda de una mejor alternativa que permita gestionar con mayor y mejor eficacia el cual se puede lograr utilizando la metodología de la Cadena Crítica.

Sin embargo, también se menciona en los antecedentes referenciales tanto nacionales como internacionales, algunas tesis con metodologías similares, para poder contrastarlas con la metodología de la Cadena Crítica, siendo lo más importante la forma como se enfocan los diferentes tipos de restricciones y gestionar mejor las incertidumbres.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL: Se definen las bases y conceptos fundamentales de la metodología de la *Cadena Crítica*, convirtiendo como eje principal el reconocimiento y gestión de las restricciones, calculando de manera apropiada los *buffers*; además se definen los conceptos de unidades de producción, la gráfica de la normal tecnológica, luego el Ciclograma respectivo, elaboramos procesos rítmicos, obteniendo un mejor ordenamiento de la secuencia lógica de las actividades.

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO: Se presenta y se realiza una descripción de la ubicación y clima, así como el acceso desde lima, planteamiento de la problemática típica de los caseríos antes en mención y establecimiento de los alcances del proyecto.

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN USANDO EL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA

Se aplica la metodología al proyecto “MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN SANITARIA DE EXCRETAS EN LAS LOCALIDADES DE LLAMAPSILLON, PALACO Y PALMAYOC”; para ser tomado como ejemplo y ver lo versátil de su uso; se definió en base a los planos las diferentes Unidades de Producción para las diferentes Cadenas Especializadas, se cuantificó los tiempos producto del análisis de restricciones ver Anexo 13, se realizó la Normal Tecnológica respecto al expediente Técnico y se fueron realizando las diferentes programaciones con el software del Micro Soft Project (MSP), tanto tempranas como tardías de las metodologías CPM y CCPM respectivamente, habiéndose encontrado el cálculo de los respectivos Buffers en tres puntos claves de la Cadena Crítica para cuantificar finalmente las comparaciones entre las metodologías contrastadas.

ABSTRACT

The current trend in construction projects has led in recent years to the search for new and better methodologies for planning and organizing resources, seeking adequate control and monitoring of processes, which allow obtaining results with greater effectiveness. The reports of the projects at the national level presented by the Comptroller General of the Republic, highlights worrying data of paralyzed projects, some unfinished and many overvalued, being a recurring cause the technical deficiencies and contractual breaches. Unfortunately, there are no studies and transcendental information regarding this problem. Unfortunately, there are no studies and important information regarding this problem. Therefore, it is intended to seek to eliminate or reduce the weaknesses of the techniques that are used so far and avoid the frequent delays and cost overruns that put many SMEs or companies in the construction sector in check.

In this sense and in the search to contribute with the solution of this problem, the present thesis has as its main objective to make known the use of the Critical Chain Methodology (CCPM), of proven effectiveness within the construction processes, also counting with a descriptive-quantitative cross-sectional survey (expert opinion), which allowed to quantify in order of percentages the different inconveniences found for the different processes and to understand the various types of restrictions found in a work; being these situations, detrimental for the development of the processes.

Here is a brief summary of the chapters:

CHAPTER I: INTRODUCTION: A brief overview of the problem is outlined, in terms of management with greater and better efficiency which can be achieved using the methodology of the critical chain, based on the theory of restrictions, established by Eliyahu Moshe Goldratt at the end of the 90's.

CHAPTER II: THEORETICAL BASIS: The fundamental bases and concepts are defined to be able to establish the methodology of the Critical Chain, making as the main axis the recognition and management of restrictions.

CHAPTER III: Presentation of the project "IMPROVEMENT AND EXPANSION OF THE DRINKING WATER SERVICE AND SANITARY DISPOSAL OF EXCRETS IN THE LOCATIONS OF LLAMAPSILLON, PALACO AND PALMAYOC". The project is presented and a description of the geographical, geomorphological,

climatological part, accessibility from Lima, approach to the problem of the hamlets, establishment of the scope of the project is made.

CHAPTER IV: APPLICATION OF THE PROGRAMMING USING THE CRITICAL CHAIN METHOD

The methodology of the Critical Chain is applied to the project in question to be taken as an example and see how versatile its use is. It was defined, based on the plans, the different Production Units for the different Specialized Chains. The times resulting from the analysis of restrictions were quantified and the Technological Normal was carried out with respect to the Technical file. Also, the different programming was carried out with the MSP software, both early and late of the CPM and CCPM methodologies respectively, having found the calculation of the respective Buffers in three key points of the Critical Chain to finally obtain the comparisons between the contrasted methodologies.

Finally, with this thesis it is concluded that, after applying the critical chain methodology in the project in question, it is possible to reduce the uncertainties that are generated during the planning and execution of the construction processes, as well as the optimization of resources, thus generating satisfactory results.

PRÓLOGO

La gestión, administración y optimización de los recursos en los proyectos, representan un gran reto para los ingenieros y/o Project Manager, motivo por el cual se vienen de manera continua desarrollando diversas metodologías, algunas con mejores resultados que otras, dentro de las limitaciones que éstas presentan. Por eso, es necesario encontrar herramientas para mejorar dicha gestión y así poder alcanzar las metas planteadas; no cabe duda del valioso aporte que representó en su momento las metodologías tradicionales, es por eso que hoy en día gracias a los cambios globales dentro de los cuales están enmarcados los proyectos, contamos con metodologías nuevas y con frescos planteamientos como la que se pretende sustentar.

Además, es avalada por el PMI (Project Manager Institute) y el PMBOX; instituciones que lo han incorporado en su guía de estándares, siendo un compendio de buenas prácticas dado que son exigentes con la evaluación a la cual son sometidos las diferentes metodologías que aparecen y siendo avaladas por los reportes y/o los buenos resultados.

La metodología de la Cadena Crítica, propuesta por Eliyahu Moshe Goldratt, en la década de los 90, es por excelencia una de las mejores; se caracteriza principalmente por reconocer las restricciones inherente en todo proyecto y manejarlas con el fin de lograr culminar los proyectos antes del tiempo establecido, aplicando la teoría de las restricciones TOC; procurando siempre disminuir la incertidumbre y evitar caer en malos comportamientos que tienden a consumir los márgenes de seguridad, denominados *el síndrome del estudiante, la ley Parkinson y las multitareas*.

Aplicar esta metodología implica grandes cambios, sobre todo en lo concerniente al cambio de actitud y lograr compenetrar al trabajador como parte del cambio y del éxito, creando una reciprocidad trabajador-empresa-trabajador, para lograr el objetivo principal (culminación del proyecto) en el menor tiempo posible.

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1 Descripción de Red Básica de Construcción de una Vivienda.....	46
CUADRO 2 Diferencias entre Metodologías Tradicionales y la Cadena Crítica .	93
CUADRO 3 Coordenadas del Centro Poblado de Palmayoc	102
CUADRO 4 Datos Climáticos y Precipitaciones en Huancayo	103
CUADRO 5 Información de la Accesibilidad a la Ubicación del Proyecto	103
CUADRO 6 Información Técnica Referente al Agua Potable.....	106
CUADRO 7 Datos Obtenidos del Expediente Técnico	107
CUADRO 8 <i>Relación de Expertos.</i>	162

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	<i>Procesos Productivos de las Cadenas, en UP</i>	24
Figura 2	<i>Se Aprecia Normal Tecnológica de una Típica Vivienda</i>	25
Figura 3	<i>Ciclograma de Construcción del Frente de Trabajo FT-01</i>	28
Figura 4	<i>El Paso Ko entre las Cadenas de Color Verde y Rojo</i>	28
Figura 5	<i>Programación Gantt de un Conjunto de Viviendas Típicas</i>	29
Figura 6	<i>Ciclograma Típico en un Proceso de Construcción</i>	30
Figura 7	<i>Comparación de Avance Real con lo Programado en Obra</i>	30
Figura 8	<i>Desarrollo de Procesos en Forma Sucesiva</i>	31
Figura 9	<i>Desarrollo de Procesos en Forma Paralela</i>	31
Figura 10	<i>Desarrollo de Procesos en Forma de Cadena</i>	32
Figura 11	<i>Clasificación de Cadena de Construcción según Envergadura</i>	32
Figura 12	<i>Ejemplo de Cadena Especializada Rítmica</i>	34
Figura 13	<i>Cadena Especializada con Ritmo Múltiple</i>	34
Figura 14	<i>Ejemplo de Nivelación de Ritmos</i>	35
Figura 15	<i>Ejemplo de Cadena Especializada Arrítmica</i>	35
Figura 16	<i>Ciclograma de una Cadena de Objeto</i>	36
Figura 17	<i>Descripción de una Malla Típica</i>	39
Figura 18	<i>Descripción de un Esquema de Redes</i>	46
Figura 19	<i>Secuencia Lógica de Redes con Tiempos de Ejecución</i>	47
Figura 20	<i>Tiempos de Actividades, estableciendo Holguras de Actividades</i>	48
Figura 21	<i>Tiempos de cada Actividad para el Retorno</i>	49
Figura 22	<i>Cálculo de Holguras de las Actividades</i>	49
Figura 23	<i>Línea con Holguras $H=0$, es la Ruta Crítica</i>	50
Figura 24	<i>Ciclo de la Teoría de la Restricción (TOC)</i>	58
Figura 25	<i>ETAPA 1 Actividades Incluidos Tiempos de Protección</i>	79
Figura 26	<i>ETAPA 2 Actividades sin Tiempos Pesimistas</i>	79
Figura 27	<i>ETAPA 3 Unión de Actividades con Nuevos Tiempos y Holguras</i>	79
Figura 28	<i>ETAPA 4 Reducción al 50% los Tiempos Acumulados del Buffer</i>	79
Figura 29	<i>ETAPA 5 Reducción del 50% de las Holguras</i>	80
Figura 30	<i>Programación con el Método CPM, con las Fechas Tardías</i>	80
Figura 31	<i>Programación Aplicando Método de la Cadena Crítica CCPM</i>	81
Figura 32	<i>Programación Aplicando CCPM</i>	81
Figura 33	<i>Curva de Aprendizaje</i>	96
Figura 34	<i>Ubicación de la Región Junín, Respecto al Perú</i>	104
Figura 35	<i>Distrito de Chongos Alto Respecto a Huancayo</i>	104
Figura 36	<i>Comunidad campesina de Palmayoc</i>	104
Figura 37	<i>Huancayo Respecto a Región Junín</i>	104

Figura 38	Ubicación Geográfica de la Comunidad de Palmayoc.....	105
Figura 39	Información de Abastecimiento de Agua en las Comunidades.....	106
Figura 40	Información de Red de Desagüe de Comunidades.....	108
Figura 41	Esquema de los Componentes del Proyecto.....	111
Figura 42	Esquema General de los Parámetros de Producción.....	116
Figura 43	Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (1).....	117
Figura 44	Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (2).....	118
Figura 45	Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (3).....	119
Figura 46	Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (4).....	120
Figura 47	Diagrama de Flujo de Procedimientos.....	121
Figura 48	Área 1 Ubicación de Buzones y UP.....	123
Figura 49	Área 2 Red de Alcantarillado y sus UP.....	124
Figura 50	Área 3 Línea de Aducción y Distribución y sus UPs.....	125
Figura 51	Área 4 Conexiones Domiciliarias de Desagüe y sus UPs.....	126
Figura 52	Área 5 Conexiones Domiciliarias de Agua y UPs.....	127
Figura 53	Área 7 Planos del Reservorio.....	128
Figura 54	Construcción de la PTAR.....	129
Figura 55	Elaboración del EDT.....	130
Figura 56	Estructura de la Normal Tecnológica.....	131
Figura 57	Continuación de la Normal Tecnológica.....	132
Figura 58	Culminación de la Normal Tecnológica.....	133
Figura 59	Ciclograma de Construcción.....	134
Figura 60	Primeras Etapas de la Normal Tecnológica.....	135
Figura 61	Continuación de Etapas de la Normal Tecnológica.....	136
Figura 62	Últimas Etapas de la Normal Tecnológica.....	137
Figura 63	Diagrama Red de la Programación CPM.....	138
Figura 64	Diagrama GANTT con la Programación CPM.....	140
Figura 65	Glosario Inicial.....	142
Figura 66	Glosario Final.....	143
Figura 67	Excavación Típica para Buzón.....	147
Figura 68	Vaciado Típico de Cuerpo de Buzón.....	147
Figura 69	Marco Metálico, sobre losa de Techo de Buzón Típica.....	148
Figura 70	Perfilado de Excavación para la Red de Alcantarillado.....	149
Figura 71	Plantillado, Tubería y Alineamiento de Red de Alcantarillado.....	149
Figura 72	Excavación y Entubado para la Línea de Aducción.....	150
Figura 73	Línea de Aducción.....	151
Figura 74	Conexiones Domiciliarias de Desagüe Típica.....	152
Figura 75	Conexiones Domiciliarias de Desagüe Típica.....	152

Figura 76	Conexiones Domiciliarias de Agua Típica	153
Figura 77	Prueba Hidráulica de las Redes de Agua	154
Figura 78	Excavación para la Línea de Conducción	155
Figura 79	Actividad de Acabado del Reservorio.....	156
Figura 80	Vista Exterior de la Captación	157
Figura 81	Interior de la Captación	157
Figura 82	Toma Exterior del Tanque IMHOFF	158
Figura 83	Instalaciones de Accesorios para el Lecho de Secados	158
Figura 84	Resumen de las Restricciones	160
Figura 85	Financiamiento de la Obra	163
Figura 86	Porcentaje de Ampliación de Plazos	163
Figura 87	Principales Restricciones	164
Figura 88	Elección de Metodología de Excavación	164
Figura 89	Porcentaje de Ampliación de Plazo	165
Figura 90	Principales Restricciones en la Construcción de Buzones	165
Figura 91	Especificación de Otras Causales.....	166
Figura 92	Porcentaje de Ampliación de Plazos en Red de Alcantarillado.....	166
Figura 93	Porcentaje de Restricciones en Ejecución de Alcantarillado	167
Figura 94	Porcentaje de Ampliación de Plazo en Redes.....	167
Figura 95	Restricciones que Ocasiónó el Incremento del Tiempo	168
Figura 96	Porcentajes de Ampliación de Plazo en Ejecución de Conexiones	168
Figura 97	Porcentaje de Incremento del Tiempo debido a las Restricciones..	169
Figura 98	Porcentaje de Ampliación en Conexiones de Agua	169
Figura 99	Porcentaje de retraso, en Conexiones de Agua	170
Figura 100	Porcentaje de Ampliación en la Ejecución del Reservorio	170
Figura 101	Porcentaje de Incremento que Ocasiónó las Restricciones.....	171
Figura 102	Porcentaje de Ampliación en la Ejecución de la Captación	171
Figura 103	Porcentaje de Afectación en la Construcción de la Captación.....	172
Figura 104	Porcentaje de Ampliación de la Ejecución de la PTAR.....	172
Figura 105	Porcentaje de Afectación en la Construcción de la PTAR	173
Figura 106	Tiempos: Promedio, Restricciones, Pesimista y P (50%)	173
Figura 107	Diagrama RED de la Programación con CCPM	175
Figura 108	Diagrama GANTT de la Programación con CCPM.....	176
Figura 109	Esquema Comparativo Cuantitativo CPM vs CCPM	177

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

CC	Comienzo - Comienzo
CF	Comienzo - Final
CCPM	Critical Chain Project Management (Cadena Crítica)
EDT	Estructura de descomposición del trabajo
EF	Earliest Finish (termino más temprano)
ES	Earliest Start (Inicio temprano)
FC	Fin - Comienzo
FF	Final - Final
FT	Frente de trabajo
H	Holgura de la actividad
i	Intensidad de la cadena
IL	Inicio lejano
IT	Inicio temprano
K	Módulo de Ciclicidad
Ko	Paso de la cadena
LF	Latest Finish (termino más tardío)
LS	Latest Start (Inicio más tardío)
m	Número de cadenas particulares
OPT	Optimized Production Tecnology (Tecnología de la producción óptima)
P	Volumen de trabajo en las m unidades de producción
PERT	Program Evaluation Review Thecnique
PMBOK	Project Management Body of Knowledge (Cuerpo de conocimientos de gestión de proyectos)
PMI	Project Management Institute (Instituto de Gestión de Proyectos)
Q	Trabajosidad de la cadena particular
R	Rendimiento de la cuadrilla
SNIP	Sistema Nacional de Inversión Pública
T	Tiempo programado de la cadena o duración de la cadena
TL	Terminación lejana
TOC	Theory of Constraints (Teoría de las restricciones)
TT	Terminación temprana
UP	Unidades de Producción

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO 01 PLANO DE UP de construcción de buzones.
- ANEXO 02 PLANO DE UP de red de alcantarillado.
- ANEXO 03 PLANO DE UP de línea de aducción y distribución
- ANEXO 04 PLANO DE UP de conexiones domiciliarias de desagüe.
- ANEXO 05 PLANO DE UP de conexiones domiciliarias de agua.
- ANEXO 06 PLANO DE Planta de tratamiento de aguas residuales PTAR.
- ANEXO 07 NORMAL TECNOLÓGICA.
- ANEXO 08 CICLOGRAMA DE CONSTRUCCIÓN.
- ANEXO 09 NORMAL TECNOLÓGICA CON DURACIÓN.
- ANEXO 10 DIAGRAMA RED DE CPM (Programación temprana)
- ANEXO 11 DIAGRAMA GANTT DE CPM (Programación temprana).
- ANEXO 12 GLOSARIO
- ANEXO 13 ANÁLISIS DE RESTRICCIONES.
- ANEXO 14 DIAGRAMA RED DE CCPM (Programación tardía).
- ANEXO 15 DIAGRAMA GANTT DE CCPM (Programación tardía).
- ANEXO 16 PROGRAMACIÓN EN EXCEL GANTT DE CPM PESIMISTA.
- ANEXO 17 PROGRAMACIÓN EN EXCEL GANTT DE CCPM-(P50%).
- ANEXO 18 PROG. EN EXCEL GANTT DE CCPM - P (50%-CON BUFFERS)

CAPÍTULO I : INTRODUCCIÓN

1.1 VISIÓN GENERAL

La presente tesis, denominada “**APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA EN LA PROGRAMACIÓN DE OBRAS PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN PROYECTOS DE SANEAMIENTO**” pretende mejorar los procesos constructivos y la productividad, usando la metodología de LA CADENA CRÍTICA empleado para la programación de obras.

Actualmente existen diversas metodologías que intentan lograr un mejor desempeño en las organizaciones; algunas de estas metodologías se han desarrollado durante la segunda mitad del siglo anterior, entre las cuales tenemos, la Ruta Crítica CPM, PERT y Last Planer etc.

Y una de las últimas metodologías es la Teoría de las Restricciones (TOC), la cual permite enfocar soluciones a problemas críticos de las organizaciones (sin importar su tamaño ni giro), mediante un conjunto de procesos y de pensamientos que utiliza la lógica de causa y efecto para entender lo que sucede y así encontrar maneras de mejorar.

Una de las bases, es el supuesto de que en todo sistema o empresa existe cierta simplicidad inherente, si se logra encontrar esa simplicidad, entonces es posible administrar, controlar y mejorar el sistema (Goldratt, 2006).

La finalización de los proyectos en general en toda Latinoamérica son bastante desalentadores, tal es así, que se cuenta con una investigación de la organización *The Standish Group* quienes revelan que solamente el 30% de los proyectos se realizan en el tiempo establecido, en presupuesto y prestaciones inicialmente establecidas y que el porcentaje restante, pertenecen al grupo de aquellos proyectos que representaron pérdidas, pocas ganancias o simplemente abandonaron el proyecto.

Entonces cabe el cuestionamiento.

¿Qué se han hecho en estos últimos 40 o 50 años para mejorar los resultados?

¿Qué enfoques o líneas de mejoras se están desarrollando?

Se cuenta con dos modos de enfoque, las que buscan reducir la incertidumbre y por otro lado los que buscan manejarlas y sacar provecho de ello.

El enfoque de reducción de la incertidumbre, busca mejorar todos los procesos de los proyectos y quitarle al máximo su variación o incertidumbre, para ello identifica los procesos, los estandariza y constantemente busca mejorarlos a través de los errores cometidos.

Mientras que en el otro enfoque de *gestionar la incertidumbre* se asume que la incertidumbre existe, pero que no se puede reducir a cero y que por lo tanto hay que gestionarla y sacar provecho de ella; dentro de este enfoque de la *gestión de*

incertidumbre, está la metodología de la Cadena Crítica, que fue desarrollada por el doctor en física Eliyahu Moshe Goldratt a finales de los 90', creador de la Teoría de las Restricciones conocidas como TOC por sus siglas en inglés Theory of Constraints.

TOC es una manera distinta de gestionar las organizaciones, expone que el máximo desempeño que puede lograr una organización está dictado por su restricción; por lo tanto, si se desea manejar el sistema y no permitir que el sistema maneje, entonces identificamos la restricción y operar en función a ella.

La aplicación de estos conceptos a la gestión de proyectos es lo que se conoce como Cadena Crítica o Critical Chain Project Management [CCPM].

Los buenos resultados que se logran, hacen que su crecimiento en el mundo está siendo exponencial. Organizaciones como las fuerzas armadas de USA (el ejército, la marina y la fuerza aérea) que tienen una enorme influencia en la industria por su gran poder económico, emplean Cadena Crítica.

El PMI lo ha incorporado en su guía de estándares el PMBOK (Project Management Body of Knowledge). El PMBOK es un compendio de buenas prácticas confeccionado por todos los gerentes de proyectos miembros del PMI (Project Management Institute) que quieran participar en sus constantes revisiones (actualmente está publicada la quinta revisión).

En el PMBOK solo se incorporan herramientas que han sido probadas por un lapso prolongado de tiempo, en una gran cantidad de proyectos y a los que se les atribuye parte del éxito (InfocompletaOrbiPMCADENA CRÍTICA [IOPMCC], 2013, p.2).

El objetivo principal de esta metodología es entender, aprender a manejar y aplicar inmediatamente una herramienta distinta a las tradicionales que permitirá mejorar en un alto porcentaje el cumplimiento de las 3P: *Plazo, Presupuesto y Prestaciones*.

Sin embargo, en la realidad, se presentan situaciones en donde los proyectos no siempre acaban a tiempo y lamentablemente es frecuente hablar de retrasos, pero también lo es el consumir un mayor presupuesto del que se había estimado para ello o más recursos de los designados inicialmente.

El método de la Cadena Crítica llevado a la práctica simplifica enormemente las tareas de gestión de proyectos, proporcionando una claridad que permite tomar mejores decisiones y crear un entorno eficiente, donde la incertidumbre se gestiona de forma adecuada y cada elemento funciona como lo esperado.

Goldratt, el impulsor de la Teoría de las Restricciones supo cómo sacar el mejor partido a la incertidumbre que aparece en procesos y proyectos, optimizando la gestión de los mismos mediante la aplicación de la metodología de la Cadena Crítica (CCPM).

Entre los beneficios del uso de este método de gestión de proyectos se encuentran el terminar los proyectos no sólo a tiempo, sino también más rápido, utilizando los mismos recursos o incluso menos, como muestran los siguientes porcentajes, pero sin disminuir la calidad de entrega:

- Finalización a tiempo de los proyectos en cerca del 100% de los casos.
- Reducción de la duración de los proyectos entre un 20 y un 60%.
- Aumento del volumen de proyectos entre un 25% y un 100%.

1.2 ANTECEDENTES REFERENCIALES.

En los últimos años, debido al rápido crecimiento del sector construcción en nuestro país, se vienen desarrollando proyectos integrados, en todas sus fases, para lo cual se pretende gestar nuevas metodologías con el propósito de que los procesos para la gestión de proyectos mejoraran y así ser más competitivos tanto en plazos como en costos.

Es por ello que se tienen varias investigaciones referentes a la búsqueda de la satisfacción del cliente como producto final. Para el desarrollo de este plan de tesis, es conveniente mencionar los valiosos aportes que se obtuvieron de las tesis de los ingenieros, tanto de ámbito nacional como del extranjero:

Ámbito Nacional

- Vásquez Gonzales, D. (2017), "*Aplicación del método cadena crítica para la mejora en construcción de cimentaciones de torres auto soportadas – caso línea de transmisión 66 KV, en Sayán, Lima*". La metodología utilizada fue del tipo aplicada, de nivel explicativo, de diseño no experimental y la información usada fueron de 50 torres para el estudio de la tesis, dichas muestras se encuentran a lo largo del tramo comprendido entre las torres T04 – T09 de la línea de transmisión 66kV S.E. Yarucaya – S.E. Andahuasi; la selección de la muestra se hizo de manera intencional no probabilística y a decisión del investigador, que con la aplicación del método cadena crítica se mejoró los rendimientos en la construcción de cimentaciones para torres auto soportadas.
- Rojas Anaya, J. (2015), "*Metodología para la implementación del sistema Last Planner en un proyecto inmobiliario de habilitación urbana*", en la presente tesis el autor expone su proyecto relacionado con el uso del sistema del último planificador (Last Planner System), tanto en la etapa de diseño como en la de ejecución del proyecto, tomando como lineamiento principal el Método de Lean Construction (*Lean Project Delivery System*), que se enfoca no solo en un proceso de transformación, sino como un flujo de materiales e información que busca generar valor para el cliente o usuario, lo que permite optimizar la

productividad, al mejorar la confianza en la secuencia del flujo de trabajo, resultando una reducción de los desperdicios y las pérdidas.

- Tucto Pinedo, Gladys Karol (2017), "*Metodología de aplicación de la filosofía Lean construction y Last Planner System en la región San Martín*", en la presente tesis el autor expone su proyecto y recalca el interés de recopilar información referente al, rendimiento, metas establecidas, causas de no cumplimiento de metas y su corrección para tal caso; procurando en todo instante cambiar la filosofía del trabajador.

Ámbito internacional:

- García Gutiérrez, Manuel Felipe (2014), "*Análisis de aplicabilidad y beneficios del método de la cadena crítica (CCPM) en proyectos de ingeniería y construcción*", en la presente tesis el autor expone los comparativos entre los métodos CPM y el CCPM; en los cuales, si bien es cierto que el objetivo es común, la manera de lograrlo es lo importante, dando a conocer la reducción de los tiempos de ejecución de las actividades no solamente en la ruta crítica sino estableciendo prioridad en la cadena crítica.
- Magne Ayllon, Freddy Marlo (2008), "*Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I*", en la presente el autor enfoca la problemática de la zona, la cual se trata del poco abastecimiento de agua en las zonas rurales y la mejora del sistema de alcantarillado; para esto realiza un diseño general, tomando en cuenta diferentes parámetros que van desde la fuente de captación de agua, su tratamiento para consumo, población, la dotación para la misma etc.
- Celis Zapata, Lilibian Patricia (2013), "*Análisis de la política pública de agua potable y saneamiento básico para el sector rural de Colombia – periodo de gobierno 2010 – 2014*". En la presente el autor enfoca la problemática latino americana por excelencia; la gestión de los recursos y nos da a conocer los aciertos y limitaciones que tuvo la política pública en agua y saneamiento básico para zonas rurales en Colombia; el gobierno hizo esfuerzos importantes en el reconocimiento y priorización de recursos e identificación de estrategias de política encaminados a superar la problemática rural en Colombia. Por lo tanto, es fundamental que este esfuerzo no se diluya en acciones de poca efectividad que no logren los objetivos propuestos, (Celis 2013, p.24).

Todas estas estrategias y metodologías plantean, de alguna manera, el mismo objetivo, el cual es tener el control apropiado de los recursos y buscar la optimización de los costos de operación, mediante una planificación adecuada de las actividades componentes del proyecto, básicamente una buena organización y gestión de los recursos, así como de las actividades (programación).

1.3 PLANTEAMIENTO DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.

Virtud a los diferentes informes presentados por la Contraloría General de la República y a los varios mega operativos de control regional a nivel nacional de diferentes obras, los cuales muestran una radiografía sobre la situación y calidad de las obras, evidenciándose obras con demoras y/o retrasos, como consecuencia de deficiencias en los proyectos y/o poco compromiso por parte de la supervisión como ente importante en la fiscalización, contando muchas veces con causales recurrentes de *deficiencia técnica y/o incumplimiento contractual* por parte de la empresa contratista.

Pese a este panorama tan desalentador, en el sector de la construcción, el Estado se viene comprometiendo de manera constante en el apoyo e incluso generándoles bonos de reactivación; en este contexto de pandemia, cabe destacar que el Estado no los está desamparando.

Además se tiene información relevante de parte de la Contraloría General de la República y de los órganos de control institucional, donde informaron que hasta el 31 de julio del 2018 existieron 867 obras paralizadas; entre obras a nivel de Gobierno Nacional como Regional el monto total de contratación con el estado asciende a 16,870'855,767.00 soles; de los cuales el 57% y 43% pertenecen a los del Gobierno Nacional y Gobierno Regional respectivamente; además de las 867 obras paralizadas, son 340 cuyos causales son por *deficiencia técnica y/o incumplimiento contractual*.

En la etapa post pandemia, el gobierno viene incorporando proyectos financiados por la **Autoridad para la Reconstrucción con Cambios** (ARCC).

Por tal motivo se concluye que se debe contar con un sistema más compacto, donde el factor preponderante, sea la gestión, tanto de los procesos constructivos como de los recursos, para así de esta manera tener mejor control sobre los recursos tanto (humanos, materiales y financieros).

Por lo expuesto anteriormente, hoy en día la figura del Project Manager y el gestor de proyectos adquieren cada vez mayor relevancia para plantear estrategias más eficientes para el manejo de los recursos, entonces es necesario implementar herramientas que permitan medir de forma oportuna y continua el desempeño laboral en un proyecto de construcción, vale decir buscar un mejor rendimiento y lograr cada vez tiempos más cortos en la ejecución de un proyecto.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La problemática de la gestión de los recursos, se vienen acentuando cada vez más, los sistemas y/o proyectos hoy en día necesitan y requieren de prácticas y metodologías más dinámicas, que faciliten aumentar la probabilidad de éxito de sus proyectos, de manera que puedan hacer uso de beneficios en el tiempo esperado y con los recursos que disponen y aseguren de forma efectiva los objetivos estratégicos de la organización.

Dado lo versátil y dinámico que es la aplicación de la metodología de la Cadena Crítica, aseguramos que puede contribuir a optimizar el uso del tiempo y de los recursos para la mejor gestión en los proyectos.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Aplicar el Método de la Cadena Crítica (CCPM), en la programación de obras para mejorar la productividad en proyectos de saneamiento.

1.5.2 Objetivos específicos

- Realizar la programación de obras aplicando la metodología PERT- CPM, para determinar la ruta crítica y tomar en cuenta la priorización de las partidas durante su ejecución.
- Utilizar la teoría de la cadena crítica, para la mejora de la gestión y manejo de los recursos del proyecto.
- Realizar un análisis comparativo entre los resultados que ambas metodologías brindan al mismo proyecto, a fin de determinar diferencias cuantitativas en tiempos de ejecución en la obra.

1.6 HIPÓTESIS

Se busca mejorar la gestión de los procesos constructivos y la productividad; disminuyendo los tiempos improductivos, evitando las multitareas; para lograr reducir los costos de operación, de esta manera obtendremos mejor rentabilidad al final del proyecto y una reducción del tiempo de ejecución, pretendiendo siempre la mejora continua.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

La Gerencia en la Construcción, juega hoy en día un papel importantísimo, no solamente en cuanto al planeamiento, sino también en la administración apropiada de los tiempos de ejecución de las actividades involucradas en un proyecto, enfocándose básicamente en un planeamiento estratégico, secuencia de actividades lógicas y por su puesto la programación y el control de obra.

2.1 MÉTODO DE LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL

El método de la producción industrial o de la construcción en cadena, busca la división del objeto de construcción o proyecto de construcción en entregables o unidades de producción, para esto se utiliza la EDT (Estructura de descomposición del trabajo) o el desmembramiento del proceso de construcción como base de organización.

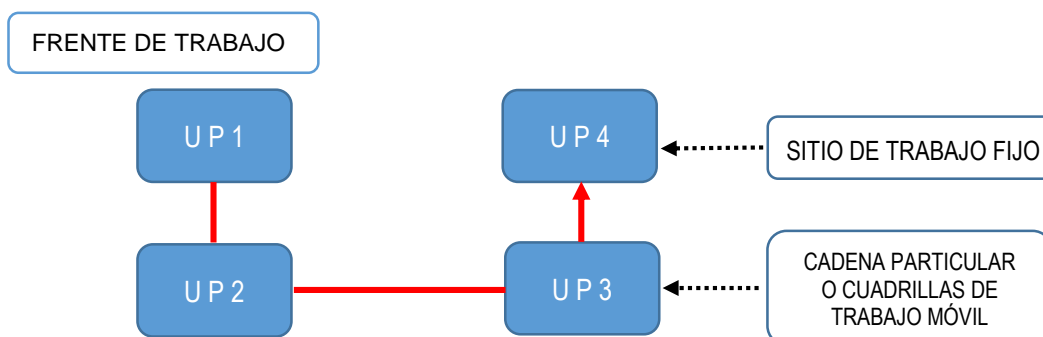
La unidad de producción es una unidad de producto final entregable, este puede ser una losa, columna, conjunto de columnas, un piso de un edificio etc. Lo importante es que al dividir el proyecto o sub proyecto en unidades de producción, estos sean de un mismo tipo, de volúmenes parecidos y que exista coherencia entre la parte constructiva y la estructural.

Sobre las unidades de producción se ejecutarán determinadas actividades en orden lógico y secuencial hasta convertirla en un entregable, para otras actividades a esto se le denomina Método de la construcción en cadena o método de la producción industrial.

En la Figura 1 se muestra un esquema de cómo trabajan las cuadrillas en las diversas unidades de producción (UP) de un frente de trabajo.

Figura 1

Procesos Productivos de las Cadenas, en UP



Nota. Esquema de Unidades de Producción. Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 16)

La cadena de construcción que hace un determinado tipo de trabajo se les denomina cadenas particulares, ejemplo colocación de armadura, excavación de zanja con equipo, a pulso, tarrajeo, etc.

El conjunto de cadenas particulares con trabajos afines se les denomina cadenas especializadas, ejemplo cadena especializada de cimentación, de acabados secos, de acabados húmedos etc.

Para desarrollar la programación de obra por el método de construcción en cadena, se debe definir el tipo de objeto de construcción, luego se divide el espacio en frentes de trabajo y unidades de producción manteniendo siempre una coherencia entre la parte constructiva y estructural, terminada la división del espacio se procede a determinar las actividades necesarias para la construcción del proyecto, para lo cual se divide el trabajo en partes más pequeñas como en procesos simples u operaciones, dependiendo de la envergadura del proyecto.

Por último, se determina las secuencias constructivas y las duraciones de las actividades tanto las que se llevaran a cabo en la unidad de producción como entre las unidades de producción.

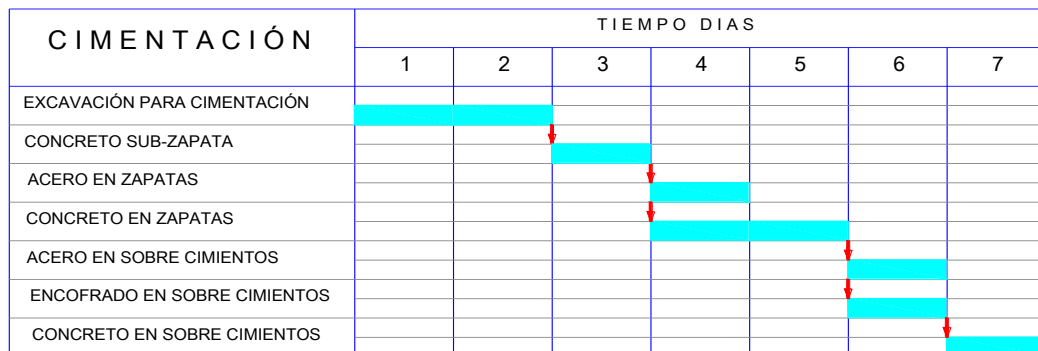
2.1.1 CONCEPTOS CLAVES DE LA CADENA DE CONSTRUCCIÓN

2.1.1.1 Normal Tecnológica

La Normal Tecnológica es una gráfica que muestra el desmembramiento del proceso de construcción en procesos y operaciones, que se llevan a cabo sobre un determinado frente de trabajo o unidad de producción. La Normal Tecnológica muestra la duración de las tareas o cadenas particulares y la relación de dependencia con otras cadenas las cuales pueden ser de comienzo – comienzo o fin – comienzo. Ver Figura 2.

Figura 2

Se Aprecia Normal Tecnológica de una Típica Vivienda



Nota. Descripción de Procesos Productivos de Cadena Especializada de Cimentación.

Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 21

Como se observa en la Figura 2 la Normal Tecnológica se elaboró para el frente de trabajo "CIMENTACIÓN" y para una unidad de producción, pudiendo tener este frente la cantidad de unidades de producción que se desee. Esta Normal Tecnológica se realizó con un desmembramiento de los procesos de construcción hasta las operaciones.

Esta distribución de los procesos puede repetirse en las demás unidades de producción o pueden ser diferente tanto en números de procesos, duración o relaciones de precedencia, siempre que se elabore con una lógica de trabajos que representen los trabajos reales a realizar en la obra u objeto de construcción.

Generalmente se busca que los Metrados en las unidades de producción de un frente determinado sean parecidos, para obtener tiempos de trabajo constantes en las tareas de cada unidad de producción y así facilitar el control y hacer más fácil la programación.

2.1.1.2 Ciclograma

El Ciclograma es una gráfica en la cual se busca representar los diversos procesos a realizarse en una obra de construcción, estos procesos o cadenas particulares recorren las unidades de producción de un frente, estableciendo una duración determinada en cada una y generando así las cadenas productivas, el conjunto de estas cadenas buscan obtener productos finales, como un piso de un edificio o un kilómetro de carretera etc.

El **Ciclograma**, que en cuyo eje vertical muestra las unidades de producción agrupadas en un frente de trabajo y en el eje horizontal muestra una escala de tiempo. Sobre este marco se dibujan las cadenas particulares agrupadas en cadenas especializadas que pasan por las unidades de producción formando cadenas productivas.

2.1.1.3 Parámetros de la Construcción en Cadena.

a) Parámetros de espacio.

Unidad de producción (UP): Es el espacio donde se desarrollan las cadenas particulares. Un frente de trabajo está compuesto por m unidades de producción y su tamaño es función de:

- Los requerimientos técnicos del recurso humano asignable, es decir, el tamaño debe ser tal que permita el trabajo normal de las cuadrillas asignadas y corresponda por lo menos con el rendimiento de la cuadrilla unitaria.
- El tamaño de la unidad de producción debe tener una compatibilidad coherente con la concepción estructural, por ejemplo, un adecuado

tamaño de losa para evitar agrietamiento o que estructuras que sean monolíticas con otras no permitiría una construcción en unidades separadas.

Frente de trabajo (FT): Es el espacio donde se desarrolla una actividad específica por ejemplo cimentación, piso 1 etc., se puede dividir en unidades de producción.

Parcelas: Es el frente de trabajo asignada a un obrero o cuadrilla de obreros.

b) Parámetros Tecnológicos. -

Número de cadenas particulares (m): Es el número de tareas que se necesitaran para la construcción del objeto de construcción, este se obtiene del desmembramiento del proceso de construcción.

Volumen de trabajo (P): Es la cantidad de trabajo que deberá ejecutar una cadena particular en un frente de trabajo determinado o para una unidad de producción, este se obtiene al hacer el metrado de la actividad.

Trabajosidad de la cadena particular (Q): Es la cantidad de trabajo expresada en *horas-hombre* o en unidades de tiempo que se requiere al ejecutar el trabajo la cuadrilla unitaria.

$$Q = \frac{P}{R}$$

P : Volumen de trabajo en las **m** unidades de producción.

R : Rendimiento de la cuadrilla.

Intensidad de la cadena (i): Es el volumen de trabajo en la unidad de tiempo de que ejecuta una cadena.

$$i = \frac{P}{T}$$

P : Volumen de trabajo en las **m** unidades de producción.

T : Tiempo programado de la cadena o duración de la cadena.

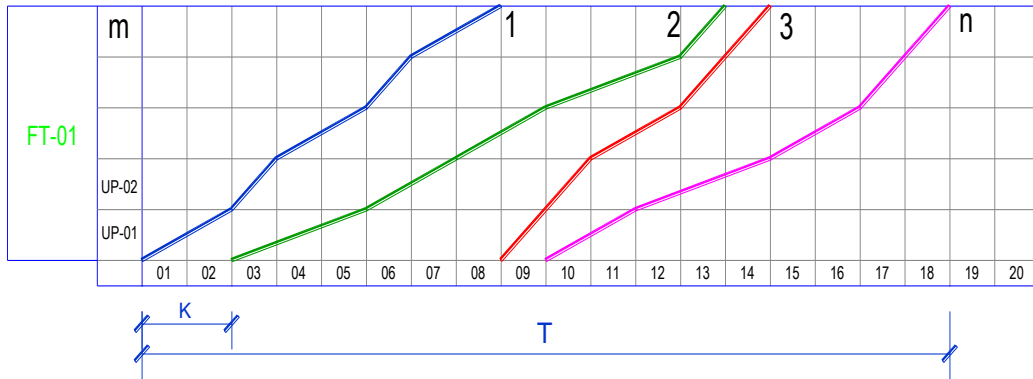
c) Parámetros de tiempo.

Módulo de Ciclicidad (k). - Es el tiempo que necesita la cadena para ejecutar una unidad de producción, se dice que la cadena es rítmica cuando este módulo es igual en todas las unidades de producción.

Paso de la cadena (ko). - Es el tiempo que pasa desde que comienza a ejecutarse una cadena hasta que se ejecute su cadena sucesora, depende de la relación entre las cadenas o del cálculo de acercamientos, ver Figuras 3 y 4

Figura 3

Ciclograma de Construcción del Frente de Trabajo FT-01



Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 22

Donde:

m : Número de unidades de producción.

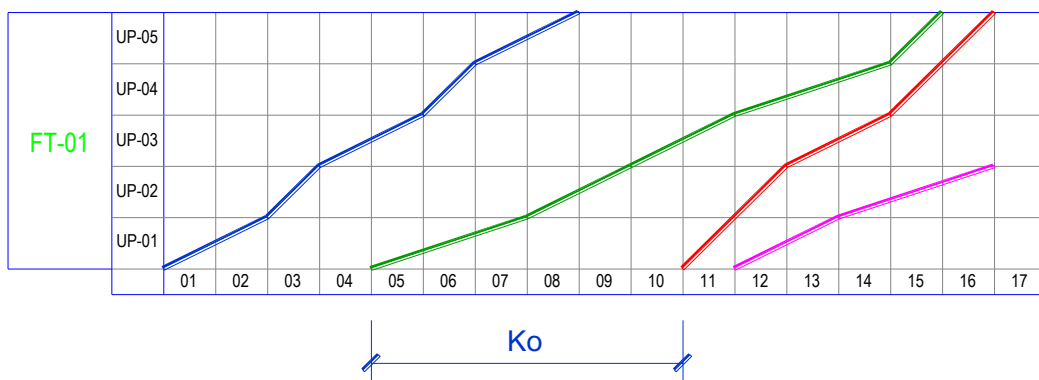
n : Número de cadenas particulares.

k : Módulo de Ciclicidad o duración de la cadena en la unidad de producción.

T : Tiempo programado de la cadena de construcción.

Figura 4

El Paso Ko entre las Cadenas de Color Verde y Rojo



Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 24

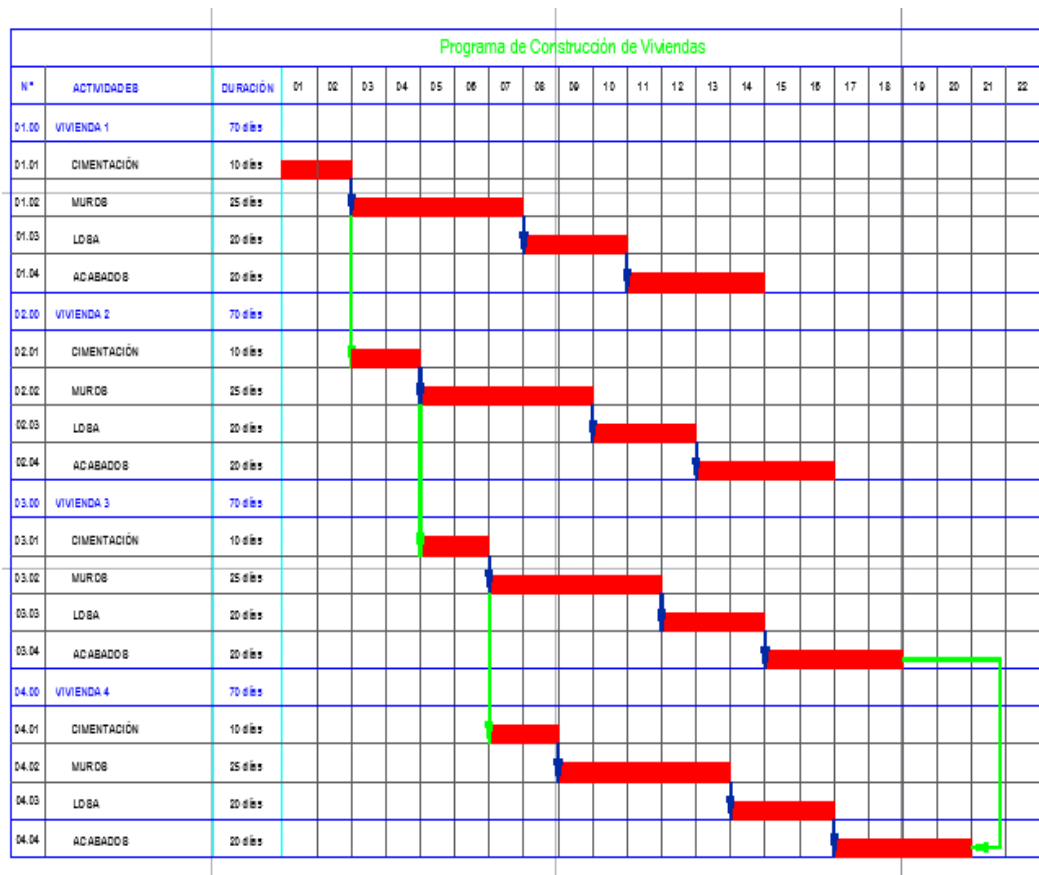
2.1.2 Importancia del Método de Construcción en Cadena.

La importancia del Método de Construcción en Cadena, radica en programar una forma de construcción que permita una división del trabajo en volúmenes similares, generando una repetición de trabajos que redundan en un mejor control de las actividades, logrando una corrección de la información y mejorando así la curva de aprendizaje.

Al generar una gráfica que muestra cómo se desarrollan los trabajos por todas las unidades de construcción se permite observar como interaccionan las tareas unas con otras en el lugar y tiempo y se puede ver el ritmo de construcción y demás características, ver Figura 5.

Figura 5

Programación Gantt de un Conjunto de Viviendas Típicas



Fuente: Adaptada de Loria Arcila, José, 2007, Pág. 6

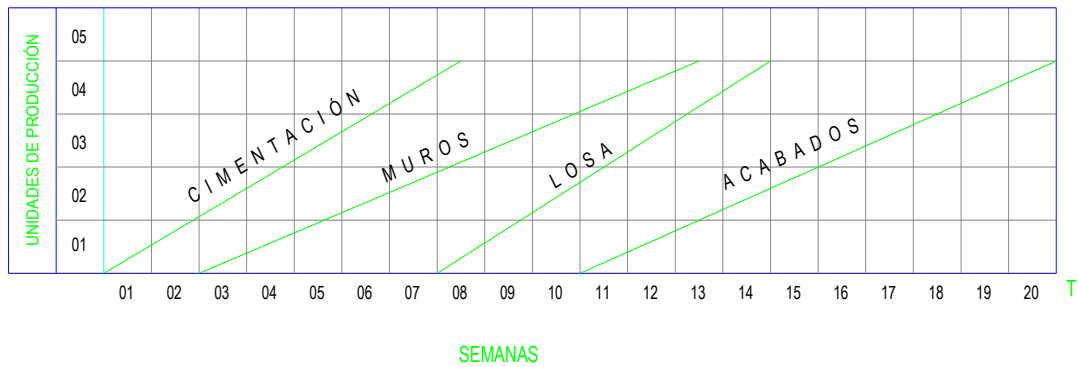
A diferencia de un diagrama de barras donde se muestra la duración de una actividad determinada como una línea o barra horizontal, en el Ciclograma las duraciones de las tareas se muestran inclinadas, relacionando así tanto el tiempo como el espacio o lugar de trabajo donde se llevará a cabo una determinada actividad, mediante esta gráfica se puede entender el ritmo de trabajo de las actividades o cadenas particulares, la relación de una cadena respecto a sus

cadenas vinculadas, la ubicación en el espacio o unidad de producción de una cadena en un día determinado etc.

Usando el mismo ejemplo del proyecto, en el Ciclograma se vería como se muestra en la Figura 6

Figura 6

Ciclograma Típico en un Proceso de Construcción



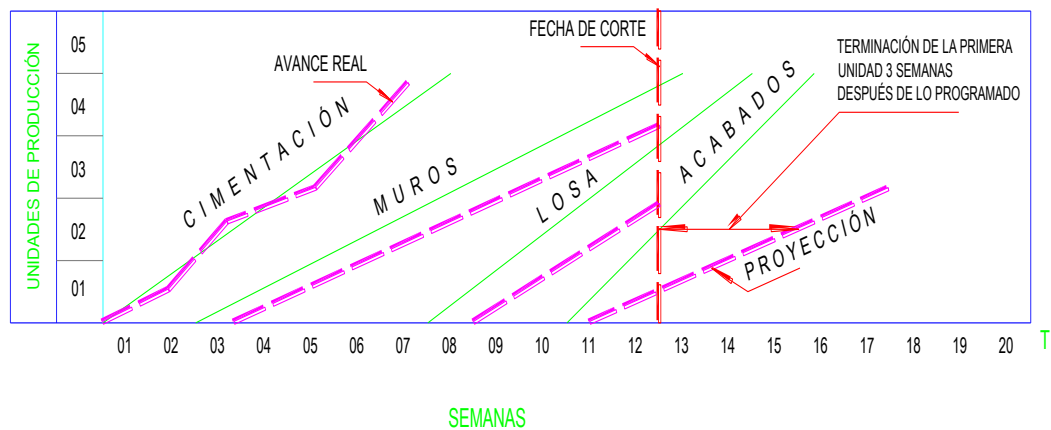
Fuente: Adaptada de Loria Arcila, José, 2007, Pág. 6

La gráfica del Ciclograma muestra un panorama general de todas las cadenas desarrollándose por las diversas unidades pudiendo compararse los avances programados con los avances reales.

Las fechas de termino de determinadas unidades de producción podrían extrapolarse basándose en el ritmo del trabajo real, encontrándose el retraso de las actividades y corrigiéndolas por ejemplo mediante un aumento de recursos; (ver Figura 7).

Figura 7

Comparación de Avance Real con lo Programado en Obra



Fuente: Adaptada de Loria Arcila, José, 2007, Pág. 8

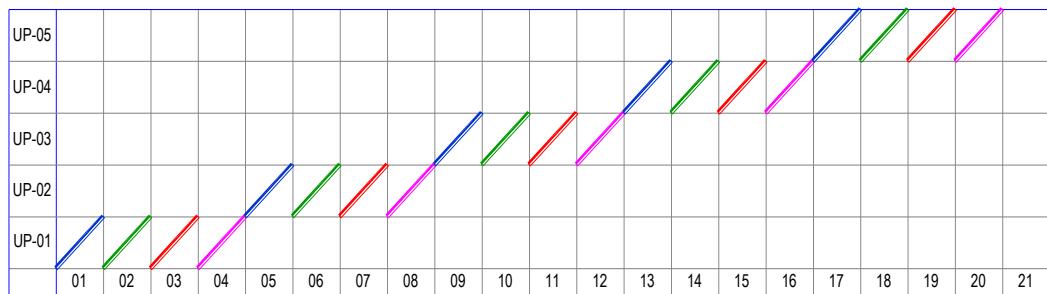
2.1.3 Formas de los Métodos de la Construcción en Cadena

El desarrollo de las cadenas de construcción sobre las unidades de producción puede hacerse de las siguientes formas:

- a) Método sucesivo. Este método realiza el desarrollo de los procesos de manera lenta, esperando que todas las cadenas particulares se ejecuten sobre una determinada unidad de producción para recién pasar a la siguiente, debido a esto, su consumo de recursos es baja y se generan varios tiempos muertos; ver Figura 8.

Figura 8

Desarrollo de Procesos en Forma Sucesiva



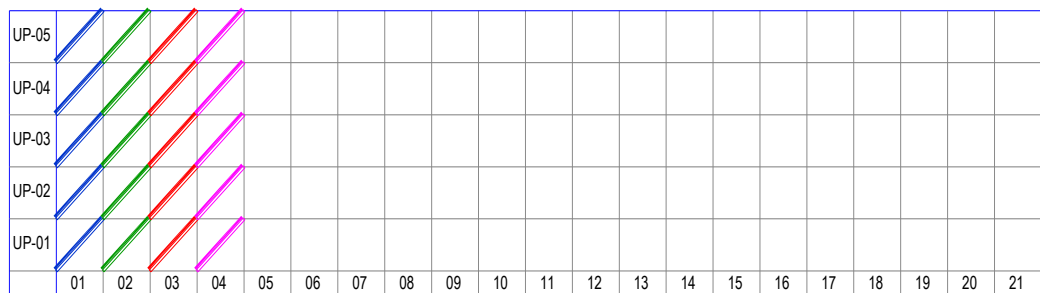
Nota. Se aprecia Ciclograma con el Desarrollo de los Procesos de forma Sucesiva.

Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 18

- b) Método paralelo: El desarrollo de los procesos según este método se realiza de forma paralela, disminuyendo los tiempos muertos, pero con un gran uso de recursos; ver Figura 9.

Figura 9

Desarrollo de Procesos en Forma Paralela



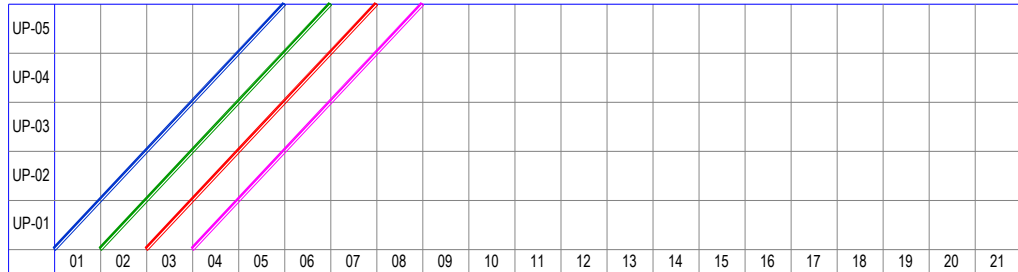
Nota. Se aprecia Ciclograma con el Desarrollo de los Procesos de forma Paralela.

Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 18

- c) Método en Cadena: Este método busca un desarrollo de procesos más equilibrada y con un consumo de recursos que crece de forma gradual; ver Figura 10

Figura 10

Desarrollo de Procesos en Forma de Cadena



Nota. Se aprecia Ciclograma con el Desarrollo de los Procesos en forma de Cadena.

Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 18

2.1.4 Variedades de Cadenas de Construcción

La variedad de Cadenas de Construcción se ve en la Figura 11 y son las siguientes:

- CADENA COMPLEJA
- CADENA OBJETO
- CADENA ESPECIALIZADA
- CADENA PARTICULAR

Figura 11

Clasificación de Cadena de Construcción según Envergadura



Nota. Clasificación la cadena de construcción según su envergadura, nivel de desmembramiento y uso de recursos. Una cadena con tiempos de trabajo parecidos mantendría un uso de recursos rítmico y generaría por tanto una cadena de construcción estabilizada.

Fuente: Adaptada de Ríos Segura Juan Kiev, 1975

2.1.4.1 Cadena Compleja

La cadena compleja abarca un conjunto de cadenas objetos cuyos frentes de trabajo son diversas, pudiendo incorporarse actividades con gran volumen de trabajo y de diferentes campos como hacer carreteras y construir edificaciones, todo en un solo proyecto.

2.1.4.2 Cadena Objeto

La cadena objeto están conformadas por cadenas especializadas y presentan características según el espacio que ocupa como:

- ✓ Concentradas: Objetos de construcción concentrados en una zona específica, por ejemplo, un edificio.
- ✓ Lineales: Objetos de construcción que abarcan diversas zonas, por ejemplo, carreteras, canales etc.
- ✓ Diseminados: Objetos de construcción repartidos en diferentes lugares.

2.1.4.3 Cadena Especializada

Estas cadenas de construcción ejecutan procesos simples en una obra tales como la cimentación, columnas etc.

2.1.4.4 Cadena Particular

Las cadenas especializadas están conformadas por las cadenas particulares las cuales ejecutan operaciones determinadas como encofrado, vaciado de concreto etc.

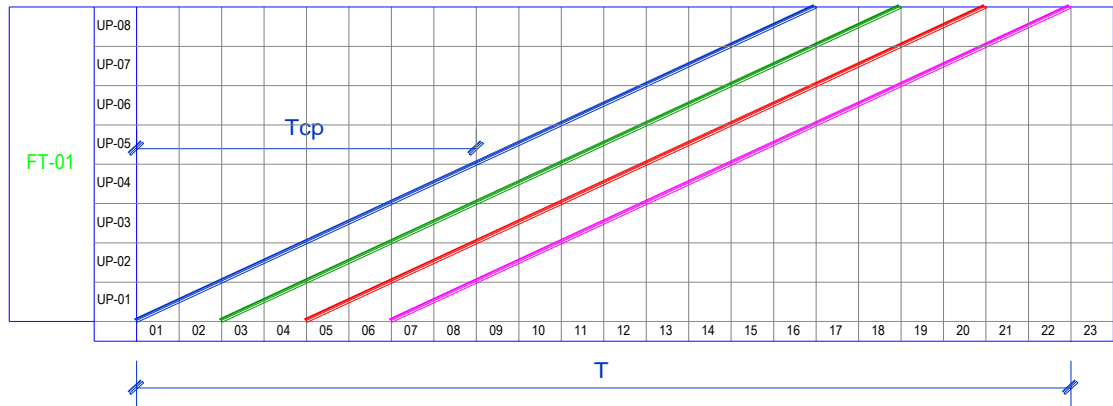
2.1.5 Teoría de la Cadena Especializada.

2.1.5.1 Cadena Especializada rítmica.

Esta cadena especializada presenta sus cadenas particulares con las mismas duraciones ver Figura 12

Figura 12

Ejemplo de Cadena Especializada Rítmica



Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 24

Donde:

T_{cp} : Duración del ciclo de producción.

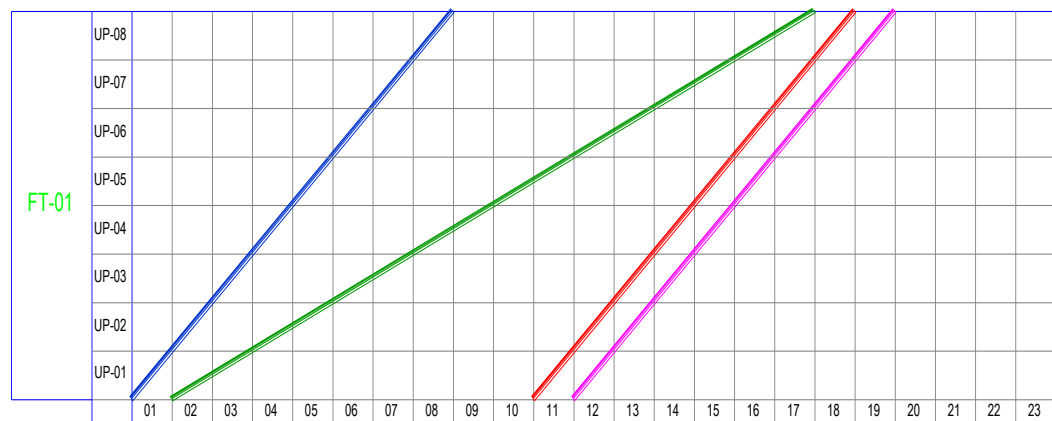
T : Duración de la cadena de producción.

2.1.5.2 Cadena Especializada con Ritmo múltiple

Es aquella cadena especializada cuyas cadenas particulares tienen módulos de Ciclicidad que son múltiplos ver Figura 13. Este tipo de cadena genera tiempos muertos.

Figura 13

Cadena Especializada con Ritmo Múltiple



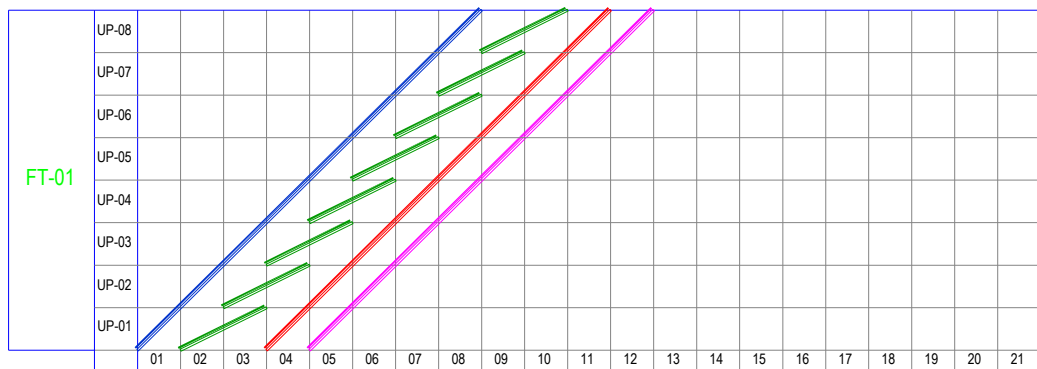
Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 25

Si se desea evitar estos tiempos muertos se puede aplicar el procedimiento de nivelación de ritmos, acción que implica la asignación de un mayor número de recursos ver Figura 14.

Para la cadena de color verde dos cuadrillas se organizan de tal forma de ejecutar una unidad de producción y pasar a otra de tal forma que reducen la duración del trabajo en todo el frente.

Figura 14

Ejemplo de Nivelación de Ritmos



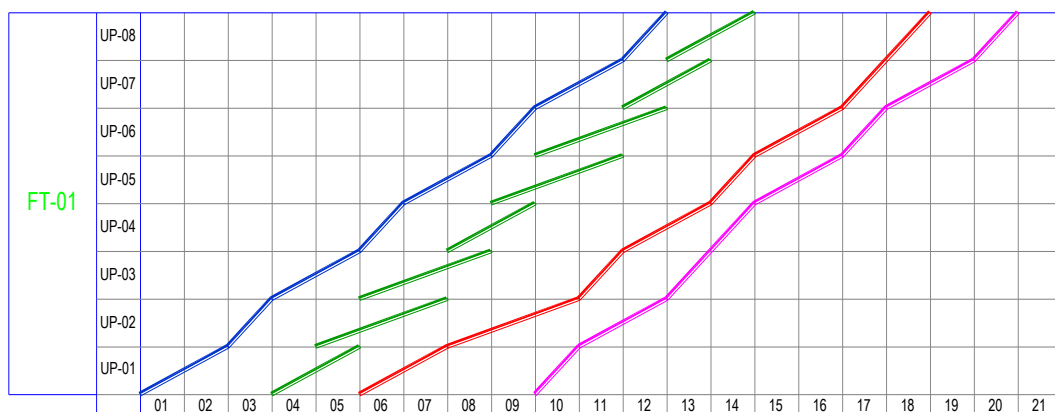
Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 25.

2.1.5.3 Cadena Especializada arrítmica

Es la cadena especializada que tiene cadenas particulares con ritmos diferentes y duraciones en cada unidad de producción también distintas. Esto es debido a que las unidades de producción que se escogieron tienen Metrados distintos y al trabajar con una misma cuadrilla se generan duraciones variables, ver Figura 15.

Figura 15

Ejemplo de Cadena Especializada Arrítmica



Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 26

2.1.6 Teoría de la Cadena de Objeto

La cadena de objeto es la conjunción de varias cadenas especializadas en diversos frentes de trabajo cada uno con diversas unidades de producción.

El comienzo de cada cadena particular debe ser tal que la cadena tenga un frente de trabajo disponible para continuar con su normal desarrollo.

Es posible que en determinada unidad de producción no se trabaje o que se haga de manera discontinua, esperando que otra cadena de otro frente termine.

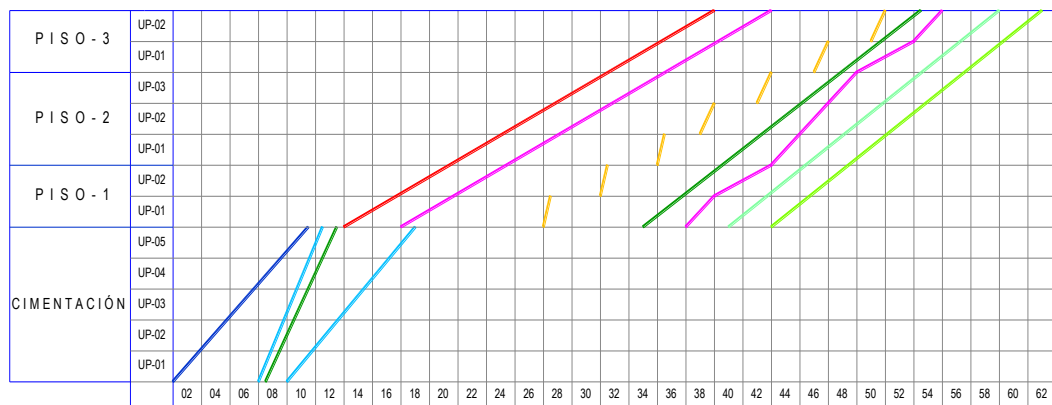
También se pueden disponer las cadenas particulares para que trabajen en forma paralela en parcelas que pueden ser las unidades de producción, se pueden utilizar grupos de cuadrillas en cada UP con el fin de disminuir la duración del proyecto.

En la Figura 16 se puede observar que varias cadenas particulares (de un mismo color) trabajan en distintos frentes algunos con diferentes duraciones y ubicándose según lo que el programador disponga como óptimo.

Las cadenas se disponen continuas en su trabajo pasando de una unidad de producción a otra, debido a esto, el comienzo de una cadena está restringida a un cálculo de acercamiento con la cadena predecesora de tal forma que no exista colisiones, es decir, se respeta la relación de precedencia para cada unidad de producción.

Figura 16

Ciclograma de una Cadena de Objeto



Fuente: Adaptada de Baltazar Silva, José Carlos, 2012, Pág. 27.

2.2 MÉTODO DE LA RUTA CRÍTICA (CPM – Critical Path Method).

El Método de la Ruta Crítica, fue desarrollado en 1957 en los Estados Unidos de América, por un centro de investigación de operaciones para las firmas Dupont y Remington Rand, buscando el control y la optimización de los costos mediante la

planificación y programación adecuadas de las actividades componentes del proyecto.

Se trata de un algoritmo utilizado para el cálculo de tiempos y plazos en la planificación de proyectos, cuando los tiempos y costos se pueden estimar relativamente bien, el CPM puede ser superior a PERT.

Este método se aplica también como respuesta a la problemática de la gestión de los recursos y/o actividades, pero queda establecido el potencial que el método ofrece de cara a la introducción de modificaciones durante la ejecución, ya que sólo utiliza un tiempo por actividad, basado en la experiencia, ha hecho que este se imponga en la práctica.

En administración y gestión de proyectos, una ruta crítica es la secuencia de los elementos terminales de la red de proyectos con la mayor duración entre ellos, determinando el tiempo más corto en el que es posible completar el proyecto; la duración de la ruta crítica determina la duración del proyecto entero. Cualquier retraso en un elemento de la ruta crítica afecta a la fecha de término planeada del proyecto, y se dice que no hay holgura en la ruta crítica

En términos prácticos, la ruta crítica se interpreta como la dimensión máxima que puede durar el proyecto y las diferencias con las otras rutas que no sean la crítica, se denominan tiempos de holgura.

Ambos métodos aportaron los elementos administrativos necesarios para formar el método del camino crítico actual, utilizando el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor costo posible.

El Método de la Ruta Crítica utiliza los diagramas de precedencia elaborados en el diagrama de Gantt y para determinar dicha *ruta crítica* en un proyecto, la ruta crítica son un conjunto de tareas o actividades vinculadas entre sí que no teniendo holgura determinan el plazo de ejecución del proyecto, debido a que un retraso en cualquier actividad de la ruta crítica conlleva al atraso del proyecto.

La holgura libre, es la cantidad de tiempo de una actividad que puede retrasarse sin afectar a las actividades que le suceden.

La holgura total es la cantidad total de tiempo que una actividad puede retrasarse sin causar ningún retraso en la duración total del proyecto. Este retraso puede retrasar a alguna de las actividades que le siguen, pero sin afectar la duración del proyecto.

Las actividades que pertenezcan a la ruta crítica deben ser controladas de tal forma de proveerlas de los recursos necesarios para que su terminación sea según lo programado y evitar así atrasos que conllevaran a pérdidas en el proyecto.

2.2.1 Descripción de la metodología.

La descripción del método tiene dos orígenes que son el método de PERT (Program Evaluation and Review Technique) y el método CPM (Critical Path Method), ambos comparten conceptos y metodología, siendo la diferencia principal entre ellos la forma de estimar las duraciones de las actividades del proyecto; el CPM estima las duraciones de las actividades de manera determinística y el PERT en cambio utiliza estimaciones probabilísticas.

En el CPM se calculan las fechas teóricas de inicio y finalización tempranos y tardíos para todas las actividades sin considerar, las limitaciones de recursos, con un análisis que recorre en adelante y hacia atrás toda la red del cronograma. Las fechas de inicio y finalización tempranos y tardíos resultantes no constituyen el cronograma final, sino que más bien indican los periodos dentro de los cuales pueden planificarse las actividades, teniendo en cuenta las duraciones de las actividades, las relaciones lógicas, los adelantos, los retrasos y otras restricciones conocidas.

Las diferencias entre las fechas de inicio y finalización tempranas y las tardías calculadas definen las holguras de cada actividad, cuyo valor puede ser positivo, negativo o nulo. En cualquier camino de la red (secuencia de actividades), la flexibilidad del cronograma se mide por la diferencia positiva entre las fechas tempranas y tardías la cual se conoce como "*holgura total*". Los caminos críticos tienen una holgura total igual a cero o negativa y las actividades del cronograma en ese camino reciben el nombre de "*actividades críticas*".

Las redes pueden tener varios caminos críticos y será necesario realizar ajustes a las duraciones de las actividades, a sus relaciones lógicas, a los adelantos, atrasos o a otras restricciones del cronograma para lograr caminos de red con holgura total igual a cero o positiva. Una vez que se tiene calculado la holgura total de un camino de la red, entonces puede calcularse la holgura libre, que es la cantidad de tiempo que una actividad puede retrasarse dentro de un camino de red, sin demorar la fecha de inicio temprana de cualquier actividad sucesora inmediata dentro de dicho camino de red.

El método del Camino Crítico consta de dos ciclos:

- El primero de planificación y programación del proyecto, el cual comprende la generación de la lista de actividades con secuencia lógica constructiva, tiempos de ejecución, red de actividades, asignación de recursos, costos.
- El segundo de seguimiento y control de la ejecución del proyecto, el cual incluye como procesos principales, el informar del trabajo realizado, controlar el cronograma y controlar los costos y plazos.

Para la aplicación del CPM se requiere confeccionar una malla o red de las actividades, para el cual utilizaremos la nomenclatura de “*actividad en el nodo*”.

Para realizar cada actividad, se debe usar una de estas relaciones de precedencia:

Final-Comienzo (FC): Una actividad B solo se puede iniciar si la actividad A esta terminada.

Final-Final (FF): Las actividades A y B deben terminar simultáneamente.

Comienzo-Comienzo (CC): Las actividades A y B deben iniciarse simultáneamente.

Comienzo-Final (CF): Una actividad B solo se puede finalizar luego de ser iniciada otra actividad A.

Para definir el tipo de precedencia entre actividades se requiere de una cierta cuota de experiencia profesional en el área o proyectos afines.

Se puede utilizar la siguiente nomenclatura para un nodo cualesquiera (Ver Figura 17); Información concerniente al nodo de cada malla.

Figura 17

Descripción de una Malla Típica



- Duración esperada para la actividad
- Tiempo de inicio más temprano (ES= Earliest Start)
- Tiempo de termino más temprano (EF= Earliest Finish)
- Tiempo de inicio más tardío (LS= Latest Start)
- Tiempo de termino más tardío (LF= Latest Finish)
- Holgura de la actividad H.

2.2.2 Debilidades del método del CPM

A partir de análisis realizado de datos expuestos por Standish Group y otras publicaciones de casos reales de gestión de proyectos y de las observaciones y reflexiones de algunos autores como Shonberger y Goldratt, se destacan 6 efectos indeseables (debilidades) en la utilización de Método de Camino Crítico:

1. *Las variaciones en las estimaciones de las duraciones.* - Con el objeto de intentar asegurar el término de la tarea en la fecha prevista, normalmente se estiman duraciones de ejecución de una actividad altamente probable, dando lugar a que la estimación “segura” de la duración con una probabilidad de realización de la actividad en un 90%.
2. *El síndrome del estudiante.* - existen comportamientos que tienden a consumir los márgenes de seguridad e incitan a realizar la mayor parte del trabajo al final del tiempo programado; se realiza menos de un tercio del trabajo durante los dos primeros tercios del tiempo y durante el último tercio el trabajo faltante; trayendo como consecuencia final que, ante cualquier inconveniente o problema, no tengamos tiempo para resolverlo sin que afecte la fecha fin de la tarea.
3. *La imposibilidad de aprovechar las variaciones positivas.* - existe una cultura sugestionada por las fechas y los hitos, de modo que aún terminándose una tarea antes de su fecha de fin, el trabajo no se entrega hasta la fecha prevista.
4. *Los retrasos como consecuencia de las dependencias de las tareas.* - En un proyecto suele haber varios caminos que se unen hacia el fin del proyecto, el retraso en uno de ellos provoca que, aunque el resto de actividades termine en plazo, la tarea siguiente se retrase; en definitiva, cuando varios caminos se integran para dar lugar a otro, se pierden las variaciones positivas del tiempo y se transmiten los retrasos.
5. *La multitarea.*- Es la realización de múltiples actividades o partidas del proyecto “al mismo tiempo”; en la práctica no somos buenos para realizar dos actividades al mismo tiempo, creemos que por ejemplo

realizando una actividad en la mañana y otra en la tarde, vamos a economizar tiempo o mejorar la eficiencia y que lo único que esta estrategia asegura es que las personas se encuentren en actividad todo el día; y que no toman en cuenta el tiempo que se toma en empalmar al día siguiente con la actividad que se dejó pendiente y que cuesta reengancharse con la relación con dicha actividad, lo cual a la larga es contra productivo.

6. *La pérdida de atención al CPM.* - Existen diversos aspectos que influyen en la dificultad del Ingeniero Residente para centrarse en los aspectos importantes que permiten alcanzar los objetivos del proyecto, un exceso en los niveles de actividad y responsabilidad tiene como efecto la pérdida de atención en las actividades críticas del proyecto y por ello en el cumplimiento del plazo.

2.2.3 Características principales del CPM.

Las principales características de esta metodología son:

- Es determinístico; ya que considera que los tiempos de las actividades se conocen y se pueden variar cambiando el nivel de recursos utilizados.
- Considera que las actividades son continuas e interdependientes, siguen un orden cronológico y ofrece parámetros del momento oportuno del inicio de la actividad.
- A medida que el proyecto avanza, estos estimados se utilizan para controlar y monitorear el progreso, si ocurre algún retraso en el proyecto, se hacen esfuerzos por lograr que el proyecto quede de nuevo en programa cambiando la asignación de recursos.
- Considera tiempos normales y acelerados de una determinada actividad, según la cantidad de recursos aplicados en la misma.

Los métodos tanto PERT / CPM se fusionaron, aportando cada uno diferentes elementos e integrándose de tal manera que es común designarlos hoy en día con la sigla conjunta (PERT / CPM), considerado un sistema único, más conocido actualmente como **Método del Camino Crítico**, que utiliza el control de los tiempos de ejecución y los costos de operación, para buscar que el proyecto total sea ejecutado en el menor tiempo y al menor.

2.2.4 Planeación, programación y control según el método de CPM.

El CPM considera los recursos necesarios para completar las actividades, en muchos proyectos, las limitaciones en mano de obra y equipos hacen que la

programación sea difícil, el CPM identifica los instantes del proyecto en que estas restricciones causarán problemas y de acuerdo a la flexibilidad permitida por los tiempos de holgura de las actividades no críticas, permite que el gerente manipule ciertas actividades para aliviar estos problemas.

El CPM proporciona una herramienta para controlar y monitorear el progreso del proyecto. Cada actividad tiene su propio papel en éste y su importancia en la terminación del proyecto se manifiesta inmediatamente para el director del mismo. Las actividades de la ruta crítica, permiten, por consiguiente, recibir la mayor parte de la atención, debido a que la terminación del proyecto, depende fuertemente de ellas. Las actividades no críticas se manipularán y remplazarán en respuesta a la disponibilidad de recursos.

La programación de proyectos por CPM consiste en tres fases básicas.

2.2.4.1 *Planeación.*

Se inicia descomponiendo el proyecto en actividades distintas. Las estimaciones de tiempo para estas actividades se determinan luego, y se construye un diagrama de red (de flechas), donde cada uno de sus arcos (flechas) representa una actividad. La construcción del diagrama de flechas como una fase de planeación, tiene la ventaja de estudiar los diferentes trabajos en detalle, sugiriendo quizá mejoras antes de que el proyecto realmente se ejecute.

2.2.4.2 *Programación*

El principal objetivo de esta etapa es construir un diagrama de tiempo que muestre los tiempos de iniciación y terminación para cada actividad, así como su relación con otras actividades del proyecto. Además, el programa debe señalar las actividades críticas (en función del tiempo) que requieren atención especial si el proyecto se debe terminar oportunamente. Para las actividades no críticas, el programa debe mostrar los tiempos de holgura que pueden utilizarse cuando tales actividades se demoran, o cuando se deben usar eficientemente recursos limitados.

2.2.4.3 *Control*

Esta fase incluye el uso del diagrama de flechas y la gráfica de tiempo para hacer reportes periódicos del progreso. La red puede, por consiguiente, actualizarse y analizarse y si es necesario determinar un nuevo programa para la parte restante del proyecto.

El campo de acción del método CPM es muy amplio, dada su gran flexibilidad y adaptabilidad a cualquier proyecto grande o pequeño.

Para obtener los buenos resultados debe aplicarse a los proyectos que posean las siguientes características:

- Que el proyecto sea único, no repetitivo, en algunas partes o en su totalidad.
- Que se deba ejecutar todo el proyecto o parte de él, en un tiempo mínimo, sin variaciones, es decir, en tiempo crítico.
- Que se desee el costo de operación más bajo posible dentro de un tiempo disponible.

Dentro del ámbito aplicación, el método se ha estado usando para la planeación y control de diversas actividades, tales como construcción de presas, apertura de caminos, pavimentación, construcción de casas y edificios, reparación de barcos, investigación de mercados, movimientos de colonización, estudios económicos regionales, auditorías, planeación de carreras universitarias, distribución de tiempos de salas de operaciones, ampliaciones de fábrica, planeación de itinerarios para cobranzas, planes de venta, censos de población, etc.

La buena administración de proyectos a gran escala requiere planeación, programación y coordinación cuidadosa de muchas actividades interrelacionadas. Al principio de la década de años 50 se desarrollaron procedimientos formales basados en uso de redes y de las técnicas de redes para ayudar en estas tareas. Entre los procedimientos más sobresalientes se encuentran el PERT (técnica de evaluación y revisión de programas) y el CPM (método de la ruta crítica). Aunque originalmente los sistemas tipo PERT se aplicaron para evaluar la programación de un proyecto de investigación y desarrollo, también se usan para controlar el avance de otros tipos de proyecto especiales.

Como ejemplos se pueden citar programas de construcción, la programación de computadoras, la preparación de propuestas y presupuestos, la planeación del mantenimiento y la instalación de sistemas de cómputos, este tipo de técnica se ha venido aplicando aun a la producción de películas, a las compañías políticas y a operaciones quirúrgicas complejas.

El objetivo es evaluar el efecto de los cambios del programa, por ejemplo, se puede valorar el efecto de un posible cambio en la asignación de recursos de las actividades menos críticas a aquellas que se identificaron con cuellos de botella. Otra aplicación importante es la evaluación del efecto de desviarse de lo programado.

2.2.5 Ventajas y desventajas de los métodos PERT / CPM

2.2.5.1 *Ventajas del PERT / CPM*

- Enseña una disciplina lógica para planificar y organizar un programa detallado de largo alcance.
- Proporciona una metodología Standard de comunicar los planes del proyecto mediante un cuadro de tres dimensiones (tiempo, personal y costo).
- Identifica los elementos (segmentos) más críticos del plan, en que problemas potenciales puedan perjudicar el cumplimiento del programa propuesto.
- Ofrece la posibilidad de simular los efectos de las decisiones alternativas o situaciones imprevistas y una oportunidad para estudiar sus consecuencias en relación a los plazos de cumplimiento de los programas.
- Aporta la probabilidad de cumplir exitosamente los plazos propuestos.
- En otras palabras: CPM es un sistema dinámico, que se mueve con el progreso del proyecto, reflejando en cualquier momento el STATUS presente del plan de acción.
- Las actividades que tienen tiempo flojo y que pueden prestar recursos a las actividades de la trayectoria crítica.
- Las actividades de la trayectoria crítica que afectan directamente el tiempo de la terminación.
- Probabilidad de la terminación antes de una fecha especificada.
- Tiempo previsto de la terminación del proyecto.

2.2.5.2 *Desventajas del PERT / CPM.*

- No es funcional para grandes proyectos, debido a los tres estimados de tiempo que se requieren en cada actividad.
- Debemos comprender que PERT / CPM no es una panacea para la solución de todos los males de la industria y los negocios. Si la administración es mala, si el esfuerzo de plantación es ligero o si los cálculos para el proyecto son irreales, entonces el método será de poca ayuda.
- Aproximaciones cuestionables que se hacen para estimar la media y la varianza
- No permite que una actividad inicie hasta que sus predecesores inmediatos terminen
- Además, no toma en cuenta aspectos importantes como la asignación de recursos limitada a las actividades.

- Las estimaciones del tiempo de la actividad son algo subjetivas y dependen del juicio del trabajador o gestor del proyecto.

2.2.6 Análisis de lógica de Redes.

Para el desarrollo cuantitativo de esta metodología se contempla una estrategia gráfica, clara y bien explicativa, se usará un modelo de lógica de redes, la cual mediante algunos conceptos quedará plasmado.

Con las tareas establecidas en la EDT o WBS, elaboramos la Hoja de Programación y luego la lógica de la red o representación gráfica de la construcción de la obra. Esta debe ser elaborada por todos los involucrados, contando al Gerente del Proyecto como coordinador y el que finalmente toma las decisiones.

Para definir la lógica de la red, se empleará cualquiera de los siguientes métodos:

- Red de flechas
- Diagrama de bloques o flujo grama.
- Matriz de Precedencia.

El modelo de Red que se usa es la determinística, se le denominará, Método de la Ruta Crítica y su procedimiento se detalla mediante un ejemplo; no hay que olvidar que el objetivo principal es determinar la forma óptima por medio de la cual se maximice el ahorro en tiempo de un proceso determinado, planeando y evaluando ordenadamente el progreso del mismo.

Se utiliza conceptos de probabilidad estadística y programación lineal (estudia las relaciones directamente proporcionales entre las variables).

La Ruta Crítica; son las actividades que limitan la duración del proyecto; si una actividad de la ruta crítica se retarda, el proyecto como un todo se retrasa en la misma cantidad de tiempo, las actividades que no están en la ruta crítica tienen una cierta cantidad de holgura; es decir, que pueden empezar más tarde y permitir que el proyecto como un todo se mantenga dentro del tiempo programado; ver ejemplo explicativo de la Construcción de una casa en el Cuadro 1.

CUADRO 1

Descripción de Red
de una Vivienda

CONSTRUCCIÓN DE UNA VIVIENDA

Básica de Construcción

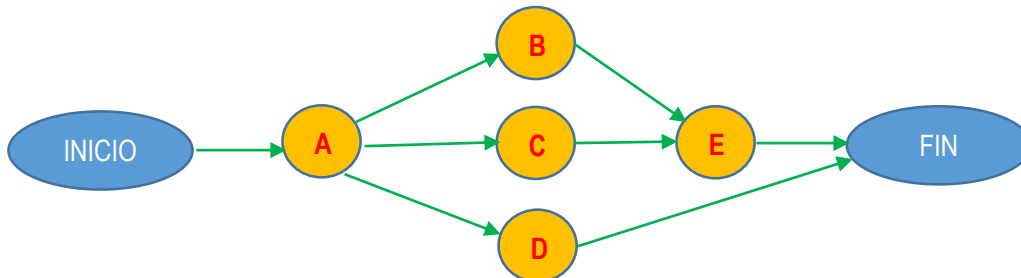
ACTIVIDAD	DESCRIPCIÓN	PREDECESOR	DURACIÓN SEMANA
A	Cimientos y Paredes	---	4
B	Plomería - electricidad	A	2
C	Techos	A	3
D	Pintura - exterior	A	1
E	Pintura - interior	B,C	5

Nota. Orden de precedencia de con descripción de actividades, predecesores y duración de actividades.

ESQUEMA DE REDES (Ver Figura 18)

Figura 18

Descripción de un Esquema de Redes



IDENTIFICANDO LA RUTA CRÍTICA

- La ruta crítica es la más larga a través de la red.
- Determina la longitud del proyecto.
- Toda red tiene al menos una ruta crítica.
- Es posible que haya proyectos con más de una ruta crítica.

¿Cuál es la ruta crítica de la red?

Este proyecto contempla tres rutas posibles para ir desde el inicio al fin:

INICIO – A – B – E - FIN

INICIO – A – C – E - FIN

INICIO – A – D - FIN

¿Cuál será la duración de cada una de ellas? y ¿Cómo se encuentra la ruta crítica?

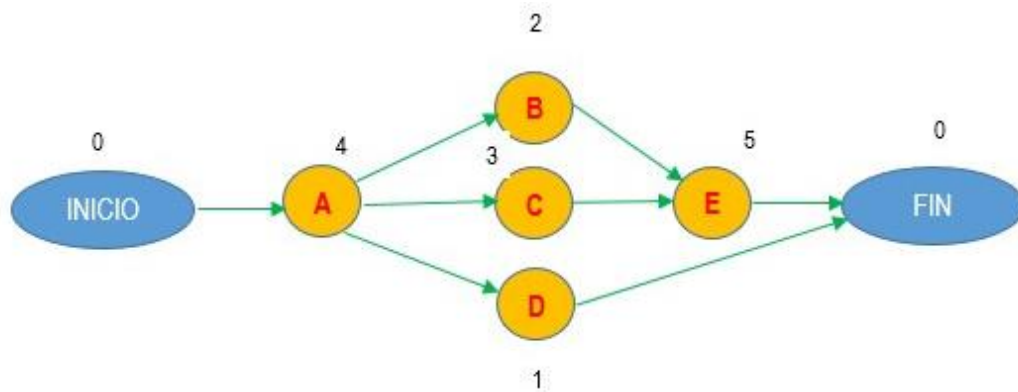
- Es necesario agregar a la red los tiempos de cada actividad.
- Los tiempos se agregarán en cada nodo.
- Las flechas solo representan la secuencia de actividades.

2.2.6.1 Conceptos básicos de la lógica de redes

Diagrama de secuencia lógica de redes (Ver Figura 19)

Figura 19

Secuencia Lógica de Redes con Tiempos de Ejecución



¿Cómo se calculan los tiempos?

Para cada actividad se calcularán 4 tiempos los cuales se denotarán:

IT	TT
IL	TL

- IT Inicio Temprano
- TT Terminación Temprana
- IL Inicio Lejano
- TL Terminación Lejana

Inicio Temprano y Terminación Temprana [IT – TT]

1.- Tiempo de Inicio Temprano. - Es el tiempo más temprano posible de inicio de una actividad.

$IT=TT$ (Terminación Temprana) más alto de la(s) actividad(es) anterior(es).

2.- Tiempo de terminación temprano. - Es el tiempo de inicio temprano más el tiempo para completar la actividad.

- $TT=IT$ (inicio temprano) acumulado más el tiempo necesario para completar la actividad de que se trate.

- El IT y el TT se calculan recorriendo la red de izquierda a derecha del inicio al final.

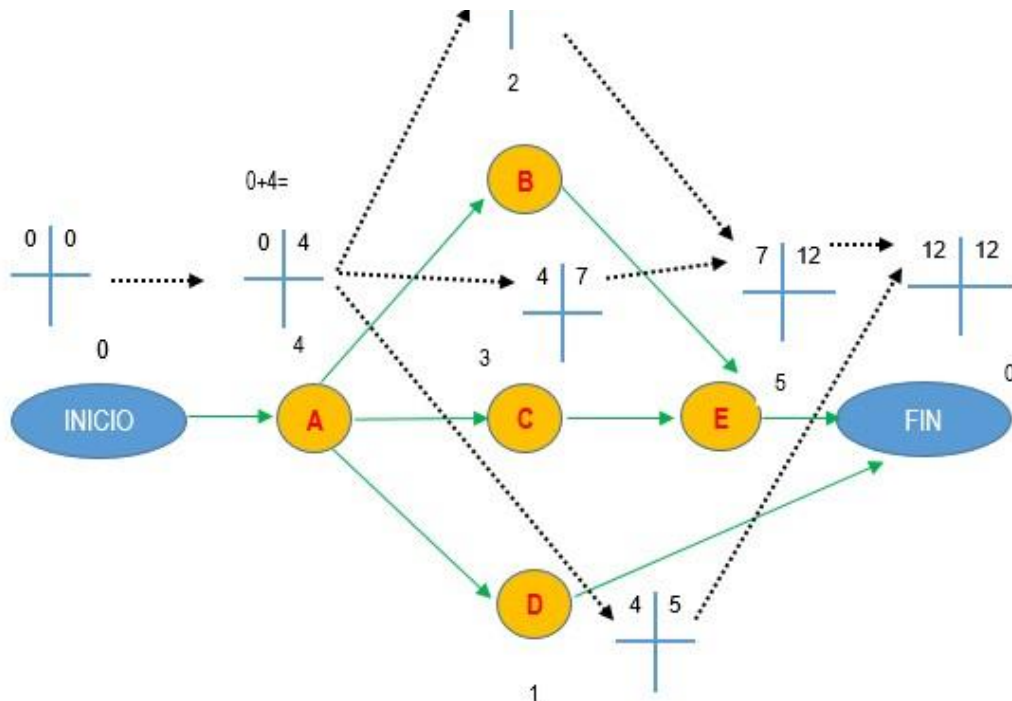
2.2.6.2 Esquematzación de redes y cálculo de holguras.

3.- Tiempo de inicio lejano. - Es el tiempo de terminación más lejano de la Fig. 20 De la actividad anterior menos la duración de la actividad del nodo.

$IL = TS$ de la actividad, menos la duración de la actividad.

Figura 20

Tiempos de Actividades, estableciendo Holguras de Actividades



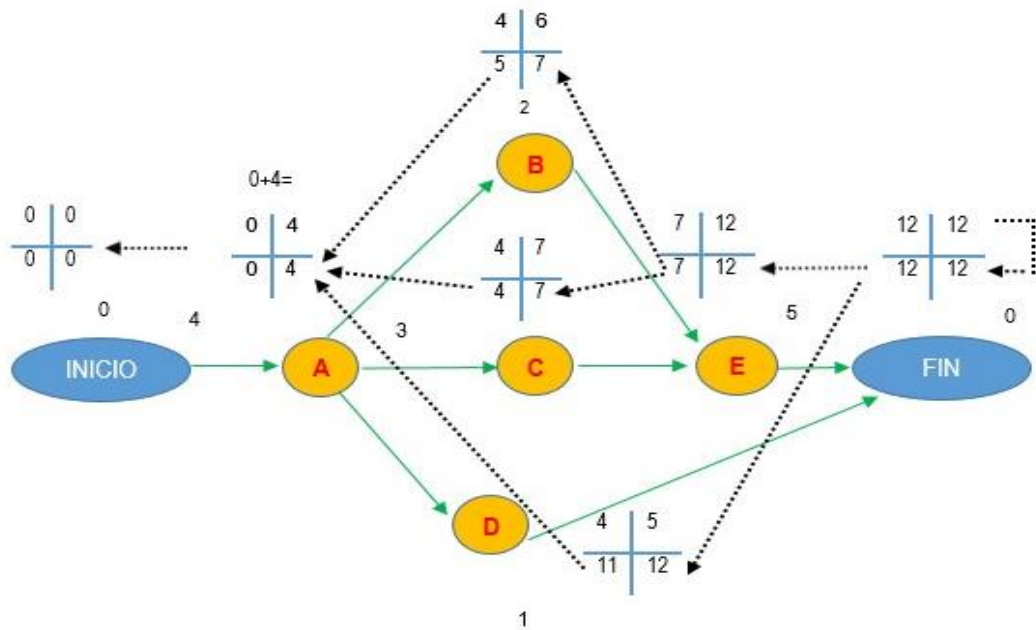
4.- Tiempo de terminación lejano. - El tiempo más tardío en que se puede completar la actividad, sin afectar la duración total del proyecto.

$TL = IL$ más corto de las actividades próximas (actividad – duración de la actividad).

Para calcular TL e IL, la red se recorre de derecha a izquierda desde el fin hasta el inicio. Ver Figura 21.

Figura 21

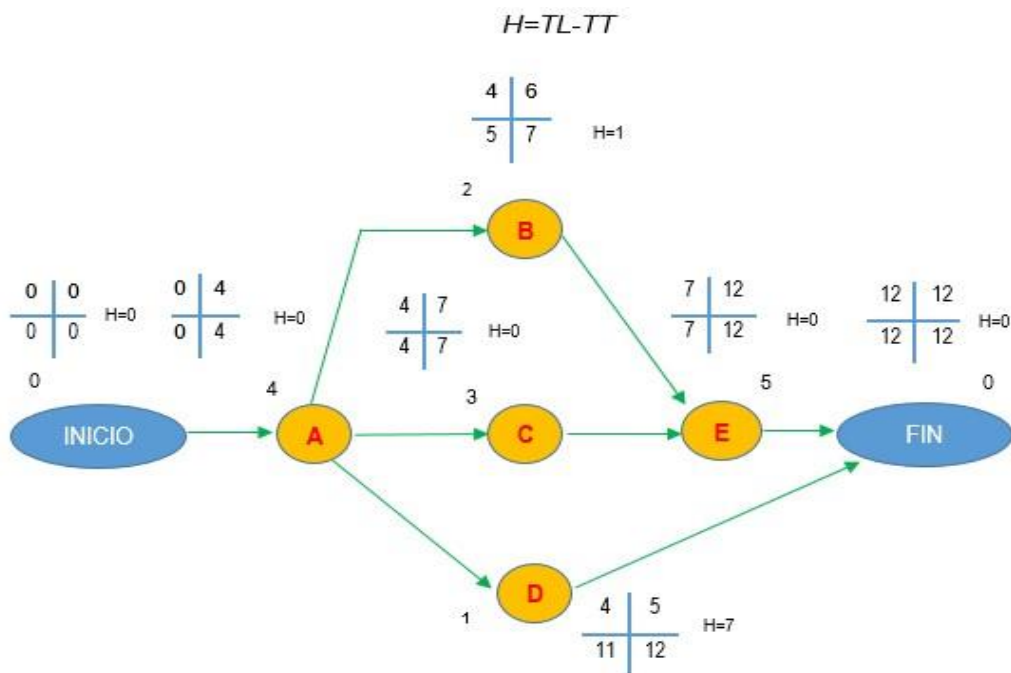
Tiempos de cada Actividad para el Retorno



Después de haber calculado los cuatro tiempos de cada actividad, se calculan las holguras, éste es el tiempo que se puede atrasar una actividad sin afectar la duración total del proyecto. Ver Figura 22.

Figura 22

Cálculo de Holguras de las Actividades

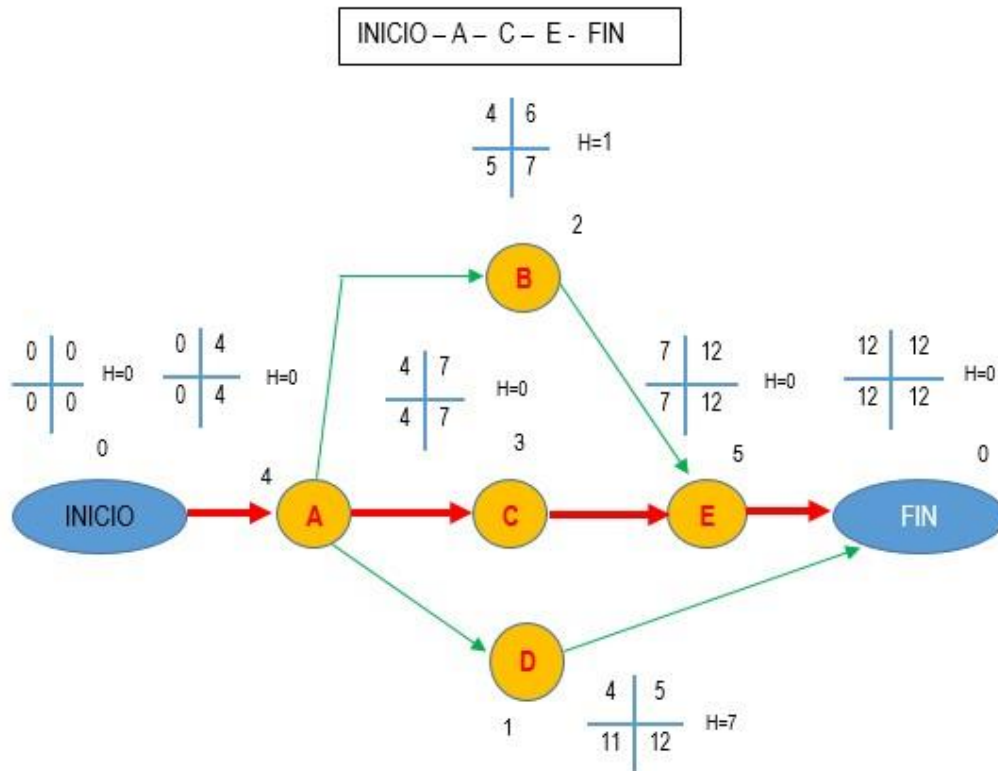


2.2.6.3 Establecimiento de la ruta crítica.

La ruta crítica se define como aquel tramo para el cual sus actividades tienen holgura igual a cero $H=0$, generalmente se marca de color rojo en la red; ver en el ejemplo demostrativo en la Figura 23.

Figura 23

Línea con Holguras $H=0$, es la Ruta Crítica



2.2.7 Análisis estadístico para manejo de datos para la programación

2.2.7.1 Conceptos básicos de estadística.

La estadística es una ciencia formal y por tanto con base en modelos matemáticos, que enmarca a un conjunto de procedimientos diseñados para la recolección, almacenamiento, organización, análisis e interpretación de datos numéricos, que busca explicar condiciones regulares en fenómenos de tipo aleatorio y es usada fundamentalmente para la toma de decisiones en áreas de investigación académica, comercial, empresarial (manejo de proyectos).

También se considera que “la estadística es la teoría y el método de analizar datos cuantitativos obtenidos de muestras de observaciones para estudiar y comparar fuentes de varianza de los fenómenos, para ayudar en la toma de decisiones, para aceptar o rechazar relaciones hipotéticas entre los fenómenos y para contribuir en la extracción de inferencias confiables a partir de observaciones empíricas” (Kerlinger y Lee, 2002 p. 232).

La estadística se suele dividir en función de una serie de criterios, donde el alcance o los objetivos del análisis estadístico define las dos categorías más gruesas, a saber: **descriptiva e inferencial**. Una segunda categoría considera la naturaleza del análisis en función de la atención a las relaciones entre variables y el número de variables implicado. En este sentido, se puede clasificar a la estadística en uni-variada, bi-variada y multivariada.

Ambas ramas (descriptiva e inferencial) comprenden la estadística aplicada. Hay también una disciplina llamada estadística matemática, la cual se refiere a las bases formales de la materia. Los métodos estadísticos son un instrumento en la investigación que sirven para describir los datos, estudiar relaciones, causación y generar argumentos para la confirmación o el rechazo de hipótesis (Glass y Stanley, 1984).

La aplicación más importante del análisis estadístico está relacionada con su atención al concepto de incertidumbre, entendida esta como la tendencia de un resultado a variar cuando se efectúan observaciones repetidas del mismo fenómeno, bajo condiciones semejantes y poder extraer conclusiones fiables y válidas.

La comprensión de toda ciencia comienza obligatoriamente por un proceso de reconocimiento de los términos característicos que definen el marco interpretativo en cuestión, se dan a conocer para dar claridad a la teoría expuesta, algunos parámetros o términos propios de la estadística acorde al lenguaje estadístico:

- ✓ **DATOS.** - Son los hechos, medidas o números que han sido recopilados como resultados de observaciones; se deben reunir, analizar y resumir para su presentación e interpretación. Pueden ser cuantitativos (siempre numéricos) o cualitativos (que pueden ser numéricos o no, ya que son etiquetas o nombres asignados a un atributo de cada elemento).
- ✓ **POBLACIÓN (N).** - Es el conjunto de todas, las observaciones o de los elementos de interés en un determinado estudio que cumplen ciertas propiedades comunes. Este conjunto puede ser un número finito de datos o una colección grande (virtualmente infinita) de datos.
- ✓ **MUESTREO.** - Significa tomar una porción como representativa de una población o de un universo.

- ✓ **MUESTRA (n).** - Es un subconjunto de la población, sin embargo, nos interesa que ese subconjunto seleccionado de la población sea representativo, esto significa que debe contener las características relevantes de la población en la misma proporción en que están incluidas en dicha población. Las muestras pueden ser probabilísticas (aleatoria simple, estratificadas, por conglomerados, etc.) o no probabilísticas (por juicio, por cuota, etc.).
- ✓ **DISTRIBUCIÓN MUESTRAL.** - se refiere a la función de probabilidad (de densidad de probabilidad) de un estadístico. Por tanto, una distribución muestral puede definirse como una distribución teórica que asigna una probabilidad concreta a cada uno de los valores que puede tomar un estadístico en todas las muestras del mismo tamaño que es posible extraer en una determinada población.
- ✓ **PARÁMETRO.** - Es cualquier medida descriptiva de una población, por ejemplo, la media poblacional.
- ✓ **ESTADÍSTICO.** - Es cualquier medida descriptiva de una muestra y se usa como base para estimar el parámetro correspondiente de la población. Por ejemplo, la media muestral.
- ✓ **VARIABLE.** - Es un carácter o propiedad de la muestra o de la población que es susceptible de ser observada y medida. A nivel estadístico las variables se clasifican como:
 - Cualitativa: Cuando la característica de estudio es no numérica; por ejemplo: la preferencia religiosa, el sexo, el color del cabello, el estado civil, etc.
 - Cuantitativa: Es aquella que asume valores numéricos acompañados de una unidad de medida; por ejemplo: calificaciones de un examen.
 - Continua: Es aquella que puede tomar cualquier valor dentro de un intervalo, por lo general los valores de una variable continua proceden de mediciones. Ejemplos: la estatura, la presión de aire en un caucho, etc.
 - Discreta: Es aquella que sólo puede tomar determinados valores en un intervalo, por lo general son números enteros, y suelen ser el resultado de un conteo. Ejemplo: el número de hijos de una familia, el número de asistencias, etc.

2.2.7.2 *Parámetros estadísticos principales.*

- a. *Medición.* - La definición clásica de medición se atribuye a Stevens (1968), quien afirmó que “en su sentido más amplio, la medición es la asignación de valores numéricos a objetos o eventos, de acuerdo con ciertas reglas”. El fin general de toda teoría de la medición, trátase de la

ciencia que se trate, es estimar los errores aleatorios de las mediciones, pues toda medición, en mayor o menor grado, conlleva un cierto error. En todos los casos, por un lado, hay que estimar la cuantía de los errores cometidos al medir, y, por otro, hay que garantizar que la medición no es trivial, que tiene entidad explicativa y predictiva. En otras palabras, hay que comprobar que las mediciones son fiables y válidas.

En la actualidad, la medición de variables aparentemente poco cuantificables ha dejado de ser un obstáculo para la medición en ciencias sociales. Hoy en día, la medición no se concibe exactamente como la asignación de un numeral que exprese la magnitud de cierta propiedad. Medir en todo caso consiste en establecer con claridad las reglas de correspondencia para dos sistemas de relaciones: uno empírico (el de las propiedades que se desea medir) y otro formal (el de los números que se asignan en la medición). Por consecuente, dependiendo de la riqueza de las relaciones que se logren establecer entre los diferentes valores de una variable, existirán diferentes niveles o escalas de medida.

- b. *Confiabilidad.* - Bajo esta denominación genérica se agrupan todo un conjunto de métodos y técnicas para estimar el grado de precisión con el que se están midiendo las variables.

Este aspecto de la exactitud con que un instrumento mide lo que se pretende medir es lo que se denomina la confiabilidad de la medida, la confiabilidad, aun cuando no es la característica más importante de un instrumento de medición, requiere se le preste toda la atención que sea necesaria. Ciertamente, una alta confiabilidad, por si sola, no garantiza “buenos” resultados científicos; pero, no puede haber “buenos” resultados científicos sin instrumentos confiables. En síntesis, la confiabilidad es una condición necesaria, pero no suficiente para obtener resultados de investigación que sean científicamente valiosos y socialmente útiles.

- c. *Validez.* - En esta sección, interesa estudiar la exactitud con que pueden hacerse mediciones significativas y adecuadas con un instrumento, en el sentido de que mida realmente el rasgo que pretende medir. Esta propiedad o característica de un instrumento de medición recibe el nombre de validez. Es decir, en sentido general, la validez de un instrumento tiene que ver con las preguntas siguientes: ¿qué miden los puntajes del test? y ¿qué predicen dichas puntuaciones?

2.3 MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA - CCPM

2.3.1 Teoría de las Restricciones

2.3.1.1 *Historia y evolución de Teoría de las Restricciones (TOC).*

La teoría de las restricciones, fue desarrollado por el Sr. Eliyahu Moshe Goldratt, licenciado en Física de la Universidad de Tel Aviv, realizó su master y doctorado en la Universidad de Bar-Ilan, TOC del inglés (Theory of Constraints).

En 1982 fue presidente y mayor accionista de una compañía productora de un software de programación de la producción, catalogada en ese año por la revista Inc. Magazine como la sexta de mayor crecimiento en EE.UU. y a pesar de estos resultados estaba muy frustrado, esto se debía a que a pesar de los muy buenos resultados que obtenían las empresas al implementar su software y realizar un gran esfuerzo para vender (presentaciones, pruebas piloto, seminarios, etc.), conseguir más clientes era un proceso tremendamente lento. Viendo que con las presentaciones convencionales no se lograba romper la barrera del mercado, entonces decidió hacer el intento con una manera no convencional y fue cuando tuvo la idea de comunicar su método a través de una novela sobre manufactura; Goldratt en su enfoque exhortaba a su público a examinar y reinventar sus prácticas y políticas comerciales con una visión fresca y nueva.

A finales de los años 70 los hermanos Goldratt fundaron Creative Output, empresa que desarrolló y promovió un software para la programación y control de la producción basado en el algoritmo antes mencionado y que constituye una solución de ruptura que había desarrollado para su Tesis Doctoral, llamado OPT (Optimized Production Technology, también llamado Disaster). El crecimiento de esta empresa fue espectacular, siendo sus principales clientes: Grumman, Sikorsky y General Motors; desde entonces General Motors usa la TOC.

2.3.1.2 *Elementos y recursos de la TOC.*

Los elementos que se establecen para esta metodología se ciñen principalmente a las iniciales de (DBR) y cuyos significados son los siguientes:

- Drum o tambor. - Son los denominados cuellos de botella o recursos con capacidad restringida que determinan el nivel de productividad de las empresas.
- Buffer. - Es una actividad ficticia, ligada a una actividad real y con una duración determinada, que se añade en un punto concreto del cronograma del proyecto, con el objeto de tener en cuenta posibles desviaciones (temporales) de las actividades.

- Rope length o longitud de la soga. - Tiempos de preparación y ejecución que necesitan las operaciones antes de ser limitadas, este es sumado con el tiempo del buffer.
- Planificación DBR. - Consiste básicamente en enfocar la planificación en la limitación del sistema o el llamado tambor o Drum, en proteger el programa de buffers y en limitar en cantidad los lanzamientos de los trabajos al programa en la limitación.
- Sistema de control de DBR. - Consiste en concentrar todo el control en los buffers, para detectar cualquier desviación que se presente y contrarrestarlas a tiempo para evitar que se originen incumplimientos.

En este nuevo lenguaje de los cuellos de botella (restricciones) que determinan la salida de producción son llamados Drums (tambores) ya que ellos determinan la capacidad de producción (como el ritmo de un tambor en un desfile). De esta analogía proviene el método llamado Drum-Buffer-Rope (Tambor - Inventario de Protección - Cuerda) que es la forma de aplicación de la Teoría de las Restricciones a las empresas constructoras, industriales, organizaciones o proyectos.

Así es como la técnica, indica que la planta o proyecto debe solo en lo que sea necesario para alcanzar los requerimientos del mercado, no los que se requiera para mantener a los trabajadores y a las maquinas ocupadas (no buscando la utilización plena de la capacidad instalada).

El principal recurso con restricción de capacidad será tratado como "el tambor" que es el que marcará la velocidad de producción de toda la planta (impone el ritmo), también se necesitará establecer "un amortiguador" de inventario frente al factor limitativo. Finalmente, para asegurarse que el inventario no crezca más allá del nivel dictado por el amortiguador, deberá limitarse la velocidad a la cual se liberan materiales a la obra.

Debe amarrarse "una cuerda o soga", desde el cuello de botella a la primera operación; en otros términos, la velocidad a la cual se liberarán materiales a la planta será administrada por la velocidad a la cual está produciendo el cuello de botella.

La liberación de materias primas y materiales a la planta está entonces "atada" a la programación del Drum, ningún material puede entregarse a la planta antes que la "longitud de la cuerda" lo permita de este modo cada producto es "tirado por la cuerda o soga" a través de la planta. Esto sincroniza todas las operaciones al ritmo del Drum, lográndose un flujo de materiales rápido y uniforme a través de la compleja red de procesos de una fábrica.

Está basada en el hecho de que los procesos multitarea solo se mueven a la velocidad del paso más lento y la manera de acelerar el proceso es utilizar un catalizador (buffer) en el paso más lento y lograr que trabaje hasta el límite de su capacidad. El método da importancia especial al factor o recurso más limitante. Estos factores limitantes o “restricciones” se llaman también “cuellos de botella”.

2.3.1.3 *Objetivos generales de la Teoría de las Restricciones.*

El objetivo de cualquier empresa es ganar dinero de forma sostenida y progresiva, las ganancias pueden ser ilimitadas, de no ser así, es porque algo se lo está impidiendo; esas son las restricciones o limitantes; previamente deberemos de realizar una Gestión de Riesgos, las cuales son tomados en cuenta para el análisis de la TOC.

Para esto se debe de tener en cuenta los siguientes objetivos:

- Búsqueda de un constante flujo de bienes o servicios en la empresa.
- Utilización de mecanismos que generen un sistema donde las estaciones de trabajo que componen la empresa estén balanceadas, coordinadas y sincronizadas.
- Reducir considerablemente los inventarios.
- Disminuir costos de producción de los bienes o servicios.
- Aumentar sustancialmente los niveles de servicios.

2.3.1.4 *Herramientas de la Teoría de Restricciones.*

La Teoría de las Restricciones tiene dos componentes principales, el primero es el que apuntala su filosofía y que consiste en cinco etapas de enfoque de mejora continua, una metodología de planeación conocida como DBR (Drum-Buffer-Rope) [Tambor-amortiguador-Cuerda] y el sistema de gestión de buffers, que usualmente se refiere como el paradigma de logística. El segundo componente de teoría de restricciones es un enfoque genérico para investigar, analizar y resolver problemas complejos conocidos como Thinking Process (Procesos de Pensamiento).

Estas lecciones se resumen en el desarrollo de las siguientes etapas:

- ✓ FFS (Five – Focussing – Steps) Para mejora continua.
- ✓ DBR (Drum – Buffer – Rope) Para la planeación de la producción.
- ✓ BM (Buffer management) Para el control de la producción y procesos de pensamientos.

La experiencia demostró a Goldratt que su revolucionario método exigía mucho más que la implementación de un nuevo software, exigía cambiar la mayor parte de las políticas y criterios de decisiones existentes en las empresas.

Cada año se amplía y mejora este campo de conocimiento por lo que puede considerarse a la TOC como toda una “filosofía administrativa”.

2.3.1.5 *Las cinco etapas de enfoque (Five Focussing Steps).*

El principio de funcionamiento de la Teoría de Restricciones proporciona un enfoque para la mejora continua del proceso. Este principio consiste en cinco etapas e enfoque (Goldratt, 1990b, Pág.5). Los pasos son los siguientes:

- (1) Identificar la restricción del sistema.** - Esta pueda ser física (por ejemplo, materiales, maquinas o personal) o de gestión. En general, las organizaciones tienen muy pocas restricciones físicas, pero muchas restricciones de gestión como políticas, procedimientos, normas y métodos (Goldratt, 1990b). Para esto, Goldratt (1993, 1994) desarrolló una técnica llamada árbol de realidad actual para determinar las restricciones políticas. Es importante identificar estas restricciones y también necesario priorizarlas en función de sus efectos sobre la meta de la organización.
- (2) Decidir cómo explotar la restricción.** - Si la restricción es física, el objetivo es hacer que la restricción sea lo más eficaz posible; es decir, aprovechar su capacidad al máximo, si es una máquina, esta no deberá de permanecer siempre trabajando. Una restricción de gestión no debe ser explotada, debe ser eliminada y sustituirse por una política que apoye un mejor desempeño.
- (3) Subordinar todo lo demás a la decisión anterior.** - Esto significa que cada componente del sistema (no restricciones) debe ajustarse a la máxima eficiencia de la restricción. Porque las restricciones determinan el desempeño de una empresa, la sincronización de los recursos con la restricción provee la manera más efectiva de utilizar los recursos. El recurso no restrictivo comprende la capacidad productiva (capacidad de apoyar el rendimiento de la restricción) y la capacidad ociosa (capacidad para proteger frente a las perturbaciones del sistema y capacidad que actualmente no es necesaria) (Lockamy y Cox, 1994). Si los recursos no restrictivos se utilizan más allá de su capacidad productiva para apoyar la restricción, no se mejora el rendimiento, solo se logrará incrementar el inventario de manera innecesaria.
- (4) Elevar la restricción del sistema.** - Si las restricciones existentes siguen siendo lo más crítico en el sistema, rigurosos esfuerzos de mejora en esa restricción mejorarán su desempeño. A medida que mejora el desempeño de la restricción se puede notar mejor el potencial de los recursos no

restrictivos. Con la mejora en el rendimiento general del sistema, finalmente el sistema se encontrará con una nueva restricción.

- (5) Si en cualquier de los pasos anteriores se ha roto una restricción, hay que **regresar al paso 1**. Es importante no permitir que la inercia se convierta en el siguiente obstáculo. La primera parte de esta etapa hace de la Teoría de Restricciones un proceso continuo. La segunda parte es un recordatorio de que ninguna política (o solución) es adecuado (o correcta) para todo el tiempo ni en todas las situaciones.

Es fundamental para la organización reconocer qué como el ambiente de negocios cambia, las políticas de la empresa deben de ser refinadas para tomar en cuenta esos cambios. Una falla en este quinto paso puede originar un desastre en la organización. Ver Figura 24.

Figura 24

Ciclo de la Teoría de la Restricción (TOC)



2.3.1.6 La metodología (Drum – Buffer – Rope)

El paradigma de logística de la teoría de restricciones se ha desarrollado desde el software de programación llamado Optimized Production Technology (OPT), que, a su vez, se basa en las siguientes nueve reglas (Goldratt y Fox, 1986, Pág. 179):

- (1)** *Balancear el flujo, no la capacidad.*
- (2)** *El nivel de utilización de un no-cuello de botella no está determinado por su propio potencial, sino por alguna otra restricción en el sistema.*
- (3)** *Utilización y activación de un recurso no son sinónimos.*
- (4)** *Una hora perdida en el cuello de botella es una hora perdida para el sistema total.*
- (5)** *Una hora ahorrada en un no-cuello de botella es solo un espejismo.*
- (6)** *Los cuellos de botella rigen tanto el rendimiento como los inventarios.*
- (7)** *El traslado de proceso por lotes no puede, y muchas veces no debería ser igual al proceso por lotes.*
- (8)** *El proceso por lotes debe ser variable, no fijo.*
- (9)** *La programación debe ser establecida tomando en cuenta todas las restricciones al mismo tiempo. Los tiempos de entrega son el resultado de la programación y no se pueden predefinir.*

Drum-Buffer-Rope (DBR) y se administra a través del uso de buffers de tiempo (T-B). El nombre del método se basa en metáforas desarrolladas en La Meta (Goldratt y Cox, 1984). El tambor (Drum) es el programa del sistema o el ritmo al que trabaja la restricción. La cuerda (Rope) proporciona la comunicación entre los puntos críticos de control para asegurar su sincronización. El buffer es inventario (de tiempo) ubicado de manera estratégica, para proteger la salida del sistema de las variaciones que ocurren dentro del mismo.

La metodología DBR sincroniza los recursos y la utilización de materiales en una organización. Los materiales y recursos se utilizan solo en un nivel en el que contribuye a la capacidad de la organización para lograr el rendimiento.

Dado que los eventos inesperados son inevitables en cualquier organización, la metodología DBR proporciona un mecanismo de protección al *throughput* total del sistema mediante el uso de buffers de tiempo.

Los buffers de tiempo mantienen inventario y protegen al programa de la restricción de los efectos de las interrupciones en los recursos no restrictivos. Al uso de buffers de tiempo como sistema de información para administrar efectivamente y mejorar el *throughput* se conoce como buffer de management. Este proporciona información basada en los resultados planeados y el desempeño actual y es usado para monitorear el inventario de un recurso protegido para comparar su desempeño real con el previsto (Schragenheim y Ronen, 1990).

En la gestión de buffer son utilizados tres tipos (Lockamy y Cox, 1991):

- (1)** *Buffer de restricción:* Contiene partes que se prevén hay que esperar un cierto tiempo frente a un recurso de capacidad restringida (CCR, Capacity Constraint Resource), con lo que se protege el programa

previsto de la restricción. Un CCR es un recurso que no es cuello de botella en la actualidad, pero de manejarse adecuadamente, puede convertirse en una restricción.

(2) Buffer de ensamble: Contiene partes o sub ensambles que no se procesan en un CCR, pero son necesarios para ensamblarse con piezas de un CCR.

(3) Buffers de envío: Contiene productos que se prevé que sean terminados y listos para ser enviados a una determinada hora antes de la fecha de vencimiento, protegiendo así el desempeño de la fecha de entrega.

2.3.1.7 Procesos de Pensamiento (*Thinking process*)

La aplicación de (2.3.1.5) las cinco etapas de enfoque en un entorno típico de producción pueden conducirse rápidamente a mejoras sustanciales en las operaciones y ganancias (Norren et al, 1995). Sin embargo, este proceso de mejora continua lleva a las operaciones de producción a un punto en el que la restricción se desplaza desde la fábrica hacia el mercado. En tal caso, la restricción podría ser la demanda del mercado (demanda insuficiente), que es una restricción de gestión o política en lugar de ser una restricción física.

Las restricciones de gestión son en general difíciles de identificar y evaluar y frecuentemente requieren la participación y la cooperación entre áreas funcionales.

Goldratt (1994) desarrollo un enfoque genérico para hacer frente a las restricciones de gestión y crear soluciones innovadoras para estas, usando sentido común, conocimiento intuitivo y lógica. Este procedimiento se conoce como el proceso de pensamiento (*Thinking process*). Según Noreen et al. (1995, p. 194) “el thinking process puede ser el logro intelectual más importante desde la invención del cálculo”.

Los gerentes de cualquier nivel, pueden utilizar este proceso de pensamiento para dar respuesta a tres cuestiones que determinan el éxito final de la optimización de todo el sistema (Dettmer, 1998):

(1) ¿Qué cambiar?

(2) ¿Hacia qué cambiar?

(3) ¿Cómo causar el cambio?

El proceso de pensamiento lógico desarrollado por Goldratt prescribe un conjunto de herramientas que básicamente son diagramas causa-efecto para obtener respuestas a estas preguntas (Rahman, 1998), esto se compone de cinco arboles distinto:

- ✓ Árbol de realidad actual [Current Reality Tree, CRT].
- ✓ Nube de evaporación [Evaporative Cloud, EC].
- ✓ Árbol de realidad futura [Future Reality Tree, FRT].
- ✓ Árbol de pre – requisitos [Prerequisite Tree, PRT].
- ✓ Árbol de transición [Transition Tree, TT].

Estos árboles fueron diseñados originalmente para ser aplicados en secuencia a fin de realizar un análisis completo de cualquier sistema complejo. Sin embargo, posterior a su desarrollo Goldratt notó que cada árbol también puede aplicarse productivamente de manera aislada. Por ejemplo, no es necesario construir árbol de realidad actual, árbol de realidad futura, árbol de pre-requisitos o árbol de transición si todo lo que hay que hacer es resolver un conflicto. Sin embargo, a medida que un conflicto afecta el desempeño general del sistema, la construcción de uno o más árboles puede ser necesaria.

El proceso comienza con decidir “¿*Qué cambiar?*”, es decir, identificar los problemas centrales. Para este propósito se usa el árbol de realidad actual. Una vez que el problema principal ha sido identificado la cuestión se convierte en “¿*Hacia qué cambiar?*”.

Responder la segunda pregunta requiere de otras herramientas, como la nube de evaporación y árboles de realidad futura. Una vez que se ha decidido “¿*Hacia qué cambiar?*”, entonces la organización queda con la pregunta “¿*Cómo hacerlo?*” o “¿*Cómo cambiar?*”. El árbol de pre-requisitos y árboles de transición se utilizan para identificar los obstáculos a la aplicación y elaborar planes detallados para superar esos obstáculos.

2.3.1.8 *La Teoría de las Restricciones y sus aplicaciones.*

Esta metodología consiste en establecer un sistema con el fin de relacionar los recursos humanos, económicos, materiales, herramientas y equipos, con miras en alcanzar un objetivo común; estableciéndose para la solución de los problemas un enfoque sistémico el cual estudia los vínculos que existe entre un problema y otro y a la hora de solucionar una restricción, no pierde tiempo, dinero y esfuerzo en eslabones fuertes de la empresa.

Este enfoque ve a la empresa como un todo, por tal razón cuando se presente una limitación o restricción, la visualiza con su interdependencia en la estructura del sistema que está afectando.

Muchas compañías que replicaron la lógica de la historia reportaron grandes éxitos, ese fue el inicio de la formación de la teoría de las restricciones; la importancia del enfoque sistémico para la solución de los problemas en las organizaciones es justamente porque se puede identificar la restricción medular,

estudia los vínculos que existe entre una restricción y otra, resultando que la empresa se acepte como un todo y a la hora de solucionar dicha restricción se enfoque en este proceso.

Las aplicaciones más resaltantes en las que pueden dar buenos resultados son:

- Operaciones (bienes y servicios).
- Producción.
- Gestión de proyectos.
- Gestión Estratégica.
- Distribución.
- Recursos Humanos.
- Marketing y Ventas.
- Toma de decisiones.

La Teoría de las Restricciones ha tenido aplicaciones exitosas en diversos ámbitos industriales y de servicios; se trata de una metodología ingeniosa que utiliza la lógica de “causa – efecto – causa”, para reconocer lo que sucede en una organización (empresa o proyecto) y así encontrar formas de mejoramiento continuo.

La TOC es una filosofía administrativa integral que utiliza los métodos usados por las ciencias puras para comprender y gestionar los sistemas con base humana (personas, organizaciones, etc.). La TOC permite enfocar las soluciones a los problemas críticos de las empresas (sin importar su tamaño o giro).

Para su desarrollo se tomó como base el método Socrático, comprende un conjunto de conocimientos, principios, herramientas y aplicaciones que simplifican la gestión de los sistemas, utilizando la lógica pura o sentido común.

La TOC es el resultado práctico del trabajo en la manera de como pensar “How to think”. Resultado de los PROCESOS DE PENSAMIENTO “The Thinking Processes” y sus aplicaciones, es una filosofía que transmite: “Mediante de saber cómo pensar, nosotros podemos entender mejor el mundo a nuestro alrededor y mediante este entendimiento podemos mejorar”.

La Teoría de Restricciones es la aplicación del método científico a las organizaciones de naturaleza humana, ésta busca generar continuamente más de la meta de un sistema.

Dado que las restricciones bloquean a la empresa o un proyecto, estos lamentablemente originan retrasos y demoras en la entrega o finalización del proyecto y pueden significar pérdida notable de utilidades y asumir costos de oportunidad y políticos incalculables; el camino de obtención de ganancias, se vería seriamente perjudicado y se obtendría cierta insatisfacción de las necesidades de los clientes, empleados y accionistas.

La gerencia, en consecuencia, debe dedicarse en primera instancia a localizar dichas restricciones y poner énfasis en que los recursos no son independientes, sino que corresponden a una cadena de eslabones interdependientes, que trabajan con el propósito central de hacer dinero.

Es claro, que el eslabón más débil determinará la resistencia de la cadena, solo unos pocos recursos críticos (cuellos de botella) determinan el desempeño de una planta industrial, una organización o un proyecto, en efecto, identificando y programando primero estos recursos, es posible tener éxito en su administración. Producir para lograr un aprovechamiento íntegro de la capacidad instalada, lleva a la planta un sentido contrario a la meta.

2.3.1.9 *Paradigmas que se supera para lograr los objetivos según TOC.*

Los paradigmas que se tienen que superar son los siguientes:

- Operar el sistema como si fuera un todo (una caja llena de eslabones) vs. Operar el sistema como una cadena, en la que los resultados de un eslabón siempre dependen de otros.
- Intentar de fijar los precios de los productos o servicios en función de un costo contable y no de sus contribuciones a la meta del sistema (*Throughput*).
- Lo que no se requiere no son muchos datos sino información clave que nos indique cual debe ser la decisión apropiada.

2.3.1.10 *Restricciones o limitaciones en las Pymes.*

Las restricciones son todo aquello que impide la obtención del objetivo, el cual se convierte en una lucha constante del sistema, de la empresa u organización.

Las restricciones son manifestaciones de los individuos, de un equipo, una pieza de un aparato, un procedimiento, una política interna, la carencia o insuficiencia de algún equipo, herramienta o insumo y desde luego el tiempo como insumo necesario y escaso en todo proyecto; sin embargo las personas que se encargan de gestionar un proyecto saben que, a diferencia de lo que ocurre sobre el papel, en la práctica las cosas suelen ser de manera distinta, siempre más complicadas; por lo expuesto las restricciones se han podido dividir de la siguiente manera:

- Restricciones físicas. - Son aquellas limitantes que se encuentran en el mercado, la manufactura, la capacidad de sus maquinarias y la disponibilidad de materia prima; son las que también tienen que ver con los recursos, que se conjugan para alcanzar la meta establecida o sea las personas, equipos o instalaciones, también pueden contribuir individualmente o de forma conjunta (simultánea o sucesiva) a la aparición de retrasos.

- Restricciones políticas.- Son aquellas limitantes que se presentan por la forma de operación de los procesos, propios de cada organización; y que se relacionan con la normativa aplicable, los contratos firmados y las reglas que entran en juego en el entorno laboral donde el trabajo se desarrolla; su denominador común es su capacidad para dificultar que el proyecto llegue a término en el plazo establecido, estos son los llamados “entrampes burocráticos”, el adiestramiento del personal en las labores de la empresa o la forma como es valorado o calificado el personal que compone el sistema.
- Restricciones de Mercado. - Son las que se derivan de la demanda, provocando la aparición de efectos adversos que hacen lento el avance del proyecto como estaba programado.
- Restricciones Sociales. - Son aquellos condicionantes que algunos individuos u agrupaciones ocasionan a las obras o proyectos y causan retrasos y demoras en el desarrollo normal de un proceso constructivo, son limitantes que cada vez se va incrementado, los cuales perjudican seriamente el presupuesto y genera un entorno laboral nada productivo; y hasta en algunos casos muy peligrosos.

En los proyectos mineros, son los llamados licencia social.

El Estado no hace nada al respecto, no es claro ni objetivo en contra de los llamados “SINDICATOS LABORALES” de construcción civil, es preocupante y alarmante la proliferación de algunos malos individuos “delincuentes” quienes se encargan de extorsionar y amedrentar a los representantes legales, ingenieros, administradores etc. a cambio de los famosos cupos laborales o simplemente de una suma de dinero.

2.3.1.11 Soluciones a las restricciones aplicando la metodología de la TOC.

Algunas de las técnicas para dar soluciones a los diferentes tipos de restricciones son las siguientes:

- Las Físicas. - Para eliminar estas restricciones que se presentan en un sistema organizacional la teoría ha creado el siguiente proceso de cinco etapas fundamentales:
 - ✓ Identificación de la(s) restricción(es) de la empresa.
 - ✓ Explotación de la restricción.
 - ✓ Subordinación de todos los recursos a esta(s) restricción (es).
 - ✓ Elevación de la restricción (es).
 - ✓ Comenzar nuevamente el ciclo desde la primera etapa para verificar que no aparezcan nueva restricción (es).

- Restricciones Políticas. - Para la disminución o solución a las restricciones políticas la TOC ha desarrollado la siguiente metodología, que tiene como antecedente el método socrático que se basa en hacerse los siguientes cuestionamientos:

¿Qué cambiar? Es necesario hacer un análisis racional de la problemática que existe en la actualidad en el sistema en estudio, para determinar como el o los problemas afectan el cumplimiento de la meta señalada, en esta etapa se utiliza el proceso de pensamiento llamado “Árbol de Realidad Actual”.

¿Hacia qué cambiar? Lo que se busca es crear una o varias estrategias con sus respectivos planes de contingencias que ayuden a buscar una o varias soluciones a la problemática que no permite que la empresa llegue a su meta. Para determinar el camino hacia dicha meta se utiliza los procesos de pensamientos: “evaporación de Nubes” y “Árbol de Realidad Futura”.

¿Cómo lograr que dicho cambio se dé en el sistema? Se realiza la búsqueda de tácticas que faciliten la aceptación de este nuevo método en la empresa.

Debido a que para una buena ejecución se necesita la colaboración de todos los integrantes de la misma. Se utiliza aquí los procesos de pensamientos “Árbol de Prerrequisitos” y “Árbol de transición”.

Este tipo de mapa son un conjunto de herramientas que de manera lógica y sistemática se responden a preguntas tales como: ¿Qué cambiar?, ¿Hacia qué cambiar? y ¿Cómo provocar el cambio?, son cuestionamientos simples y sencillos que realmente no es tan fácil de hacerlo, cada una de ellas apuntan hacia el análisis de la situación, las estrategias a utilizar y las operaciones tácticas a poner en marcha; para ello cito una frase célebre de Goldratt: “La gente lista aprende de sus errores, en tanto que la gente sabia aprende de los errores de los demás”.

Definición de los procesos o de los pensamientos para contrarrestar las restricciones políticas:

- ✓ Árboles de Realidad Actual. - Consiste en una técnica que detecta los problemas que tienen la empresa que no le permite alcanzar un mayor desempeño es decir detectan de esta manera el problema raíz.
- ✓ Evaporación de Nubes. - Es un proceso de pensamiento que le permite presentar de forma precisa el conflicto del problema raíz, dirige la búsqueda de una solución a través de la confrontación de los supuestos implícitos.
- ✓ Árboles de Realidad Futura. - Proceso de pensamiento que le permite construir una solución que una vez implementada reemplaza los Efectos Indeseables (UDEs) existentes con Efectos Deseados (EDs) sin crear nuevos UDEs devastadores.

- ✓ Árboles de Prerrequisitos: Recurriendo a la “ayuda” de las demás al señalar obstáculos este proceso de pensamiento le permite dividir la tarea de implementación en un conjunto de objetivos intermedios interrelacionados y bien definidos.
- ✓ Árboles de transición: Proceso de pensamiento utilizado para construir un plan de implementación detallado enteramente basado en las acciones del iniciador (las relaciones de otros aparecen como reacciones).

2.3.1.12 Filosofías de Gestión Empresarial que apoyan la TOC.

Uno de los pilares de la Teoría de las Restricciones (Goldratt, 2006) es la hipótesis que todas las ciencias duras y en todos los sistemas de la vida real hay cierta simplicidad inherente; si se logra encontrar esa simplicidad, entonces se puede administrar, controlar y mejorar el sistema.

En general, los cuellos de botella de un sistema o proceso constructivo son los que restringen su capacidad, por lo que es necesario resolverlos antes de poder lograr mejoras en otro punto del proceso o sistema; lo anterior es un ejemplo de simplicidad inherente.

Antes de resolver un cuello de botella específico, los demás problemas que pudieran existir son irrelevantes. Si se observa un sistema, lo que lo hace complejo es que cada elemento está entrelazado con otros elementos, procesos o estructuras. Son las relaciones causa - efecto las que lo hacen parecer tan complicado.

Entre menos elementos del sistema se deban modificar para lograr una mejora, ésta será más rápida y más eficiente. Cuanto más compleja sea el sistema menos serán los grados de libertad, lo que significa que si se logran encontrar los pocos elementos que de ser tocados afectarán a todo el sistema en forma positiva, entonces, se han encontrado los elementos claves del sistema.

Con ellos controlan todo el sistema, son las restricciones de este y por lo tanto también las palancas; si se pueden averiguar cuáles son las principales restricciones del sistema y cuáles son las relaciones causa – efecto entre estas restricciones y el resto del sistema, entonces se tiene la clave para mejorar el sistema.

“Es una tarea fácil hacer complejas las cosas, pero es una tarea difícil hacerlas simples”.

Para el progreso de esta teoría se consolida con los siguientes conceptos:

- Calidad total: Es una filosofía que se caracteriza por prevenir y reducir drásticamente todos los costos de no-calidad y está basada en principios

entre los cuales se encuentran la orientación al cliente, las mejoras continuas y el trabajo en equipo.

- Reingeniería: Es la revisión fundamental y el rediseño radical de procesos para alcanzar mejoras importantes tales como: aumento de los rendimientos, reducción de costos, mejores controles de calidad, eficiencia en los servicios y respuesta al cliente.
- Justo a tiempo (J I T): Es una filosofía de trabajo para lograr una significativa reducción de todo lo que es desperdicio de recursos en el proceso total de producción.
- Planificación de los recursos de la empresa (ERP): Es un sistema de gestión que permite integrar mediante la información interna de los diversos departamentos de la empresa, abastecimiento, desarrollo de producto.

2.3.1.13 Resultados de la implementación de la TOC.

Un estudio académico independiente de 80 casos de implementaciones de la TOC a nivel mundial dejó los siguientes resultados:

- Tiempo de Entrega: una reducción del 69%.
- Cumplimiento de las entregas: mejora del 60%.
- Niveles de inventario: reducción del 50%.
- Ingresos: Incremento de 68%.

Un estudio publicado por la universidad Victoria de Wellington, Nueva Zelanda, se realizó un muestreo a 100 casos de estudio, de los cuales, dependiendo de la información se encuentran los siguientes resultados:

- ✓ En una empresa de 32 casos se observó una reducción media del 69% en el tiempo de espera; más del 75% de los casos presentaron reducciones superiores al 50%.
- ✓ Para una muestra de 14 casos se observa una reducción media o mejora en el tiempo de ciclo del 66%.
- ✓ En una muestra de 12 casos se presentan un mejor desempeño en las entregas, se ve un promedio del 60%, llegando a ser en algunos casos del 100%.
- ✓ Se observa una reducción media en los niveles de inventario del 50%, en una muestra de 28 casos.
- ✓ Se encontró una correlación entre tiempo de espera y el nivel de inventario de 0.77 (Rango de correlación de Spearman), de 13 casos observados.
- ✓ Para los casos analizados (más de 100), en los cuales se presenta la mejora en el throughput, se observa un incremento promedio del 68%; llegando hasta un 600% en la empresa Lucent technologies.

El cuestionamiento obvio ante estos interesante y esperanzadores resultados son: ¿Cómo es posible alcanzarlos?

Este es justamente el punto de inicio de la TOC; porque cada persona es consciente de que las cosas podrían ser mejores de lo que actualmente lo son y que solo dependerá de hacer más para obtener una mejor vida. Debemos concebir todas las actividades que realicemos como un sistema, ya que esta es la manera más fácil de progresar a través del trabajo en equipo.

Debemos concebir a la competitividad en todos los campos y niveles de nuestra vida, ya que esto se constituye en el motor de la vida económica, convirtiéndose en algo indispensable para el mejoramiento.

Definir la meta del sistema, las unidades de medición y los medidores operativos

Un sistema es una red de componentes interdependiente que trabajan juntos para lograr la meta del sistema. Las organizaciones tienden por naturaleza a tener altos grados de interdependencia, debido a que los componentes del sistema trabajan juntos con el fin de alcanzar la meta común de este sistema, por ello debemos desarrollar un aspecto fundamental que debemos tomarlo en cuenta “Los componentes de un sistema trabajan juntos con el objeto de lograr la meta del sistema”

La meta incluye calidad, eficiencia, tecnología y ventas. Compras baratas, contratación de gente adecuada, tecnología de punta, fabricación de bienes de calidad, venta de bienes de calidad, conquista de una tasa de mercado, comunicación y cumplimiento de los deseos del cliente. Ganar dinero aumentando los beneficios netos y al mismo tiempo el rendimiento de la inversión y la liquidez. Esta meta debe incluir planes para el futuro ya que la gerencia debe planear para el futuro y no ser víctima de las circunstancias, las clases de compromisos que conlleva esta nueva actitud incluye:

- El aprendizaje continuo para todo el personal de la organización.
- El análisis constante del entorno con el cual la organización interactúa.
- El entendimiento de la necesidad de innovar.

Por ello debemos entender a nuestra organización como un todo, es decir como un sistema total y que tenemos una visión total de la meta a la cual nos queremos enfocar.

Midiendo el Sistema

Constantemente deberemos determinar si nuestro sistema está o no logrando la meta planteada, si existe algo que no nos ayude a optimizar el sistema, esto sin duda nos generará pérdidas, debemos tener en cuenta que lo que nos dará

mejores resultados serán los esfuerzos coordinados, más no la suma de esfuerzos individuales.

¿Qué medidores necesitamos?

Parámetros que permiten establecer procedimientos operativos para alcanzar la meta: ingresos (tasa de generación de dinero a través de las ventas), inventario (dinero que el sistema ha invertido en adquirir cosas que luego pretende vender) y Gastos de operación (dinero que gasta el sistema para convertir el inventario en ingresos). Un parámetro mal definido es peor que uno inútil.

Por el hecho de que el dinero es un recurso escaso, los gastos de operación deben ser mínimos, pero lo que el sistema siempre debe tender es a tener un *Throughput* alto en el corto plazo ya que esto nos generará: un mejor servicio al cliente, reducción de la inversión y gastos operacionales, incremento en nuevos pedidos, crecimiento del *Throughput* futuro al mejorar la ventaja competitiva.

También debemos tener en cuenta otros dos medidores:

Utilidad Neta $= \textit{Throughput} - \textit{Gastos de Operación}$

Utilidad Neta Retorno de la inversión $= \textit{Inversión}$

La Contabilidad de costos Vs. Teorías de las restricciones

En un principio la Contabilidad de Costos brindaba a los administradores la habilidad de tomar decisiones que les ayudaron al mejoramiento del desempeño de sus organizaciones, pero con el transcurrir del tiempo, esto se ha vuelto obsoleto; el enfoque de la Contabilidad de Costos es individual, o focal, mientras que la TOC busca un enfoque global.

Entienda el Sistema

Debemos concebir a nuestra organización como una red de procesos interdependientes, es decir, verlo como un todo, como un sistema para que la meta común de la compañía se logre mediante la interacción de los esfuerzos individuales internos y externos.

Al momento de diseñar las actividades dentro de cada proceso de nuestro sistema, debemos tener un conocimiento general de todas las funciones que realizan cada uno de los miembros involucrados en nuestra organización.

Los diagramas de flujo por el hecho de ser representaciones gráficas son de fácil entendimiento y de gran ayuda para comprender cada una de las actividades que se realizan al interior del sistema.

El flujo del proceso fue diseñado para minimizar el tiempo que toma comprarle al proveedor y enviar las partes al cliente cuando los procesos son dibujados como diagramas de flujo y se comparan con la forma ideal como deberían realizarse para ser consistentes con la meta de la organización.

Para establecer una fase de diseño y rediseño del sistema utilizaremos la nube de conflicto que es un sistema de negociación entre todas las necesidades de las personas involucradas; luego de ello buscaremos las necesidades que las partes en conflicto están tratando de satisfacer; es necesario manejar adecuadamente la repuesta negativa por tres razones:

- Proteger a los cambios propuestos de dificultades inesperadas.
- Persuadir a las personas que tienden a ser “*abogados del diablo*”
- Ejercer el liderazgo a través de la escucha y la incorporación de insumos relevantes.

Hacer que el sistema sea estable

Una vez que tenemos una visión clara de los procesos de nuestro sistema y de cómo interactúan podríamos entender cuáles son las implicaciones sobre los procesos de nuestras acciones y decisiones y también del sistema como un todo. El proceso a aplicar deberá ser continuo.

Las Gráficas de control y la reducción de la variación

Se usa para medir y reducir la discontinuidad en un sistema, el comportamiento de un sistema va a ser impredecible, si un proceso está fuera de nuestro control al utilizar un diagrama de flujo podremos medir y mejorar la estabilidad de nuestro sistema. Si se tiene una variación que es controlada el proceso es predecible lo que no ocurre cuando no lo es, por ello para mejor un proceso que esta fuera de control se debe identificar la causa especial, activar una solución inmediata, establecer la causa de la ocurrencia de la causa especial, aplicar una solución de largo plazo. Un proceso puede tener las siguientes situaciones:

- **Estado Ideal:** El proceso se encuentra bajo control estadístico y produce el 100% de productos conforme.
- **El Estado del umbral:** Registra un grado razonable de control estadístico, pero producirá algunos productos no conformes
- **Al borde el estado del caos:** Todo parece estar bien pero el proceso está afectado por causas especiales de variación que deterioran la estabilidad del proceso y hacen que su comportamiento sea impredecible.
- **Caos:** Aquí el proceso está tanto fuera de control estadístico como generando productos no conformes.

No debemos tener procesos fuera de control ya que estos se convierten en actividades impredecibles lo que eleva significativamente los costos del proceso.

La gerencia de los sistemas a través de las restricciones

Que los procesos sean sumamente variables es la causa de los problemas a interior del sistema, ya que solo cuando hayamos identificado la raíz de esta variabilidad podremos determinar una solución adecuada para el sistema.

Identificar las restricciones del sistema:

- Llamamos "restricción" a los síntomas de no usar correctamente nuestro sistema.
- En general sentimos que tenemos miles de restricciones: falta de gente, falta de máquinas, falta de materiales, falta de dinero, falta de espacio, políticas macroeconómicas, ausentismo, exceso de stocks.
- La teoría general de los Sistemas sostiene que cualquiera sea el sistema y su meta, siempre hay unos pocos elementos que determinan su capacidad, sin importar cuán complejo o complicado sea.

2.3.1.14 Empresas u organizaciones en donde se vienen aplicando la TOC.

Es necesario que la organización tenga bien en claro su meta, posea los recursos económicos, físicos y políticos y sobre todo que tenga interés para someterse a un cambio.

La TOC es aplicable en todas aquellas empresas u organizaciones que busquen un aumento de sus beneficios y que deseen lograr una eficiencia en la producción de sus bienes y servicios. Actualmente alrededor del mundo una gran cantidad de organizaciones han implementado en sus cadenas de producción la TOC, dentro de las más destacadas podemos citar:

- United Air Lines
- US Air Force
- US Marine
- General Electric
- General Motors
- ATM
- Dupont
- Ford
- Pfizer
- Hewlett Packard
- Ford Electronic
- Motorola
- Intel Internacional
- Procter & Gamble
- Delta Air lines
- Honeywell
- Lucent Technologies
- Harris semiconductores
- La industria de avión de israelí.

2.3.1.15 Indicadores de la TOC y su aplicación en las empresas.

- *Throughput* (T) : Velocidad de generación de dinero por ventas.
- Inventario (I) : Dinero invertido para generar *throughput*.
- Gastos de Operación (GO) : Dinero que se gasta para generar *throughput*.
- Utilidad : $T - GO$
- Rentabilidad : $(T - GO) / I$
- Productividad : T / GO
- Rotación : T / I

2.3.2 Método de la Descomposición del trabajo

2.3.2.1 Teoría de la Descomposición del trabajo

La Teoría de la Descomposición del Trabajo es, junto con la de las limitaciones, la base sobre la que se construye el método de la Cadena Crítica. Este teorema, también conocido como Work Breakdown Structure, se basa en el desglose de tareas que componen un proyecto en su totalidad.

El alcance del proyecto queda, en función de la teoría de la descomposición del trabajo, dividido en pequeñas unidades que representan una actividad. Cuando se gestionan proyectos complejos o multi-proyectos puede suceder que cada una de estas células se asocien a otros objetivos relacionados con:

- Fases en que se descompone el proyecto.
- Localización geográfica donde se concentra un determinado tipo de trabajo.
- Disciplinas interrelacionadas entre sí.

En cualquier caso, al establecer cada una de estas unidades siempre se busca lo mismo:

- Ganar capacidad de control.
- Facilitar el seguimiento de los trabajos.
- Comprobar la alineación con los objetivos prefijados.

2.3.2.2 Las claves de la descomposición del trabajo para la cadena crítica

La planificación del proyecto se concentra, al aplicar la teoría de la descomposición del trabajo, en los paquetes de trabajo que conforman cada una de estas unidades. Identificar las necesidades se convierte en una tarea mucho más simple, a la vez que se consigue optimizar la gestión de recursos atribuibles a cada una de ellas.

A la hora de crear cada una de estas unidades hay que partir de los objetivos estratégicos del proyecto y así, avanzando desde lo más general hasta el máximo detalle, se van configurando los distintos niveles que soportarán la estructura de proyecto y su alcance.

Aplicada esta teoría a la implementación del método de la cadena crítica en la gestión de proyectos complejos, es posible:

- Adquirir una visión global muy realista sobre la línea de tiempo de desarrollo del proyecto.
- Controlar costos.
- Determinar la asignación de recursos.
- Minimizar el riesgo de proyecto.

2.3.3 Método de la Cadena Crítica

2.3.3.1 Definición y origen de la Cadena Crítica.

Esta metodología de gestión de proyectos conocidas como CCPM por sus siglas en inglés (Critical Chain Project Management) surge a finales de los años 90' en el seno de Teoría de las Limitaciones (TOC), representando una alternativa a los métodos tradicionales. La idea de CCPM fue introducida en 1997 en el libro "Cadena Crítica" por el Físico Eliyahu Moshe Goldratt.

Las aplicaciones de CCPM han tenido sus logros en proyectos que han alcanzado ser hasta 50% más rápidos y más económicos que aquellos que usan los métodos tradicionales como CPM, PERT, Gantt, etc.

La Cadena Crítica es un método de Gestión de Proyectos basado en el enfoque sistémico de la Teoría de las Restricciones TOC (Theory of Constraints), que consiste en una manera novedosa de planificar, administrar y controlar los sistemas de uno o varios proyectos y que pone mucho énfasis en los recursos requeridos para ejecutar las tareas.

Este método revolucionó el modo de administración y programación de proyectos, ya que supera las limitaciones del método Camino Crítico.

Esta teoría genera contraste con la tradicional Ruta Crítica y los métodos PERT, que enfatizan el orden de tarea y rigidez del programa de proyecto. Una red de Cadena Crítica requerirá cierta flexibilidad por parte de los métodos tradicionales, para mantener recursos nivelados, pero depende de ellos desde el principio hasta el final con el propósito de conseguir que no se atrase el proyecto. La Programación de Cadena Crítica, para proyectos representa el principal cambio vivido en gestión de proyectos en los últimos años.

En la gestión de proyectos, la Cadena Crítica es la secuencia de precedencias y elementos terminales dependientes de recursos que evitan que un proyecto, al

que se le dan recursos limitados, pueda ser completado en un tiempo menor. Si los recursos de un proyecto estuviesen siempre disponibles en cantidades ilimitadas, entonces la cadena crítica de un proyecto sería igual a su ruta crítica; tiene en cuenta el incorrecto manejo de la incertidumbre que hace que la mayoría de los proyectos no se terminen en el tiempo esperado, con el costo esperado y con la calidad esperada. Es el caso típico en el que se busca resolver los problemas agravándolos.

La Cadena Crítica facilita generalmente que la empresa llegue a finalizar el o los proyectos que tienen en su agenda, permitiendo que la misma llegue a su meta. Conjuntamente esta se enfrenta a estas tendencias cambiando la forma en la que son planificados y ejecutados los proyectos teniendo en cuenta que se basa en el cuestionamiento de lo que es realmente crítico y limitante en un proyecto a la hora de programarlo (planificarlo), así como a la hora de su ejecución. Implica enormes cambios de paradigmas a nivel organizativo e individual.

2.3.3.2 *Características de la Cadena Crítica.*

Dentro de las características más relevantes del método encontramos que:

- Es un método sencillo y de fácil aplicación operativa.
- Es aplicable a las problemáticas de un proyecto individual como de multi proyectos que comparten recursos.
- Basa su estructura en un enfoque Sistémico.
- Ayuda e resolver la problemática existente en las limitaciones de recursos.
- Consideran las causas e implicaciones de la variabilidad.
- Consideran la influencia del comportamiento humano.
- Tienen en cuenta las problemáticas específicas de los entornos multi proyecto.
- Utiliza en su sistema la administración de "Buffers".
- Entre otros.

2.3.3.3 *Ventajas de la aplicación de la Cadena Crítica.*

Son algunas definiciones simples de los elementos a considerar en la metodología:

- ✓ Cadena. - Rama de secuencia de actividades que pueden tener las mismas dependencias planteadas en el método CPM.
- ✓ Cadena Crítica. - Es la cadena más larga del proyecto, puede estar alimentada por cadenas más pequeñas.
- ✓ Buffer. - Es la actividad ficticia con duración mayor a cero, que no requiere recursos.

- ✓ Project Buffer. - Buffer que se inserta al final de la cadena crítica, como tiempo adicional recursos.
- ✓ Feeding Buffer. - Buffer que se inserta al final de las cadenas que alimentan a la cadena crítica, como tiempo adicional.
- ✓ Resource Buffer. - Es un Buffer que alerta cuando un recurso será ocupado a lo largo de la cadena crítica. Esta notificación es necesaria debido a que en CCPM no existen fechas asociadas con cada actividad, estas van cambiando en la medida que se ocupan los Buffers.

2.3.3.4 Criterio para estimar duración de actividades “Criterio P (50%)”.

La metodología hace reducciones en las duraciones estimadas para las actividades, estas reducciones de tiempo son las que se consideran para el dimensionamiento de los buffers.

Este criterio de ahora en adelante “Criterio P (50%)”, trabaja con duraciones de actividades reducidas al 50% de duración de la estimación pesimista utilizada en CPM, según las bibliografías Critical Chain a business novel, Critical Chain Second Edition, Critical Chain Buffer Sizing entre otras; el considerar el 50% de la duración es equivalente a un 50% de nivel de confianza en la duración promedio de las actividades si tienen una distribución normal.

La correcta aplicación de este criterio requiere de la experiencia por parte del programador, pues no necesariamente aplica para todas las actividades, ya que algunas pueden tener duraciones o rendimientos subestimados, esto implica que una o más actividades pueden ser reducidas a duraciones superiores al 50% de la original llegando incluso a no reducirse.

2.3.3.5 Etapas para la Programación con CCPM.

Los pasos básicos para el proceso de programación de un proyecto, asumiendo que no se utiliza un programa computacional especial para la cadena crítica, son los siguientes:

Etapas 1: Identificar la Cadena Crítica

- 1.1** Crear un Layout de la red de actividades con fechas tardías. Reducir la duración de las actividades utilizando el Criterio P (50).
- 1.2** Si no existe dependencia de recursos ir al paso **1.6**.
- 1.3** Identificar la restricción que se resolverá primero, esta debería ser la restricción que produce el cuello de botella, o la más conflictiva, si muchas restricciones presentan el mismo potencial de conflicto, se elige la última.

1.4 Remover la restricción de recursos reprogramando las actividades antes. (No preocuparse de crear nuevos conflictos en este paso, estos se resolverán en la siguiente secuencia).

1.5 Volver al final de la programación y seguir el paso **(1.4)** para la siguiente restricción de recursos. Al ir resolviendo los conflictos para las siguientes restricciones, se deben mantener las modificaciones anteriores. Repetir hasta resolver todos los conflictos.

1.6 Identificar la cadena crítica como la cadena más larga de eventos dependientes.

Etapa 2: Análisis de la Cadena Crítica.

2.1 Revisar la planificación para determinar si la re-secuencia puede acortar la duración total del proyecto, si se permite, hacerlo.

2.2 Añadir el buffer de proyecto al final de la Cadena Crítica.

Etapa 3: Subordinar las otras actividades, rutas y recursos a la cadena crítica.

3.1 Proteger la cadena crítica mediante el uso de Feeding Buffers a todas las cadenas que alimentan la cadena crítica. Dimensionar estos Buffers usando la ruta más larga antes del Buffer. (Nota: todas las cadenas no críticas alimentan la cadena crítica para completar el proyecto. Si algunas cadenas van directamente al buffer de proyecto, estas necesitan Feeding Buffers).

3.2 Resolver cualquier restricción de recursos creada por la adición de los Feeding Buffers adelantando las actividades pertenecientes a esta cadena.

3.3 Adelantar cualquier actividad dependiente de actividades que han sido movidas en el paso **3.2**.

Etapa 4: Acortar el plazo de entrega del proyecto mediante el uso de recursos adicionales para disminuir la restricción de ventanas de tiempo.

Etapa 5: Insertar Resource Buffer entre las actividades que utilicen el mismo recurso.

Etapa 6: Volver al paso uno. No permitir que la inercia de las iteraciones se convierta en restricción.

Esta metodología puede utilizarse para proyectos pequeños y para proyectos medianos a grandes con muchas actividades; hoy en día existen softwares especializados.

Como consecuencia de la aplicación de estas etapas se llega a esta importante idea de “Good Enough”: (Suficientemente bueno), para proyectos con CCPM, por razones matemáticas, es imposible construir un algoritmo preciso de optimización para la nivelación de recursos. El procedimiento para desarrollar una planificación con CCPM y asegurar que ésta será lo suficientemente buena, esto significa que el tiempo total de proyecto será, con una pequeña parte de la longitud del buffer de proyecto, cercano a la planificación óptima.

Esto desde luego que en la realidad tendrá muchos cambios debido a los supuestos realizados y no se puede predecir explícitamente los resultados de las variaciones estadísticas, es por esto que se usa el concepto “Good Enough”.

2.3.3.6 Dimensionamiento de los Buffers.

Existen varios métodos para el dimensionamiento de los Buffers, los que más destacan son los siguientes:

- **Dimensionamiento para Project Buffer y Feeding Buffer**

Método 1: 50% de la duración de la Cadena

Este método suma la duración de una cadena y determina el tamaño del Buffer como la mitad del total. No se debe contar los espaciamentos entre actividades. Para las cadenas que alimentan la cadena superior, se debe considerar la cadena de más larga duración.

Este método tiene dos fortalezas: es simple y usualmente provee un Buffer de tamaño adecuado. La principal debilidad de este método es que no permite conocer explícitamente la variabilidad de las actividades. Este método además crea Buffers de duración relativamente largas, que en algunos casos son difíciles de justificar.

$$Buffer = 0.5 \sum_{i=1}^n (d_i - Tr_i)$$

Donde:

n : es el número de actividades pertenecientes a la Cadena

D_i : es la duración de la actividad i

Tr_i : es la reducción de la duración de la actividad i

Método 2: SSQ Square Root of the Sum of the Squares¹

¹ Raíz cuadrada de la suma de los cuadrados

El método SSQ usa información de bajo riesgo de la duración media para cada actividad en la cadena, esto se dimensiona como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de la diferencia entre las duraciones estimadas de las actividades antes de utilizar el criterio P (50) y después. Como el método para las cadenas de alimentación para las ramas ascendentes, usa solamente la cadena más larga o el resultado mayor de cada cadena.

La primera ventaja de este método es que permite la utilización de la variación conocida de cada actividad. Una desventaja es que esto podría conducir a Buffers de tamaño menor al deseado para cadenas largas.

$$Buffer = \sqrt{\sum_{i=1}^n (U_i - L_i)^2}$$

En donde:

n : es el número de actividades pertenecientes a la Cadena

U_i : es la duración de la actividad i antes de utilizar el criterio P (50)

L_i : es la duración de la actividad i después de utilizar el criterio P (50)

Método 3: Bias Plus SSQ

Este método combina los dos anteriores, usando un Buffer ajustado a la cantidad de información disponible para las variaciones, sumado con el método SSQ para dar cuenta de una variación de causa común. Esta cantidad ajustada usualmente será asignada como menos del 50% de la cadena.

- **Dimensionamiento para Resource Buffer.**

Goldratt recomienda la utilización de un Buffer de recursos para ayudar a anticipar la utilización de recursos en una actividad a lo largo de la cadena crítica. Debido a que la metodología no trabaja con fechas definidas y la utilización de los recursos debe ser planificada con anterioridad, los Resource Buffers actúan como notificaciones que indican cuando un recurso esta por ser utilizado en otra actividad. El dimensionamiento de este buffer corresponde al 50% de la duración de la actividad reducida con el criterio P (50).

2.3.3.7 *Secuencia ilustrativa de la Programación con CCPM*

Analítico.

Se presenta esquema de cuatro actividades, con sus respectivos tiempos, en el cual se esquematiza la metodología y su fundamento principal. (Ver Figuras 25, 26, 27, 28 y 29)

- (1) *PRIMER PASO: Actividades con sus tiempos pesimistas incluidos sus protecciones:*

Figura 25

ETAPA 1 Actividades Incluidos Tiempos de Protección



- (2) *SEGUNDO PASO: Se les disminuye el tiempo pesimista a las tareas en un 50% y se separa dichos tiempos.*

Figura 26

ETAPA 2 Actividades sin Tiempos Pesimistas



- (3) *TERCER PASO: Se juntan las actividades con los nuevos tiempos, tanto los tiempos de actividades y las holguras.*

Figura 27

ETAPA 3 Unión de Actividades con Nuevos Tiempos y Holguras



- (4) *CUARTO PASO: Se reduce al 50% los tiempos acumulados del buffer, lo cual será la longitud final del buffer.*

Figura 28

ETAPA 4 Reducción al 50% los Tiempos Acumulados del Buffer

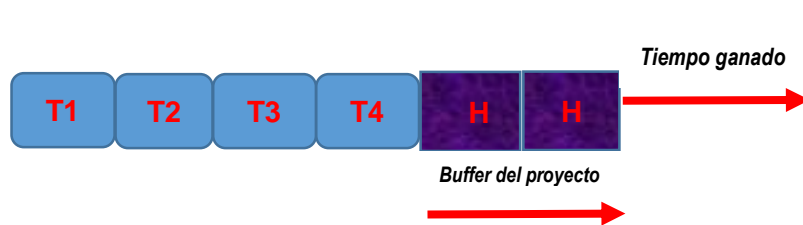


→
Protección del proyecto

(5) QUINTO PASO: Se estableció el 50% los tiempos acumulados del buffer, lo cual será la longitud final del buffer.

Figura 29

ETAPA 5 Reducción del 50% de las Holguras



Numérico

Se expone un modesto ejemplo de cinco actividades programado por CPM con las fechas tempranas, con sus respectivos tiempos y predecesores respectivos en el cual tratamos de explicar la metodología y su fundamento principal (las actividades críticas son mostradas con color rojo y las no críticas de azul) con una duración total de 80 días. (Ver Figura 30)

Figura 30

Programación con el Método CPM, con las Fechas Tardías

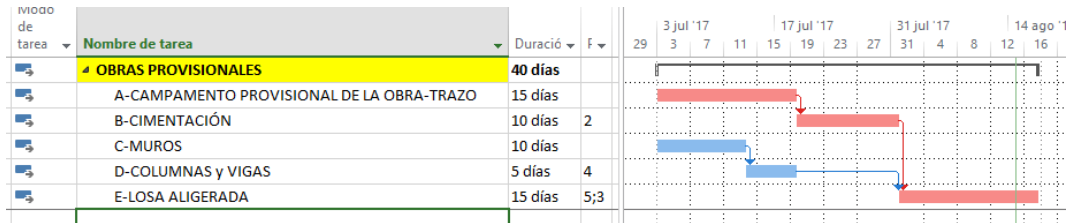
de tarea	Nombre de tarea	Duració	F	3 jul '17	10	21	1	12	23	3	14	25	6
	OBRAS PROVISIONALES	80 días											
	A-CAMPAMENTO PROVISIONAL DE LA OBRA-TRAZO	30 días											
	B-CIMENTACIÓN	20 días	2										
	C-MUROS	20 días											
	D-COLUMNAS y VIGAS	10 días	4										
	E-LOSA ALIGERADA	30 días	5;3										

A continuación, se reduce la duración de las actividades siguiendo el criterio P (50%) y se reprograma el proyecto con las fechas tardías; como se puede ver la programación es la misma, sin embargo, la duración es 40 días (Ver Figura 31)

En la imagen se muestra la programación aplicando el método de la Cadena Crítica, es decir con el ejemplo anterior, pero reduciendo al 50% los tiempos pesimistas de las actividades y el tiempo resulta de 40 días.

Figura 31

Programación Aplicando Método de la Cadena Crítica CCPM



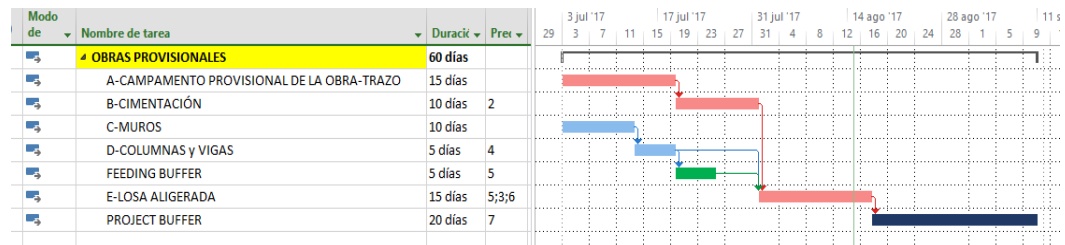
En la siguiente etapa se establece el Buffer del proyecto, el cual sería la mitad de la diferencia de los tiempos de ejecución con el método CPM y con el método de la Cadena Crítica CCPM.

O sea: $80 \text{ días} - 40 \text{ días} = (40 \text{ días}) / 2 = 20 \text{ días}$.

En la siguiente figura, se añade el Project Buffer y el Feeding Buffer. Debido a que no hay dependencia de recursos, no se añade Resource Buffer en este caso. (Ver Figura 32)

Figura 32

Programación Aplicando CCPM



Al aplicar CCPM la duración del proyecto es 40 días con un buffer de 20 días, total 60 días y con un Feeding Buffer entre la actividad D y E de 5 días.

2.3.3.8 Ventajas de la aplicación de la cadena crítica.

Internamente se pueden destacar las siguientes ventajas que proporciona la aplicación de esta técnica, frente a las existentes actualmente:

- Reduce el tiempo del plazo de los proyectos por sus implicaciones en términos operativos y estratégicos.
- Se entregan más proyectos en menor tiempo, utilizando los mismos recursos.
- Produce que la empresa se dirija en una misma dirección global.

- Se potencializa más las capacidades que posee la empresa, haciendo que el flujo de los proyectos sea cada vez más efectivo.

2.3.3.9 *Prácticas habituales con el método de la Cadena Crítica.*

La aplicación de la Cadena Crítica aborda cuatro prácticas habituales que se dan en mayor parte de los entornos de gestión de proyectos y que son los causantes de que se comprometan las especificaciones iniciales de alcance, presupuesto y la fecha de entrega de los proyectos y estas son:

- La primera práctica habitual de la cadena crítica, Intenta cumplir la fecha de entrega del proyecto protegiendo todas las tasas de la incertidumbre del entorno.
- La segunda práctica que se basa en no tener en cuenta la dependencia de recursos a la hora de determinar el Camino Crítico o la cadena más larga de tareas interdependientes.
- La tercera explica que debemos aceptar como práctica habitual la multitarea que resulta innecesaria.
- La cuarta se basa en tratar a los recursos ociosos en un proyecto como un despilfarro.

2.3.3.10 *Aplicación del método de la Cadena Crítica en Gestión de Proyectos.*

La aplicación de la Cadena Crítica en la gestión de proyectos propone efectuar un cronograma del proyecto donde se cuide la fecha de finalización mediante la toma de las contingencias u holguras que antes estaban repartidas en cada una de las tareas y concentrarlas en la zona donde se requieran, adicionando los “buffers o amortiguadores” en la finalización del camino crítico.

También el método tiene como particularidad que toma en cuenta la influencia que tiene el comportamiento humano en la realización de las actividades.

El estudio del comportamiento humano con relación a la realización de las tareas que componen un proyecto es de suma importancia, puesto que las tareas directa o indirectamente son realizadas por personas, que traen consigo ciertos comportamientos que al estudiarlos se hacen generalizados y que afectan el desarrollo de la ejecución del proyecto y por ende la entrega del mismo.

Por esto el Dr. Goldratt incluye en la Cadena Crítica estas dependencias y hace denotar lo importante que es dicho estudio para la eficiencia y eficacia de la gestión del proyecto, además Goldratt plantea el uso de la teoría de Restricciones como la metodología para encontrar solución a los problemas típicamente encontrados en la gestión y ejecución de proyectos, aunque su teoría fue dada a

conocer en 1984 en su reconocido libro *La Meta* es en su libro *Cadena Crítica* donde plantea el problema de la identificación del cuello de botella y la capacidad de los recursos del proyecto haciendo gran énfasis en la planeación del mismo.

El punto central de la teoría de Restricciones es la capacidad de discernir las actividades y los procesos a tal punto que se logra encontrar las relaciones de causa efecto entre las operaciones iniciales y los resultados, esto conlleva a determinar el núcleo del problema y deducir los principios básicos por los cuales se rige el sistema que se pretende mejorar.

2.3.3.11 *Problemas que se presentan en los Proyectos.*

Dado que las empresas que trabajan con proyectos, suelen realizar múltiples tareas diferentes y repetitiva incertidumbre respecto al tiempo necesario para cada una, lo que puede dificultar la determinación de la fecha de finalización y el presupuesto de sus costos totales. También es necesario determinar el grado de avance de un proyecto para efectos contables.

Al ser la incertidumbre lo que realmente tipifica a los proyectos se puede considerar a la misma como causa principal de su difícil gestión. Los problemas que se suelen presentar durante la ejecución de los proyectos podemos resumirlos en:

- a) Desfases en el presupuesto.
- b) Finalización fuera del plazo establecido.
- c) Variaciones o modificaciones en las especificaciones originales.

Con la finalidad de mejorar la gestión de los proyectos, la Teoría de las Limitaciones establece como alternativa a la «ruta crítica» la «cadena crítica». Otro aspecto importante en la gestión de los proyectos es la cuantificación de la incertidumbre para garantizar su entrega a tiempo, evitando que la intuición siga desempeñando un papel tan importante en la fase de negociación de precios y plazos de entrega.

2.3.3.12 *Gestión de los tiempos de duración de las partidas.*

En un entorno caracterizado por la incertidumbre el tiempo necesario para realizar una actividad no se conoce con exactitud, por ello al presentar ofertas se debe tener en cuenta la incertidumbre dado que:

- El tiempo exacto que se necesita para realizar una tarea no repetitiva no se puede conocer hasta que la tarea no se finaliza.
- Las capacidades y motivaciones del personal pueden diferir sustancialmente entre el personal que ha de realizar las tareas.
- Los clientes suelen hacer cambios que pueden afectar a los resultados previstos. Las estimaciones de tiempo que suelen hacerse para las diferentes tareas es muy superior a la del tiempo medio.

A la protección que suele añadir el que realiza la tarea hay que sumar la protección que también suele añadir su jefe dado que normalmente, cuando la suma de tiempos es excesiva el presupuesto es alto y en este caso la empresa tiene pocas posibilidades de competir de ahí que la dirección suele realizar algunos recortes globales. Esta es otra de las razones por las que se suelen proteger los que ejecutan y son responsables directos del presupuesto.

2.3.3.13 Ideas claves en la Gestión de Proyectos aplicando Cadena Crítica.

Si podemos identificar partidas que están muy cerca de no cumplirse a tiempo y tenemos suficiente tiempo para tomar acciones correctivas que nos permitan poner las cosas en orden, entonces tendremos una mayor posibilidad de ejecutar la partida a tiempo.

La gerencia del amortiguador es el proceso de mirar hacia adelante, que resalta cuando y donde hay un rompimiento del flujo, además reduce la presión del día a día y libera tiempo para que los gerentes analicen más y aprendan sobre qué está obstruyendo o bloqueando el flujo, la unidad de medida del amortiguador es el tiempo. Cuando detectamos una ruptura en el flujo, hay un problema en un amortiguador esa ruptura se manifiesta a través de la llegada tardía de materiales, partes o productos a un punto de control.

Esta teoría discutida ampliamente en el libro se basa en las siguientes ideas:

- Generar a la compañía valor económico de forma sostenible en el tiempo, de manera que se eliminen las restricciones que se le presentan para generar su máximo de capacidad y por ende su mayor utilidad.
- Identificar las restricciones verdaderamente importantes que le impiden a la empresa generar mayor valor agregado en sus actividades.
- Tener en cuenta que las restricciones no siempre se definen como limitaciones entorno a recursos, establecer el tipo de limitantes que impiden a la compañía optimizar tanto tiempo como recursos. Los limitantes también pueden ser hallados en las políticas o criterios de decisión de la alta gerencia.
- El principal paso es identificar las restricciones y eliminarlas siguiendo los procesos sistemáticos. Así, Goldratt a través de sus personajes Rick y Johnny (Catedrático experto en el tema de restricciones) abordan ampliamente en su historia la metodología de aplicación de la teoría de restricciones verificando su utilidad en la aplicación de casos reales en los que se encuentran sus estudiantes.

2.3.3.14 La Gerencia de Proyectos utilizando la TOC.

Un proyecto es un conjunto de acciones que son necesarias para satisfacer las especificaciones requeridas por un cliente, deben ser cumplidas dentro de un

presupuesto y un periodo de tiempo limitado. Hay muchos factores diferentes que causan problemas, pero todos provienen del problema medular de administrar la incertidumbre, algunos de estos factores son:

- **Multitareas.** - La primera forma para manejar tareas múltiples es ejecutando en secuencia cada actividad hasta terminarla.
- **Síndrome del Estudiante.** - La tendencia de las personas de esforzarse para culminar el trabajo, es cuando la fecha de entrega está cerca.
- **Interdependencia.** - Un retraso en tan solo una tarea significa retrasar todo el proyecto. La acción permite resolver este conflicto es que no es importante proteger las actividades individuales que conforman el proyecto, sino que es esencial proteger todo el proyecto por lo que debemos:
 - Adicionar tiempo al final de la cadena crítica.
 - Definir la cadena crítica como la secuencia más larga de actividades, considerando simultáneamente la dependencia de las actividades y a la dependencia de los recursos. Para dar solución al problema debemos aplicar nuevamente los cinco pasos de focalización.
 - Cuando existan proyectos múltiples es necesario considerar la interdependencia que existe entre estos.

2.3.3.15 *Técnicas para la Gestión de Procesos en la Cadena Crítica.*

Estas técnicas están desarrolladas para guiar y mantener un patrón de mejoramiento continuo.

- *Reducir la variabilidad de la restricción y de los procesos principales.*

La variabilidad es el obstáculo más difícil que se debe superar; mediante el análisis de la gerencia del amortiguador podemos señalar algunas áreas que requieren atención como son: Restricciones de capacidad, de políticas y medidores, de autoridad, de ventas, en las relaciones interpersonales. Existe un obstáculo que ciertamente vamos a tener que superar mientras reducimos progresivamente la variabilidad de la restricción y de los procesos principales de nuestro sistema, que es la resistencia al cambio que surge normalmente de las personas. Si queremos que nuestra solución sea aplicada exitosamente, entonces todos los involucrados tienen que estar en la capacidad de adaptar sus comportamientos a los requerimientos de esa solución, para lo cual las personas en la organización tienen que comprender el cambio que se les está pidiendo.

- *Diseñar una estructura gerencial adecuada para que el sistema crezca.*

Si subordinamos todos los demás componentes del sistema a las decisiones relacionadas con la restricción y la restricción es realmente la restricción, entonces

todo el resto del sistema tendría que auto - limitarse y no producir al máximo. De esta manera el sistema asumirá el comportamiento de tubo derecho con el diámetro perfectamente constante. Cuando aplicamos esto a multi - proyectos que utilizan recurso compartidos son administrados simultáneamente, tenemos que construir una programación compartida; por lo que un recurso determina el *throughput* de la organización, de hecho, se convierte en la restricción.

- *El conflicto entre la jerarquía vs. el sistema.*

Para poder administrar una organización de manera efectiva debemos estar en la capacidad de ver las interdependencias del sistema y por esta razón debemos administrar nuestra organización de acuerdo con el modelo sistemático. Todas las diversas funciones están tan interrelacionadas tan cerca, que no podemos pensar seriamente que el desempeño de una función individual sea completamente independiente del resto del sistema.

- *Eliminar la restricción externa – venta de la capacidad excedente.*

Sólo cuando analizamos y razonamos constantemente sobre los procesos de nuestra organización y tomamos acciones para reducir la variación y estabilizar nuestro sistema, comprendemos cuán importante es tener exceso de capacidad. Si administramos buscando vender nuestra capacidad excedente y por lo tanto generamos más *throughput*, encontramos la forma de hacer que nuestro sistema maximice su desempeño. Podemos lograr un enorme incremento de la percepción de valor que las personas tienen de nuestro producto, si podemos lograr que ellos vean que nuestro producto resuelve un problema para ellos. Si atacamos efectivamente al problema medular todos los efectos Indeseables van a desaparecer o reducirse, por lo cual requerimos conocer el problema medular del cliente.

Pasos claves para el uso de la Cadena Crítica.

Lograr identificar los dos principales indicadores que determinan si existe o no una restricción durante un proceso constructivo, serían que los tiempos de entrega no son los correctos y que los tiempos de procesos muy largos, para contrarrestar esto se propone principalmente los siguientes pasos:

- *Identificar cuáles son las restricciones del sistema desde una visión global.*

- ✓ “Restricción” a los síntomas de no usar correctamente nuestro sistema.
 - ✓ En general tenemos miles de restricciones: falta de gente, falta de máquinas, falta de materiales, falta de dinero, falta de espacio, políticas macro económicas, ausentismos, excesos de stocks.
 - ✓ La teoría general de los sistemas sostiene que cualquiera sea el sistema y su meta, siempre hay unos pocos elementos que determinan su capacidad, sin importar cuan complejo o complicado sea.
 - ✓ La restricción del sistema puede ser un proceso que se encuentra fuera de control.
- *Decidir cómo explotar o sacar mayor provecho a las restricciones identificadas.*

Las restricciones impiden al sistema alcanzar un mejor desempeño en relación a su *Meta*, por ello es fundamental entonces decidir cómo vamos a utilizarlas, como vamos a explotarlas, también se deberá de tener un plan detallado para realizar las partidas, este mecanismo se le llama *TAMBOR*.

- *Subordinar todo lo demás a la decisión tomada para la restricción.*

Este paso consiste en obligar al resto de los recursos a funcionar al ritmo que marcan las restricciones del sistema; como la empresa es un sistema, existe interdependencia entre los recursos que la componen, por tal motivo no tiene sentido exigir a cada recurso que actúe obteniendo el máximo rendimiento respecto de su capacidad, sino que se le debe de exigir que actúe de manera de facilitar que las restricciones puedan ser explotadas según lo decidido en el Paso anterior, siendo la *CUERDA* la primera parte de la subordinación, es decir la que controla el material despachado acorde a la velocidad como la realice el tambor.

- *Elevar las restricciones.*

Para seguir mejorando es necesario aumentar la capacidad de las restricciones; por ejemplo, se puede realizar las siguientes actividades:

- ✓ La compra de una nueva máquina similar a la restricción.
- ✓ La contratación de más personas con las habilidades adecuadas.
- ✓ La incorporación de un nuevo proveedor de los materiales que actualmente son restricción.

- ✓ La construcción de una nueva fábrica para satisfacer una demanda en crecimiento.
 - ✓ Proteger la restricción.
 - ✓ Identificar las áreas que no están bajo control.
- *Regreso al paso primero.*

Al haber eliminado una restricción aparecerá otra y esta servirá de base para volver a repetir el proceso. El propósito principal es el incremento del *throughput*, lo que se logra mediante la interacción de muchos recursos y disciplinas en la organización. La gerencia de la cadena de throughput significa que al ya tener asegurado la estabilidad de todos los eslabones, la primera cosa que debemos hacer es identificar cual es el eslabón más débil y llevar a los cinco pasos de focalización.

2.3.4 Diferencias entre las metodologías de CPM Y CCPM

2.3.4.1 Análisis comparativo de los métodos CPM y CCPM

Para poder analizar y diferenciar dichas metodologías se utilizan ocho criterios los cuales se describen a continuación:

- Los objetivos propios de cada método (CRITERIO-1). -
 - El método CPM tiene como objetivo principal establecer la(s) secuencia(s) de actividades que definen la duración total mínima del proyecto y considera las reacciones lógicas entre ellas, también la fecha de fin del proyecto es protegida por los márgenes de seguridad en las duraciones de cada actividad y por las holguras en los caminos no críticos que permiten ajustar la programación y finalmente la atención se centra en terminar las actividades en la fecha prevista con el objetivo de cumplir con la fecha fin del proyecto, la atención se focaliza en el cumplimiento de las fechas de las actividades del camino crítico.
 - El método CCPM crea una secuencia de actividades críticas (Cadena Crítica), teniendo como criterio principal la dependencia de recursos (restricciones) y la gestión de los Buffers; se tiene el objetivo de reducir el trabajo en progreso, las actividades se programan con el inicio más tardío con las protecciones adecuadas (buffers), con el objetivo de reducir el número de actividades realizadas simultáneamente, se pone de manifiesto que es más recomendable tener un nivel de actividad más o menos constante

que tener variaciones importantes del número de actividades que se realizan al mismo tiempo.

- Enfoque de cada método (CRITERIO 2). -
 - El método CPM se enfoca en la secuencia de actividades críticas (camino crítico) y las actividades no críticas que definen la ejecución óptima del proyecto, es decir la duración mínima factible, siendo su enfoque el cumplimiento de las fechas de inicio y termino de las actividades críticas y con ello asegurar el cumplimiento del plazo total.
 - El método CCPM se basa en la Teoría de las Restricciones aplicada al desarrollo de las actividades del proyecto, esta teoría plantea que todo sistema tiene una restricción que limita su productividad, de lo contrario la producción podría ser infinita; en CCPM las actividades no se programan para empezar o terminar en una fecha específica del calendario, se centra en la Cadena Crítica y en el seguimiento de su buen desarrollo, su atención se centra en la gestión de los buffers del proyecto y de alimentación con el objeto de evitar un cambio de la Cadena Crítica y disponer de suficiente buffer para cumplir con la fecha de término.

- Gestión de los Riesgos (CRITERIO 3). - La incertidumbre y el riesgo son inherentes en los proyectos y por lo tanto deben considerarse en la gestión de los mismos.
 - El método CPM, incluye márgenes de seguridad en las estimaciones de las duraciones individuales de cada actividad; la respuesta para los posibles eventos de riesgo, es determinar lo crítico de las actividades, para luego insertar mayor margen de seguridad en las actividades críticas, también se gestiona mediante las holguras disponibles en las actividades críticas.
 - En CCPM, se trata explícitamente el riesgo, algunos autores comentan que en las estimaciones de duraciones se tiene en cuenta el riesgo, introduciéndose un margen de seguridad que aumente la probabilidad de terminar la tarea en el plazo previsto, Goldratt propone que los márgenes de seguridad de las actividades de la *Cadena Crítica* se agrupen en el buffer del proyecto (Goldratt. 1997).
Para que la variación en las cadenas secundarias no afecte a la Cadena Crítica, en CCPM se insertan *Feeding Buffer* que agrupan

los márgenes de seguridad de las actividades de la cadena considerada, este buffer de alimentación se considera suficiente para soportar las variaciones, así las tareas se programan con un inicio más tardío; el efecto que tiene esta situación es que minimiza el trabajo simultáneamente en proceso y por consiguiente, reduce la probabilidad de los eventos de riesgo, puesto que hay menos trabajos que se están realizando al mismo tiempo.

En CCPM el riesgo está directamente gestionada en los buffers, la decisión de reprogramar solo se requiere si un buffer o más son totalmente consumidos.

➤ La gestión de los recursos (CRITERIO 4). -

En CPM no se considera explícitamente las relaciones de dependencia entre los recursos, los problemas de sobreasignación deben ser resueltos, pero las relaciones de dependencia son independientes del camino crítico. En CCPM se insertan buffers de recursos para asegurar la disponibilidad de un recurso cuando se requiera su actuación en una actividad de la cadena crítica. Se trata de una señal para advertir al recurso de su inminente intervención en la cadena crítica y se visualiza en la programación mientras que en CPM no aparece explícitamente en el cronograma.

Otro punto a destacar es que el método del Camino Crítico tiende a maximizar el uso de todos los recursos, mientras que el de la cadena Crítica se centra en los recursos críticos que producen los cuellos de botella (aquellos que intervienen solo en las actividades de la Cadena Crítica).

Mediante el uso de CPM se intenta obtener la máxima utilización de todos los recursos de la organización mientras que la idea en CCPM es que la productividad del sistema solo puede ser máximo si el recurso limitado se utiliza al máximo.

En CPM, los recursos son coordinados siguiendo el camino crítico. Cuando las actividades críticas sufren retraso, se asignan mas recurso a estas actividades o a las siguientes del camino crítico, para evitar retrasos en la fecha fin del proyecto.

En CCPM, los recursos son coordinados utilizando el estado de los *buffers del proyecto*. Durante la ejecución, los buffers de recursos se

visualizan en la programación y advierten un retraso en la actividad de un recurso cuya siguiente tarea es crítica. Esta señal asegura la disponibilidad del recurso cuando es necesario.

En CCPM, la cadena crítica se define a partir de las dependencias entre las actividades y también las de los recursos, una diferencia sustancial entre los métodos es que mientras CCPM evita la multitarea, en CPM se fomenta la utilización máxima de las capacidades de los recursos, dándose lugar a la multitarea.

Los problemas de asignación de los recursos (resource-constrained Scheduling Problem) se suelen resolver mediante software, pero en muchas ocasiones, el resultado de la nivelación de recursos propuestos por los softwares no resulta ser el óptimo teniendo que resolver manualmente. Algunos autores aconsejan retrasar las actividades que no pertenecen a la cadena crítica hasta que se resuelvan los problemas de sobreasignación (Goldratt, 1997), (Leach, 1999).

➤ Enfoque para los problemas de comportamiento humano (CRITERIO 5).

Actualmente hay un interés emergente en investigar los resultados poco exitosos o de bajo rendimiento en los proyectos desde el punto de vista del comportamiento humano en la ejecución de Proyectos (Aronson et al, 2004).

CPM, no aborda explícitamente los problemas de comportamiento humano (motivación, conflictos, curva de aprendizaje) y solo puede aplicar un mayor margen de seguridad en las duraciones de las actividades.

Por otra parte, el método de la Cadena Crítica intenta evitar algunas de las fuentes de los conflictos humanos que surgen en la ejecución de Proyectos. Así, en el modelo propuesto por Goldratt se mencionan el síndrome del estudiante y la ley de Parkinson, en relación a comportamientos humanos (Goldratt, 1997).

En su propuesta, este autor recomienda hacer las estimaciones de las duraciones de las actividades, considerando que existe una probabilidad del 50% de terminar la actividad a tiempo.

Adicionalmente, aconseja no programar las fechas de inicio y de fin de las actividades con el fin de las actividades con el fin de disminuir la presión en los trabajadores en relación al cumplimiento de fechas.

Al evitar controlar las actividades con fechas, utilizando duraciones y reduciendo las holguras mediante un inicio más tarde en las actividades que no pertenecen a la cadena crítica, se minimizan los aspectos no deseados en el comportamiento humano.

- La programación de las actividades (CRITERIO 6). - CPM la realiza estableciendo las secuencias de actividades, considerando las relaciones lógicas de precedencia y con ello se calculan las secuencias de actividades sin holgura, que definen la duración mínima (secuencia más larga). Es importante destacar que no considera explícitamente la dependencia de recursos.

CCPM utiliza como base la malla de red usada por CPM realizando algunas modificaciones, mantiene las relaciones lógicas, pero añade más relaciones al considerar explícitamente la dependencia de recursos. Trabaja con duraciones que tienen el 50% de probabilidad de cumplimiento de las actividades y un sistema de Buffers para asegurar su cumplimiento.

El método de CCPM, propone dimensionar el buffer del proyecto como el 50% de la duración total de la cadena. La línea base obtenida por CCPM se sitúa entre un 10% y un 30% más corta que la de CPM y en general no se usan hitos de control interno.

- Enfoque y metodología para la re planificación (CRITERIO 7). - CPM centra su atención en controlar que las actividades y los hitos del camino crítico no tengan retraso. En ocasiones, si ocurre un retraso, los objetivos del proyecto se ven comprometidos para esto CPM tiene herramientas como Crashing (Intensificación); *Fast Track* o finalmente se opta por modificar los plazos.

En la ejecución de proyectos siempre se producen variaciones entre lo programado y lo ejecutado. En ambos métodos se utilizan informes periódicos de avances del proyecto; en CPM se controlan prioritariamente las actividades del camino crítico y en CCPM las actividades de la cadena crítica; en ambos métodos implícita o explícitamente el proyecto se re planifica periódicamente, siendo en

teoría lo óptimo, pero los costos de comunicación de coordinación y la renegociación con los proveedores y contratistas en algunos casos pueden ser prohibitivos.

En CCPM se requiere re planificar el cronograma solo si un *buffer* o más son totalmente consumidos, de lo contrario se intenta conservar el programa previsto y mantener las fechas de inicio programadas con inicio más tardío de las primeras actividades de las cadenas distintas de la cadena crítica; contrariamente en CPM el inicio de las tareas está condicionado por las fechas previstas en la línea base y los retrasos se transmiten a la actividad siguiente.

- Los indicadores para el seguimiento del cumplimiento del cronograma (CRITERIO 8). –

En la metodología CPM se reportan y controlan las fechas de inicio y de fin de las actividades críticas acabadas o en proceso frente a las definidas en el cronograma oficial (línea base).

También se controla el cumplimiento de los hitos y el avance físico (porcentaje de actividades hechas), que proporciona indicadores para seguir el progreso del proyecto y su pronóstico.

Cuando se aplica CCPM no se programan los inicios y fines de las actividades en fechas fijas, por lo que faltan los puntos de referencia para el análisis del porcentaje de actividades hechas.

En cambio, se controla el consumo del buffer y se compara el buffer disponible con el mínimo requerido para cumplir con la fecha de término comprometida; el control de los buffers proporciona una vista del trabajo realizado, pero también señala las partes que necesitan atención porque cada buffer se relaciona a una cadena de actividades específicas.

2.3.5 Cuadro comparativo de ambas metodologías.

En el cuadro se resume las principales características entre ambas. Ver Cuadro 2

CUADRO 2

Diferencias entre Metodologías Tradicionales y la Cadena Crítica

CRITERIO	CPM	CCPM
OBJETIVOS PROPIOS DE CADA MÉTODO	Determina la duración del proyecto y el camino crítico a través de la secuencia de actividades que da el plazo mínimo considerando las relaciones de precedencia.	Determinar la duración del proyecto y la cadena crítica, con secuencia de actividades que considera relaciones de precedencia y dependencia explícita de recursos.
ENFOQUE DE CADA MÉTODO	<ul style="list-style-type: none"> • Construye y resuelve la malla de red. • Calcula fechas más tempranas y más tardías. • Determina la secuencia de actividades sin holgura (camino crítico). 	<ul style="list-style-type: none"> • Construye y resuelve la malla de red. • Considera: <ul style="list-style-type: none"> ➢ TOC (Teoría de Restricciones). ➢ Síndrome del estudiante. ➢ Ley de Parkinson. ➢ Consideración de curva aprendizaje. ➢ Determina la cadena crítica. ➢ Manejo de variaciones de causa común a través de los distintos tipos de buffers.
GESTIÓN DE LOS RIESGOS	Sobre estimación de duraciones añadiendo márgenes de seguridad en cada actividad.	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Se trabaja con duraciones con un 50% de probabilidad de que la actividad sea completada. ➢ Los márgenes de seguridad se manejan a través de los buffers especiales para distintos casos gestionados por el jefe del proyecto.
LA GESTIÓN DE LOS RECURSOS	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza técnica de nivelación de recursos para maximizar su uso. • Promueve la multitarea para optimizar uso de recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Define exclusividad de los recursos (100% dedicados). ➢ Evita cuellos de botella que definen la productividad del sistema. ➢ Enfatiza la productividad realista
ENFOQUE PARA LOS PROBLEMAS DE COMPORTEAMIENTO HUMANO	<ul style="list-style-type: none"> • Supone prioridad en actividades críticas. • Supone que las personas no utilizan las holguras 	<p>Aborda y mitiga los efectos de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Síndrome del estudiante. • Ley de Parkinson. • Consideración de curva de aprendizaje.
LA PROGRAMACIÓN DE LAS ACTIVIDADES	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza relaciones lógicas de precedencia. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Utiliza relaciones lógicas de precedencia. ➢ Considera duración de actividades con 50% de probabilidades de completarse.

	<ul style="list-style-type: none"> • Margen de seguridad dentro de las duraciones de cada una de las actividades. • No considera dependencia de recursos de forma explícita. • Utiliza holguras en cada actividad. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Margen de seguridad en buffers. ➤ Considera dependencia de recursos de forma explícita. ➤ No usa holguras en duración de actividades. ➤ Programación con fechas más tardías.
ENFOQUE y METODOLOGÍA PARA LA REPLANIFICACIÓN	<p>En caso de consumir holguras:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cambiar duración de actividades (Crashing, intensificación de recursos). • Cambiar relaciones lógicas (Fast Track). • Re planificar. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se evita la re planificación, es un caso extremo. ➤ Se re planifica sólo si es uno o más buffers son consumidos.
LOS INDICADORES PARA EL SEGUIMIENTO DEL CUMPLIMIENTO DEL CRONOGRAMA	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de cumplimiento de actividades críticas. • Avance físico (porcentaje de actividades hechas). • Consumo de holguras. • Avance Real vs. Plan • Cumplimiento de hitos. • Pronostico de término. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Plan de uso de buffers. ➤ Control de uso de buffers. ➤ No usa hitos.

Nota. Fuente: García Gutiérrez, M. F. "ANÁLISIS DE APLICABILIDAD Y BENEFICIOS DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA (CCPM) EN PROYECTOS DE INGENIERIA Y CONSTRUCCIÓN" - SANTIAGO DE CHILE, CHILE; 2014.

2.3.6 Problemas de comportamiento humano.

La problemática típica en los proyectos radica por lo general en:

- Ley de Parkinson. - El trabajo aumenta hasta usar el tiempo total del que se dispone para su realización (C. North cote Parkinson 1957). Esto hace que en la práctica las actividades no críticas se realicen usando toda su holgura.
- Síndrome del estudiante. – Según, *Goldratt* la experiencia muestra un patrón típico de trabajo en las personas; se hace menos de un tercio del trabajo durante los primeros dos tercios de la duración de la actividad y los dos tercios restantes del trabajo se hacen en el último tercio de la

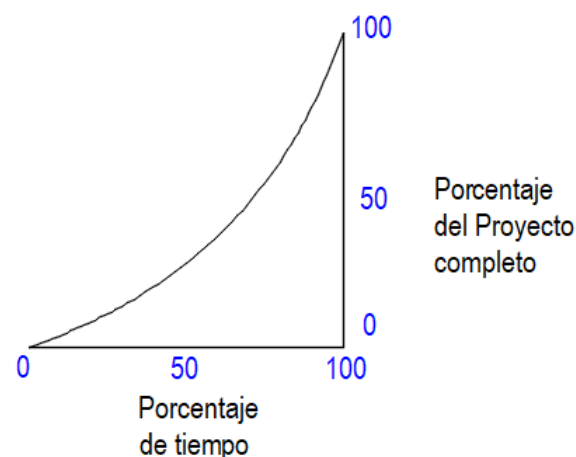
duración de la actividad, las personas que ejecutan la actividad tienden a encontrar problemas para completar la actividad durante el último tercio de la duración planificada, lo que hace imposible mantener la duración original; en la práctica esto hace pensar que la actividad fue subestimada desde un principio. (Goldratt 1997).

- Curva de aprendizaje. - La teoría de las restricciones reconoce este fenómeno expuesto por Fred Brooks (The Mythical, Man-Month, 3rd ed., 1995, Addison-Wesley). El observo un gran consumo de tiempo en la realización de actividades que viene principalmente del aprendizaje requerido por el equipo de trabajo para poder realizar el proyecto. El diagrama muestra el porcentaje de trabajo completado versus la duración del proyecto, la experiencia indica que se encuentra una relación no lineal. Inicios tardíos son seguidos por una aceleración del trabajo realizado hasta el punto de finalización del proyecto.

La línea curva muestra un modelo perfecto en donde se asume que se cumple una cierta cantidad de trabajo en una cierta cantidad de tiempo de manera constante, por ejemplo, cuando ha pasado un 25% del tiempo desde que se inicio el proyecto, se debería tener un 25% del proyecto completo, ver en la Figura 33.

Figura 33

Curva de Aprendizaje



Nota. Fuente: García Gutiérrez, M. F. "ANÁLISIS DE APLICABILIDAD Y BENEFICIOS DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA (CCPM) EN PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN" - SANTIAGO DE CHILE, CHILE; 2014.

2.3.7 Multitarea

Una multitarea surge cuando se le asignan dos o más tareas a un solo recurso; existe la creencia, casi generalizada, de que la multitarea avanza la ejecución del proyecto.

Sin embargo, el método de la cadena crítica demuestra que las multitareas solo vienen a entorpecer el desarrollo de un proyecto. Desde otro punto de vista, *Goldratt* señala que los procesos multitarea, solo se mueven a la velocidad del paso más lento y la manera de acelerar el proceso es utilizar un catalizador (buffer) en el paso más lento y lograr que trabaje hasta el límite de su capacidad. El modelo da especial importancia al factor o recurso más limitante.

Si complicamos las tareas ejecutadas por los recursos obligando a que se ejecuten dos o más tareas de forma simultánea, obtendremos un descenso drástico de la productividad del proyecto. No tenemos un mecanismo eficaz para sincronizar proyectos sin impactar negativamente en otros. Por esta razón a las multitareas se les considera una técnica de despilfarro.

Lo peor que puede hacer un administrador de proyectos es asignar múltiples tareas simultáneas a un mismo recurso y todas con la misma prioridad.

Se permite realizar varios procesos al mismo tiempo, es la capacidad de dar servicio a más de un proceso a la vez. En esta categoría también se encuentran todos los sistemas que cumplen simultáneamente las necesidades de dos o más usuarios (llamados sistemas multiusuarios), que comparten los mismos recursos; siendo este tipo de sistemas los que se emplean especialmente en redes.

2.3.8 Relación entre procesos

Existen dos relaciones fundamentales entre los procesos concurrentes: Competición - Cooperación.

En virtud de la compartición de recursos de un solo sistema, todos los procesos concurrentes compiten unos con otros por la asignación de los recursos del sistema necesarios para sus operaciones respectivas. Además, una colección de procesos relacionados que representen colectivamente una sola aplicación lógica suele cooperar entre sí. La cooperación es habitual entre los procesos creados como resultado de una división explícita en tareas. Los procesos cooperativos intercambian datos y señales de sincronización necesarias para completar su progreso colectivo.

Las clases de multitareas son las siguientes:

- Multitarea cooperativa. - Este tipo de actividades permiten actividades simultáneas.

- **Multitarea preferente.** - En este tipo de actividades, se da prioridad a una tarea y se le reasigna el tiempo a la tarea de prioridad superior.

2.3.9 El Rendimiento

El rendimiento es una proporción entre el resultado obtenido y los medios que se utilizaron, se trata del producto o la utilidad que rinde alguien o algo; aplicado a una persona el término también hace referencia al cansancio o a la falta de fuerzas. Cabe destacar que el concepto de rendimiento se encuentra vinculado al de efectividad o de eficiencia. La efectividad mide la capacidad de alcanzar un efecto deseado.

La eficiencia, por su parte, hace referencia a la capacidad de alcanzar dicho efecto con la menor cantidad de recursos posibles.

Rendimiento es también el valor total esperado por la organización respecto a los episodios conductuales discretos que un individuo lleva a cabo en un periodo de tiempo determinado, el valor asignado por la organización a una serie de comportamientos de sus empleados y la contribución del trabajador a la consecución de una cierta eficacia organizacional.

Tipos de rendimientos.

- *Rendimiento de tarea:* Se refiere a las conductas de los trabajadores respecto a sus tareas u obligaciones laborales.
- *Rendimiento contextual:* Aquellas conductas que no son exigidas formalmente por la organización, pero que son necesarias para su éxito global (conducta extra-rol y ciudadanía organizacional).

Dentro de los proyectos se habla de ROI² rendimiento de la inversión, que no es más que la relación entre el dinero ganado y el invertido, parámetro relativo.

2.3.10 La Productividad

Es la capacidad de algo o alguien de producir, ser útil y provechoso, siempre que se pronuncia la palabra se está dando cuenta de la cualidad de productivo que presenta algo. La productividad es la relación entre la producción obtenida por un sistema productivo y los recursos utilizados para obtener dicha producción. También puede ser definida como la relación entre los resultados y el tiempo utilizado para obtenerlos: cuanto menor sea el tiempo que lleve obtener el resultado deseado, más productivo es el sistema.

En realidad, la productividad debe ser definida como el indicador de eficiencia que relaciona la cantidad de producto utilizado con la cantidad de producción obtenida.

² ROI del Inglés *Return on Investment* traducido *Rendimiento de la Inversión*

La productividad evalúa la capacidad de un sistema para elaborar los productos que son requeridos y a la vez el grado en que aprovechan los recursos utilizados, es decir, el valor agregado.

Una mayor productividad utilizando los mismos recursos o produciendo los mismos bienes o servicios resulta en una mayor rentabilidad para la empresa, también, el término es empleado para referir la capacidad o grado de producción por unidad de trabajo. Se suele relacionar la productividad a la eficiencia y al tiempo, porque cuanto menor sea el tiempo que lleve el obtener el resultado deseado más productivo será el sistema. Cuanto mejor sea la productividad de una empresa, mayor rentabilidad observará la misma. De esta manera la gestión de calidad busca que una compañía logre incrementar su productividad.

2.3.10.1 Tipos de productividad

Existen distintos tipos de productividad, a continuación, los describiremos:

- ✓ **La productividad laboral** consiste en el aumento o disminución de los rendimientos originados de las variaciones de trabajo, el capital, la técnica y cualquier otro factor.
- ✓ **La productividad global** es un concepto que las empresas emplean para mejorar la productividad propia a través del estudio de sus factores determinantes y de los elementos que intervienen en la misma, como ser las nuevas tecnologías, la organización del trabajo, el estudio de los ciclos.
- ✓ **La productividad total** de los factores está más que nada vinculada al rendimiento que presenta el proceso económico medido en unidades físicas o monetarias, por la relación entre los productos obtenidos y los factores empleados.

2.3.10.2 Factores que influyen en la productividad.

Además de la relación de cantidad producida por recursos utilizados, en la productividad entran a juego otros aspectos muy importantes como son:

- ✓ **Calidad:** La calidad del producto y del proceso se refiere a que un producto se debe fabricar con la mejor calidad posible según su precio y se debe fabricar bien a la primera, o sea, sin re-procesos.
- ✓ **Productividad = Salida / Entradas.** Es la relación de eficiencia del sistema, ya sea de la mano de obra o de los materiales.

Donde las entradas son: Mano de obra, materia prima, maquinaria, energía, capital, capacidad técnica, etc. y las salidas son los productos y servicios.

La mejora de la productividad se obtiene innovando en:

- Tecnología
- Organización
- Recursos humanos
- Relaciones laborales
- Condiciones de trabajo
- Calidad
- Otros. - Cuando se actúa de forma productiva, se logra algo de acuerdo a una meta. Cualquier acción dirigida a ganar dinero es productiva. (La meta Goldratt).

$$Productividad = \frac{Producto}{Insumo}$$

CAPÍTULO III: PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO EN ESTUDIO.

3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

EL proyecto se encuentra ubicado en la comunidad campesina de Palmayoc, perteneciente al distrito de Chongos Alto, provincia de Huancayo, departamento y región de Junín, éste departamento se encuentra ubicado en el centro del país, perteneciente a la región andina, cuyos límites son: al norte con Pasco, al noreste con Ucayali, al suroeste con Cuzco, al sur con Ayacucho y Huancavelica y al oeste con Lima; presenta una superficie de 44 197 Km².

Abarca territorios de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes en diversas altitudes, incluyendo los valles y punas de la sierra y la zona cubierta por la amazonia.

Los límites propiamente del caserío de Palmayoc son los siguientes:

Norte : Río Canipaco y el Distrito de Chicche.
Sur : Río La Virgen y Distritos de Huasicancha y Chacapampa
Este : Río Canipaco, Distritos de Chicche y Colca
Oeste : Distritos de la Provincia de Yauyos - Lima.

3.1.1 Relieve, superficie de la zona y ubicación geográfica del proyecto.

El relieve de la comunidad campesina de Palmayoc es ondulado del lado norte hacia el sur, con pendiente en la mayoría de su relieve con tendencia sur-norte, en toda la parte central con un promedio de 8.0%.

En aproximadamente el 90 % del área total del terreno en estudio presenta pendiente y la diferencia es plano, que es donde se acentúa la plaza principal. Desde el inicio al final de la longitud del proyecto, el relieve del terreno en forma general es de topografía pronunciada y ondulada, las calles tienen un trazado de geometría variable y poco definidos, el perfil de las calles es uniforme, salvo en algunos puntos donde existen altibajos en el relieve.

La extensión territorial de la zona donde se concentran la mayoría de las casas en Palmayoc abarca aproximadamente 0.50 Km²; Geográficamente el Distrito de Chongos Alto, se ubica dentro de los paralelos 12°10'15" y 12°40'21" Latitud Sur, 12°10'15" y 75°30'29" de Longitud Oeste del Meridiano de Greenwich y una altitud que va desde 3544 metros sobre el nivel del mar, mientras que la temperatura del Distrito fluctúa entre 5° a 25° centígrados, según la estación.

El Distrito de Chongos Alto se encuentra ubicado al Suroeste de la Provincia de Huancayo, sobre una superficie territorial de 701.75 km² sus límites se encuentran entre las Provincias de Huancayo y Yauyos; la comunidad campesina de Palmayoc fue creada el 22 de noviembre de 1935, Del levantamiento topográfico se obtuvo las siguientes coordenadas, Ver Cuadro 3

CUADRO 3

Coordenadas del Centro Poblado de Palmayoc

CENTRO POBLADO	COORDENADAS UTM - WGS 84		
	ZONA	18L	Altitud
	NORTE	ESTE	(msnm)
PALMAYOC	467360	8'637,970	3680

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio (Capítulo III)

La información fue obtenida del levantamiento topográfico, para el replanteo de la red de alcantarillado.

3.1.2 Altitud, clima y accesibilidad a la zona del proyecto.

La zona del proyecto se encuentra a una altura en promedio de 3763 m.s.n.m., perteneciendo de esta manera a la majestuosa zona andina.

El clima de la comunidad campesina de Palmayoc oscila por lo general entre sub húmedo a frío, con una temperatura media anual de 9°C a 12°C; siendo el mes más frío en junio y el más cálido ocurre durante la estación de verano.

La precipitación anual promedio es de 500 mm., presenta neblina en el período de lluvia, con precipitaciones fuertes y considerables entre los meses de diciembre a marzo, cuando no es un año seco.

Debido a su latitud (12° LS), Huancayo y zonas aledañas como Palmayoc debería tener un clima cálido; sin embargo, la presencia de la Cordillera de los Andes su altitud causan grandes variaciones en el clima; Palmayoc tiene un clima templado pero inestable durante todo el año, variando entre 29° en los días más cálidos y -5° en las noches más frías. La gran variación de las temperaturas hace que en la zona sólo se distingan dos estaciones, la temporada de lluvias desde octubre hasta abril (correspondiente a gran parte de la primavera y el verano) y la temporada seca de mayo a setiembre. Las temperaturas más bajas se registran en las madrugadas de los días de los meses de junio a agosto.

Las precipitaciones anuales son moderadas lo que contribuye a la fertilidad del valle huanca; ver Cuadro 4

CUADRO 4

Datos Climáticos y Precipitaciones en Huancayo

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. Máx. media (°C)	19	18	17	16	16	16	25	29	20	17	18	20	19.25
Temp. mín. media (°C)	9	9	9	7	5	2	3	2	5	6	8	10	6.25
Precip. Total (mm).	181	176	106	76	36	0.6	0.9	3.6	46	71	100	139	936.1

Nota. Se muestra datos climáticos y precipitaciones en la ciudad de Huancayo, la cual es representativa para la zona del proyecto. Fuente Senamhi-2014

Referente a la accesibilidad a la zona del proyecto se puede mencionar que se encuentra ubicado a 45Km y entre 60 y 45 minutos desde la ciudad de Huancayo pasando por los pueblos de Chupuro, la mina Santa Mercedes, el caserío de Vista Alegre y el centro poblado de Santa Rosa, para finalmente llegar a la Comunidad Campesina de Palmayoc; siguiendo por una carretera a nivel de afirmado y usando como vehículo de transporte una camioneta.

Pero también para llegar al lugar del proyecto se tiene dos accesos más:

Uno por el lado norte que conecta a la provincia de Chupaca, mediante una carretera parcialmente asfaltada y por el lado sur a la región de Huancavelica a través de una carretera también parcialmente asfaltada, el cual se puede resumir mediante el siguiente cuadro, ver Cuadro 5.

CUADRO 5

Información de la Accesibilidad a la Ubicación del Proyecto

DE	A	Dist. (Km.)	TIEMPO	TIPO-VIA	FRECUENCIA	SERV. DE TRANSPORTE
HUANCAYO	CHONGOS ALTO	37	35 min.	ASFALTADA-TROCHA	CONTINUO	AUTOS-COLETIVOS-COMBI
HUANCAVELICA	CHONGOS ALTO	161	2H-15min	ASFALTADA-TROCHA	CONTINUO	OMNIBUS-AUTOS

Nota. Información para la accesibilidad a la ubicación del proyecto, tanto desde Huancayo como desde Huancavelica. Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

3.1.3 Micro localización del área de influencia del proyecto.

Para la facilidad de ubicación de la zona del proyecto se establecen los mapas de localización del proyecto, ver Figura 34, 35, 36, 37 y 38.

Figura 34

Ubicación de la Región Junín, Respecto al Perú



Figura 35

Distrito de Chongos Alto Respecto a Huancayo



Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio (Capítulo III)

Figura 36

Comunidad campesina de Palmayoc

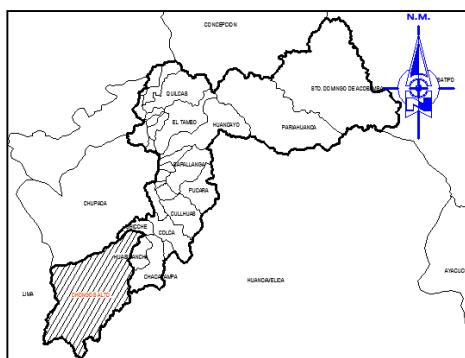


Figura 37

Huancayo Respecto a Región Junín



Distrito de Chongos Alto

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio (Capítulo III)

Figura 38

Ubicación Geográfica de la Comunidad de Palmayoc



Fuente. https://earth.google.com/web/@-12.30494299,-75.32668756,3688.48864568a,5886.12787801d,35y,-0.02649691h,35.3661981t,359.8955r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-4190.0265h,35.3356t,359.8955r?utm_source=earth7&utm_campaign=vine&hl=es-419

3.1.4 Antecedentes de situaciones antes de iniciarse el proyecto

Luego de verificar la información de campo referente a los estudios de pre inversión y debido a que las juntas comunales no cuentan con información de la situación de las comunidades campesinas, o sea datos técnicos en cuanto al servicio de agua potable y servicio de alcantarillado, se llegó a la conclusión de que la calidad de agua que se tenía no era apta para consumo ya que carecen de mantenimiento o tratamiento y que desde luego se podría mejorar y que además el dimensionamiento de las tuberías para las redes de agua no eran las apropiadas.

Probablemente en el momento debido, no llegaron a contar con un asesoramiento técnico, ya que debido a la demanda o la población activa que se tenía, el diámetro de la red que era muy grande y en cuanto a las condiciones de alcantarillado, estos solo contaban con silos o pozos sépticos, considerándose focos latentes de contaminación; para dar un veredicto final, adicionalmente se tomó en cuenta con información importante obtenida del INEI del año 2010. Ver Cuadro 6 y Figura 39

Se hace recordar que la información con la que se cuenta es referente a los tres pueblos en conjunto (Llamapsillon, Palaco y Palmayoc).

CUADRO 6

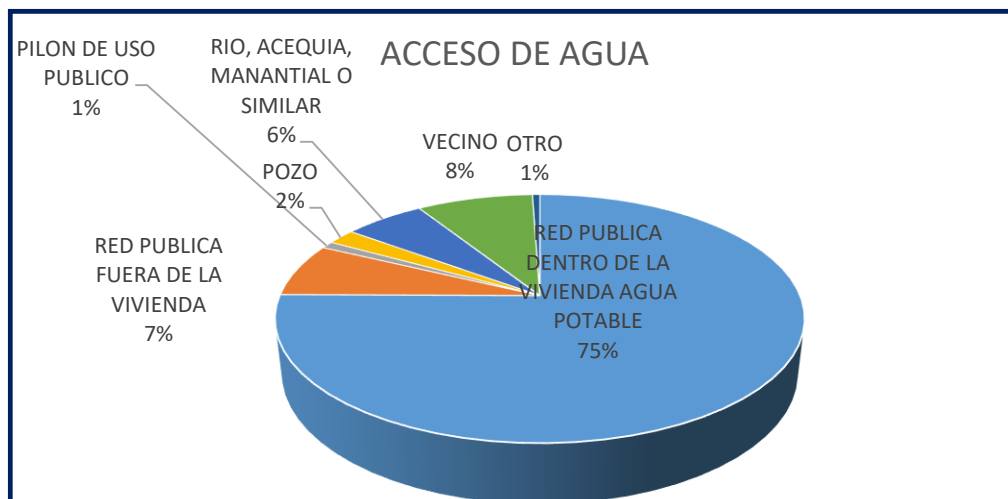
Información Técnica Referente al Agua Potable

CATEGORIA	CASOS	%
RED PÚBLICA DENTRO DE LA VIVIENDA AGUA POTABLE	408	75.14
RED PÚBLICA FUERA DE LA VIVIENDA	38	7
PILÓN DE USO PÚBLICO	5	0.92
POZO	11	2.03
RÍO, ACEQUIA, MANANTIAL O SIMILAR	32	5.89
VECINO	46	8.47
OTRO	3	0.55
TOTAL	543	100

Nota. Fuente. Datos Obtenidos del Expediente Técnico, se brinda casos y tipos de usos del agua en cantidad y porcentajes.

Figura 39

Información de Abastecimiento de Agua en las Comunidades



Nota. Datos referentes a la forma de cómo y de donde se abastecen de agua las comunidades de Llamapsillon, Palaco y Palmayoc. Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Se obtuvo también información relevante referente a la red de desagüe y la eliminación de residuos sólidos; los Centros Poblados no cuentan con estos servicios, utilizando pozos sépticos y/o letrinas ubicadas en la parte trasera de sus viviendas siendo de construcción rudimentaria razón por lo cual no garantizan la sanidad de los que lo usan; comparativamente, este servicio se ha incrementado de acuerdo a las diferentes categorías, destacando el Pozo Ciego o Letrinas; con 5 % de las viviendas; ver Cuadro 7 y Figura 40.

CUADRO 7

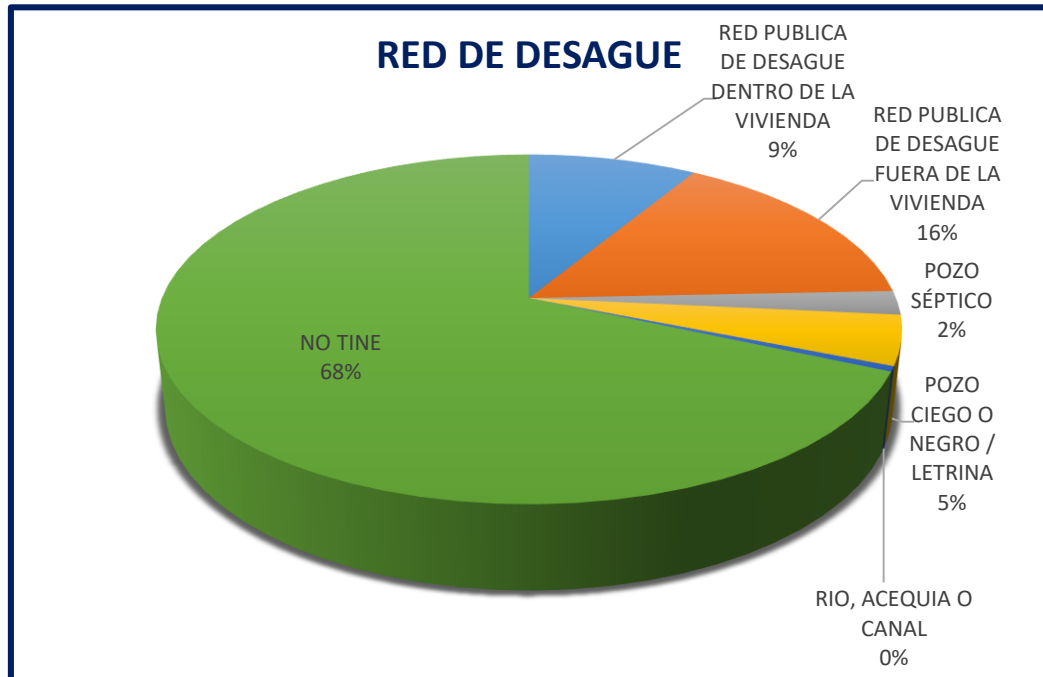
Datos Obtenidos del Expediente Técnico

CATEGORIA	CASOS	%
RED PÚBLICA DE DESAGÜE DENTRO DE LA VIVIENDA	55	8.69
RED PÚBLICA DE DESAGÜE FUERA DE LA VIVIENDA	99	15.64
POZO SÉPTICO	14	2.21
POZO CIEGO O NEGRO/LETRINA	29	4.58
RÍO, ACEQUIA O CANAL	3	0.47
NO TIENE	433	68.4
TOTAL	633	100

Nota. Cuadro con Casos, Tipos y Modalidades de Eliminar Aguas Residuales en cantidades y Porcentajes. Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Figura 40

Información de Red de Desagüe de Comunidades



Nota. Gráfica con Casos, Tipos y Modalidades de Eliminar Aguas Residuales en Cantidades y Porcentajes. Fuente. Expediente Técnico, del Proyecto en Estudio (Capítulo III).

El sistema utilizado en la Capital del Distrito, es el Drenaje por Arrastre, mientras que en la mayoría de las comunidades campesinas las construyen artesanalmente, sus hoyos secos, sin dirección técnica o en el peor de los casos lo hacen al aire libre, en desmedro de su propia salud.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.2.1 Preámbulo del proyecto.

El proyecto se declara viable en la fase de perfil, con el Código SNIP N° 328378, virtud por el cual se autoriza la comunicación para la ejecución de las demás faces de estudio.

La Municipalidad Distrital de Chongos Alto, es un Organismo Público, cuya misión es la de reducir la pobreza y mejorar la calidad de vida de la población del ámbito de su competencia, impulsando las obras de infraestructura básica y promoviendo la inversión privada, con la participación de los sectores y entes representativos del Gobierno Central, Gobiernos Locales e Instituciones del Ámbito Regional.

El presente proyecto se origina por la necesidad urgente de contar con abastecimiento de agua potable en las comunidades campesinas la cual se desea que deba ser continuo y de buena calidad a pesar de ser de manantial porque no tiene cloración, el sistema de tuberías no es la adecuada ya que por el tiempo presenta rajaduras y estos fueron causadas por el factor clima, además que el agua que los Pobladores consumen no es apta para consumo.

Ante la necesidad de un cambio y mejoramiento del sistema actual de agua potable, las autoridades de la comunidad campesina de Palmayoc en concordancia con las autoridades de la Municipalidad de Chongos Alto, han tomado la iniciativa para solucionar dicha problemática.

En Palmayoc existe servicio de agua potable que no es el adecuado, sin embargo, cuentan en la actualidad con dos fuentes de agua de los lugares denominados Challhuapuquio y Yerba Buena, las cuales por algún motivo que se desconoce, no está cumpliendo con su funcionamiento de la manera que se esperaba, probablemente no se hizo las actividades apropiadas de mantenimiento.

Entonces al no contar con la disposición de un sistema adecuado, el nivel de calidad de vida viene disminuyendo y se están presentando entre la población, diversas enfermedades digestivas y epidérmicas contagiosas que ponen en gran peligro la salud de poblador.

Es así que la gestión del momento tramita el proyecto **"MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN SANITARIA DE EXCRETAS EN LAS LOCALIDADES DE LLAMAPSILLON, PALMAYOC Y PALACO, DISTRITO DE CHONGOS ALTO, PROVINCIA DE HUANCAYO - JUNÍN"**.

El cual dará una cobertura de 100% del servicio de agua potable y alcantarillado, para ello se proyecta en los estudios el incremento de la dotación de agua por la existencia recursos hídricos dentro de la jurisdicción a fin de que se cuente con el servicio las 24 horas del día durante todos los días y de buena calidad.

Es por eso que luego de este análisis se llega a la concepción del proyecto antes en mención; cabe destacar que, para efectos de la tesis en mención, sólo se abocará a la Comunidad Campesina de Palmayoc.

3.2.2 Componentes del proyecto.

Para llevar a cabo con la concepción del proyecto y en base a las necesidades de las Comunidades Campesinas que se mencionan en el proyecto: "Llamapsillon, Palaco y Palmayoc"; se tienen los siguientes componentes del proyecto, siendo los mismos para cada localidad:

- Captación.
- Línea de Conducción.
- Construcción del Reservorio.
- Línea de aducción y red de distribución.
- Conexiones domiciliarias de agua.
- Construcción de buzones.
- Red de alcantarillado.
- Conexiones domiciliarias de desagüe.
- Construcción de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR):
“Cámara de rejas, Tanque Imhoff, Filtro Biológico, Lecho de Secados,
Caseta de Cloración, Cámara de contacto de Cloro”.

Ver Figura 41

Figura 41

Esquema de los Componentes del Proyecto



Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio

3.3 ALCANCES DEL PROYECTO URBANO

Si definimos como alcance de un Proyecto a la suma de todos los productos y sus requisitos o características y que se utiliza a veces para representar la totalidad del trabajo necesitado para dar por terminado un Proyecto; se puede por lo tanto establecer, luego de las coordinaciones directas entre la Municipalidad de Chongos Alto, el Ministerio de la Vivienda, participación de entes representativos del gobierno Central, gobiernos locales, instituciones del Ámbito Regional y autoridades de la Comunidad; la mención de los siguientes alcances:

- Obtener la viabilidad del Proyecto y generar el código **SNIP N°328378**, para la futura ejecución del proyecto.
- Definir y ejecutar todas las demás fases de los estudios básicos.
- Concluir con el expediente Técnico.
- Ejecución del Proyecto en sí.

3.4 ALCANCES DEL PROYECTO.

Los alcances fundamentales del presente Proyecto se origina por la necesidad urgente de contar con un mejor abastecimiento de agua potable ya que la actual, presenta deficiencia de infraestructura y sistemas de tratamiento apropiado de aguas residuales y excretas para las localidades de Palaco, Palmayoc y Llamapsillon, con lo cual se permitirá eliminar los problemas de aniegos, logrando con ello reducir el índice de morbilidad por enfermedades respiratorias, parasitarias e infecciones, lo cual permitirá mejorar el nivel de vida y la calidad de los servicios de saneamiento en general en el distrito de chongos alto, tanto de los Pobladores como de los Turistas.

Además, el proyecto contempla un plan de manejo ambiental, una capacitación y sensibilización, así como enseñarles a mejorar las prácticas y hábitos de higiene, a través de la capacitación a la población en educación sanitaria, para eso se cuenta con generar capacidades a los miembros de la Administración del Agua para mejorar la continuidad del servicio de agua potable, mediante el mantenimiento de las galerías Filtrantes.

3.5 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

El proyecto contribuirá a mejorar las condiciones de vida de cada poblador permitiéndole acceder al sistema de abastecimiento de agua potable y sistemas de tratamiento de aguas residuales y excretas lo que refleja en una mejora del nivel de vida del poblador en el ámbito de intervención del proyecto.

3.5.1 Beneficiarios directos

El proyecto al contemplar la mejora en las redes de agua y red de alcantarillado para la población de la comunidad campesina de Palmayoc, es claro notar que los principales beneficiarios serán directamente los pobladores de dicha comunidad, puesto que contarán con la posibilidad de mejorar su nivel de vida con una red de agua mejorada y una infraestructura apropiada para la recepción de aguas residuales y su posterior tratamiento de dichas aguas.

3.5.2 Beneficiarios indirectos

Los Beneficiarios Indirectos se dividen en tres etapas:

- El antes de la construcción: Serían los ingenieros proyectistas, arquitectos, ingenieros sanitarios, contadores, personal administrativo, técnicos topógrafos, técnicos geotécnicos, dibujantes etc.
- Durante el proceso de construcción: Serían los ingenieros civiles, ingeniero sanitario, técnicos sanitarios, carpinteros ebanistas y metalmecánicos, técnicos soldadores, pintores, personal obrero (operarios, oficiales y peones), centro de venta de materiales de construcción (ferreterías, agregados), alquileres de maquinarias básicas de obras de saneamiento (excavadora, volquetes, tractores, mini compactadoras, Bobcat, mezcladoras, etc.)
- Después de la construcción: Serían Ingenieros, técnicos, relacionistas públicos y de recursos humanos RRHH; del Gobierno Regional de Junín y la población aledaña.

3.6 PARÁMETROS DE CONDICIONAMIENTO DEL PROYECTO

El proyecto para su concepción se rige bajo los siguientes parámetros de ejecución.

3.6.1 Modalidad de ejecución de obra

La presente obra se ejecuta bajo la modalidad de ejecución contractual (Por contrato), la cual se realizará bajo el estricto cumplimiento de la Ley de Contratación del Estado y su Reglamento.

3.6.2 Sistema de Contratación

Este proyecto se sujeta bajo la modalidad de sistema a **Precios Unitarios**.

3.6.3 Plazo de ejecución

El contrato establece 180 días calendarios 06 meses.

3.6.4 Fuentes de Financiamiento

El proyecto fue financiado por el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento; bajo la administración de la Municipalidad Distrital de Chongos Alto.

3.7 PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN

Para definir los parámetros de producción se deberá tener previamente el concepto de Producción, el cual desde el punto de vista de la economía dice: es la actividad que aporta valor agregado por creación y suministro de bienes y servicios, es decir, consiste en la creación de productos o servicios y al mismo tiempo, la creación de valor, también es la actividad que se desarrolla dentro de un sistema económico, más específicamente, se trata de la capacidad que tiene un factor productivo para crear determinados bienes en un período de tiempo determinado.

El concepto de producción parte de la conversión o transformación de uno o más bienes en otros diferentes, se considera que dos bienes son diferentes entre sí cuando no son completamente intercambiables por todos los consumidores.

El concepto económico de producción engloba un rango de actividades más amplio que el que comprende el concepto genérico de producción del lenguaje corriente.

Producción es la elaboración o la fabricación de los objetos físicos, pero también la provisión de servicios (médicos sanitarios, enseñanza; espectáculos; restaurantes; etc.).

En la actualidad, los servicios constituyen la mayor parte de la producción total de los países industrializados. Así, en un sentido económico, el término engloba todas aquellas actividades que no son estrictamente de consumo.

3.7.1 Parámetros Principales.

Los Parámetros Principales se subdividen en:

- 1.- Tecnológicos.
 - Etapas Tecnológicas.
 - Proceso de construcción.
 - Volumen de trabajo.
- 2.- De Espacio.
 - Sector, zona, área.
 - Frente de trabajo.
 - Unidades de producción.
- 3.- De Tiempo.
 - Módulo de Ciclicidad.

3.7.2 Parámetros Restrictivos.

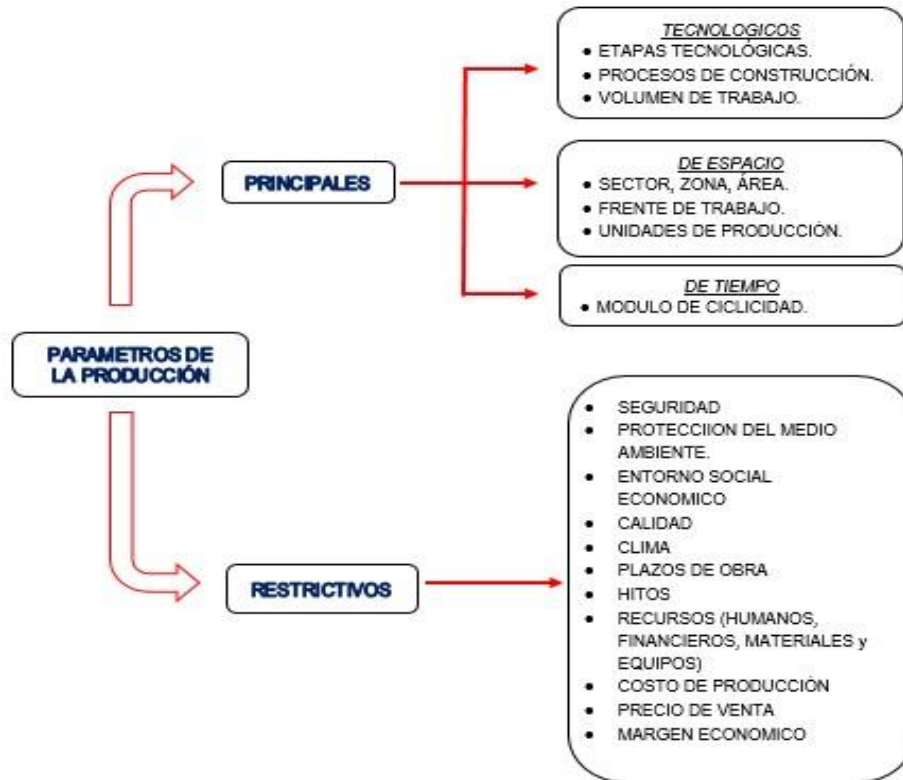
En esta parte se debe tener en cuenta:

- Seguridad.
- Protección del medio ambiente.
- Entorno social – económico.
- Calidad
- Clima
- Plazos de obra.
- Hitos (plazos más cortos por cumplir).
- Recursos (Humanos, financieros, materiales y equipos).
- Costo de producción.
- Precio de venta del Producto.
- Margen Económico.

Los parámetros Principales se esquematizan en esta gráfica: Ver Figura 42

Figura 42

Esquema General de los Parámetros de Producción



Fuente. Copias de cuaderno de PA-135 (2015-II)

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN USANDO EL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA

4.1 RELACIÓN DE PROYECTOS DE CARACTERÍSTICAS SIMILARES

Para complementar mejor el uso de la metodología de la Cadena Crítica se tomó en cuenta el resultado de cuatro proyectos, donde se usó redes de cronogramas reales y comparándolos como siempre con la metodología de CPM, estos proyectos son:

1. Construcción de departamentos ubicados en Santiago.
2. Conjunto habitacional ubicado en Calama-Chile.
3. Ejecución de Pique de acceso y túnel inter estación basado en un proyecto del Metro de Santiago de Chile.
4. Camino basado en proyectos ubicado en la Región de los Ríos.

4.1.1 Resúmenes con resultados cuantitativos de los proyectos.

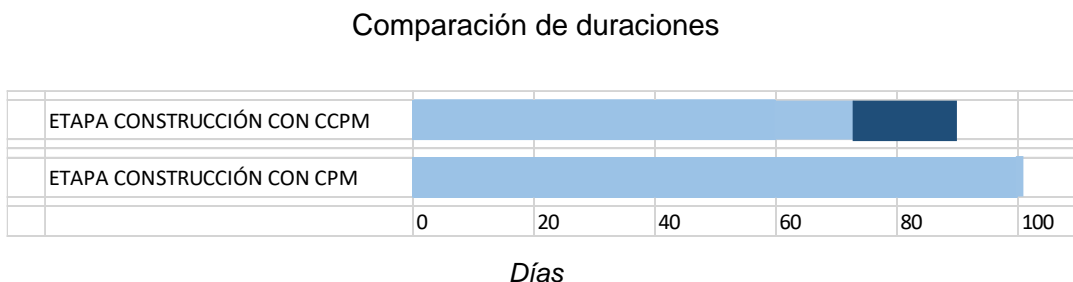
Para efectos de visualizar los proyectos antes en mención (4.1) se definen las principales actividades para cada uno de los proyectos:

Proyecto – 1 (Ver Figura 43)

- Diseño: Ingeniería básica, Aprobaciones ambientales e ingeniería de detalles.
- Project management: Compras de equipos de procesos, compras de materiales de construcción, licitación de sub contratos de construcción y de servicios especializados, obtención de permiso de construcción.
- Construcción: Movimiento de tierras, cimentaciones, obras gruesas, terminaciones gruesas y acabados finos.

Figura 43

Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (1)



Nota. Fuente: García Gutiérrez, M. F. "ANÁLISIS DE APLICABILIDAD Y BENEFICIOS DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA (CCPM) EN PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN" - SANTIAGO DE CHILE, CHILE; 2014.

En este proyecto se tuvo la duración programado con la metodología de CPM que fue de 101 días, mientras que con la metodología de CCPM la duración fue de 73 días más un *Project Buffer* de 21 días.

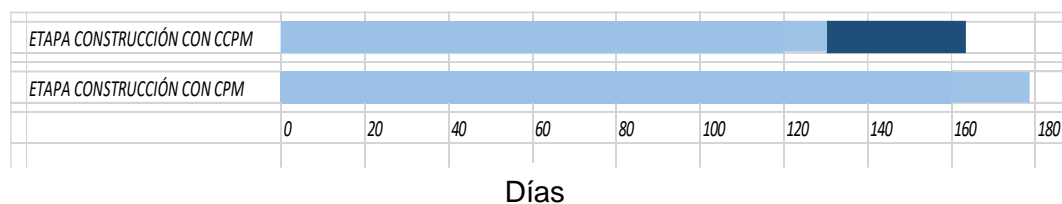
Como se puede observar, en la etapa de construcción por la metodología CCPM corresponde a un 72% de la duración utilizando la metodología de CPM y si a esto le sumamos el *Project Buffer* de 21% de la duración original; suponiendo que se consumiese todo el buffer, se tendría aún una reducción en tiempo de 7% respecto a la programación por el método de CPM.

Proyecto – 2 (Ver Figura 44)

- Diseño: Ingeniería básica, Aprobaciones ambientales e ingeniería de detalles.
- Project Management: Compras de equipos de procesos, compras de materiales de construcción, licitación de sub contratos de construcción y de servicios especializados, obtención de permiso de construcción.
- Construcción: Preparación del terreno, movimiento de tierras, cimentaciones, obras gruesas, terminaciones gruesas y acabados finos.

Figura 44

Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (2)



Nota. Comparación de Duraciones con CPM y CCPM. Fuente: García Gutiérrez, M. F. "ANÁLISIS DE APLICABILIDAD Y BENEFICIOS DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA (CCPM) EN PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN" - SANTIAGO DE CHILE, CHILE; 2014.

En este proyecto se tuvo la duración programando con la metodología de CPM fue de 178 días, mientras que con la metodología de CCPM la duración fue de 130 días más un *Project Buffer* de 36 días.

Como se puede observar la etapa de construcción por la metodología CCPM corresponde a un 73% de la duración utilizando la metodología de CPM y si a esto le sumamos el *Project Buffer* de 20% de la duración original; suponiendo que se consumiese todo el buffer, se tendría aún una reducción en tiempo de 7% respecto la programación por el método de CPM.

Proyecto – 3 (Ver Figura 45)

- Etapa de construcción
- Pique circular
- Túnel inter Estación Poniente
- Excavación y sostenimiento de túnel estocada.
- Excavación y sostenimiento de túnel inter estación.
- Túnel inter estación oriente.
- Excavación y sostenimiento de túnel estocada.
- Excavación y sostenimiento de túnel inter estación.

Figura 45

Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (3)



Nota. Comparación de Duraciones con CCPM y CPM. Fuente: García Gutiérrez, M. F. "ANÁLISIS DE APLICABILIDAD Y BENEFICIOS DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA (CCPM) EN PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN" - SANTIAGO DE CHILE, CHILE; 2014.

En este proyecto se tuvo la duración programando con la metodología de CPM fue de 350 días, mientras que con la metodología de CCPM la duración fue de 210 días más un *Project Buffer* de 70 días.

Como se puede observar la etapa de construcción por la metodología CCPM corresponde a un 69% ($350 \times 0.69 = 240$) de la duración utilizando la metodología de CPM y si a esto le sumamos el *Project Buffer* de 20% de la duración original; suponiendo que se consumiese todo el buffer, se tendría aún una reducción en tiempo de 11% respecto a la programación por el método de CPM.

Proyecto – 4 (Ver Figura 46)

- Etapa de construcción.
- Movimiento de tierras.
- Capas granulares.
- Revestimientos y pavimento.
- Estructuras y obras conexas
- Drenaje y protección de las plataformas.
- Elementos y control de seguridad.

➤ Obras varias.

Figura 46

Comparación de Metodologías de CCPM con CPM (4)



Nota. Comparación de Duraciones con CCPM y CPM. Fuente: García Gutiérrez, M. F. "ANÁLISIS DE APLICABILIDAD Y BENEFICIOS DEL MÉTODO DE LA CADENA CRÍTICA (CCPM) EN PROYECTOS DE INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN" - SANTIAGO DE CHILE, CHILE; 2014.

En este proyecto se tuvo la duración programando con la metodología de CPM fue de 108 días, mientras que con la metodología de CCPM la duración fue de 66 días más un *Project Buffer* de $(108-66) = 42 \times 50\% = 21$ días. (19%)

Como se puede observar la etapa de construcción por la metodología CCPM corresponde a un 65% ($108 \times 0.65 = 70$ días) de la duración utilizando la metodología de CPM y si a esto le sumamos el *Project Buffer* de 19% (21 días) de la duración original; suponiendo que se consumiese todo el buffer, se tendría aún una reducción en tiempo de 16% respecto la programación por el método de CPM.

De los cuatro proyectos presentados, en todos los casos se experimenta un considerable ahorro en tiempo para la ejecución de las actividades, con lo cual se nos proporciona evidencia más que satisfactoria de lo referido en la metodología de la cadena crítica; teniendo en cuenta además que todo ahorro de tiempo implica reducción de gastos en recursos humanos y por ende mayores ganancias para la empresa.

4.2 PROPUESTA DEL PLAN ESTRATÉGICO APLICANDO LA METODOLOGÍA DE LA CADENA CRÍTICA CCPM.

En el presente capítulo se pretende exponer temáticas introductorias para la comprensión de lo referido al proyecto en análisis; en donde recordaremos los objetivos trazados al inicio (plan de tesis), los cuales son los objetivos principales y específicos.

Para el tratamiento del problema, las empresas desarrollan de manera constante estrategias para la innovación y/o optimización de los diversos procesos constructivos, a fin de que los réditos sean los mayores y se pueda cumplir de

manera exitosa con las 3P (Plazo, presupuesto y prestaciones), las cuales garantizan el éxito de un proyecto y permitirá ser más competitivos en este rubro.

Como respuesta a los avances tecnológicos, la globalización de los mercados y el aumento de la competencia, se vienen innovando de manera constante los diversos procesos constructivos, puesto que encontramos la imperiosa necesidad de iniciar los proyectos lo más rápido posible y de manera efectiva, como consecuencia de esto debemos de contar con la capacidad suficiente de poder acelerar los procesos de diseño y los de construcción ya que estos constituyen factores claves para el éxito de un proyecto.

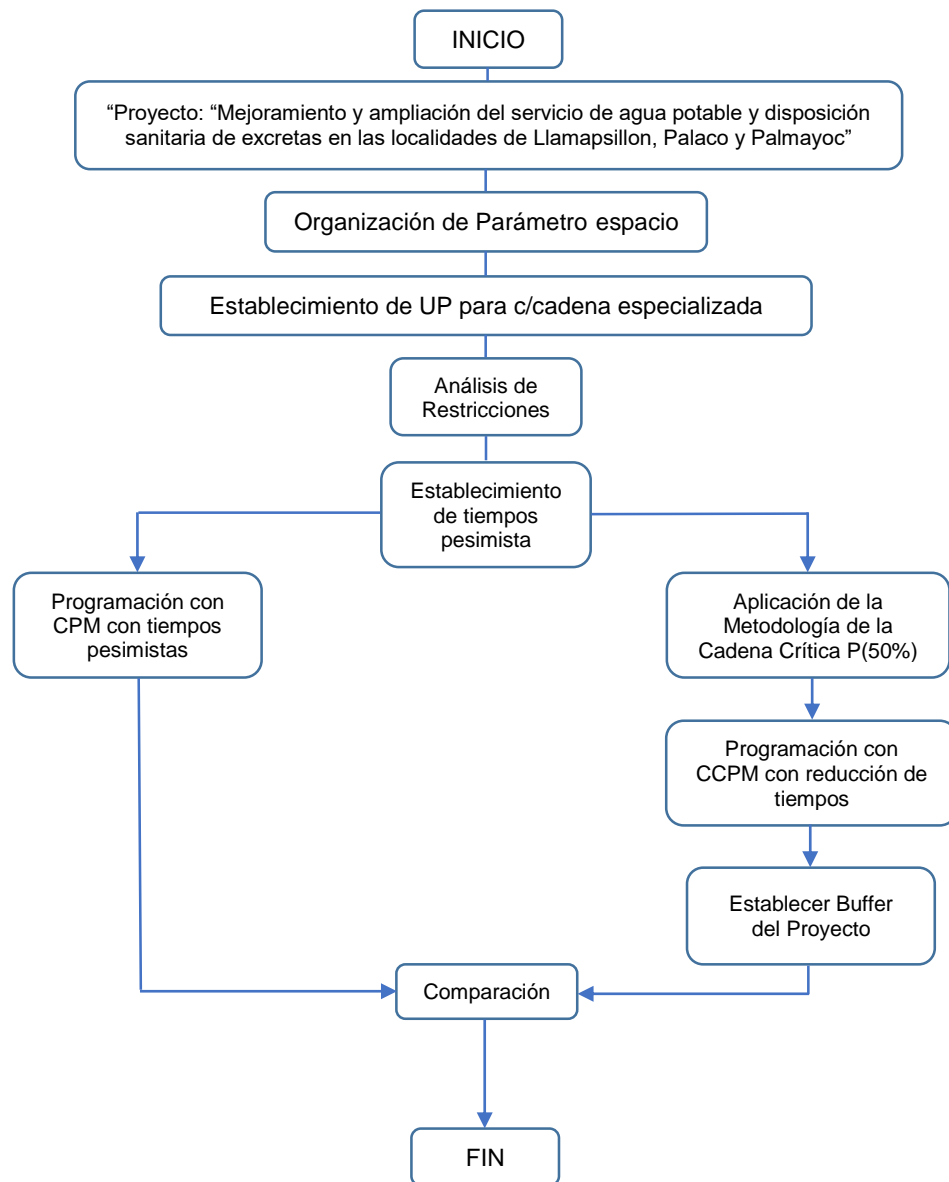
Sin embargo, pese a estos estudios y los aportes entorno a la definición, mejora de los procesos constructivos, la gestión adecuada de los tiempos de ejecución de un proceso; se viene usando aun la metodología de la cadena crítica (CPM) y en algunos casos especiales el PERT.

4.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCEDIMIENTO ANALÍTICO

Diagrama de flujo de procesos (Ver Figura 47).

Figura 47

Diagrama de Flujo de Procedimientos



Fuente. Elaboración propia

4.4 PROGRAMACIÓN CON CPM (Camino Crítico).

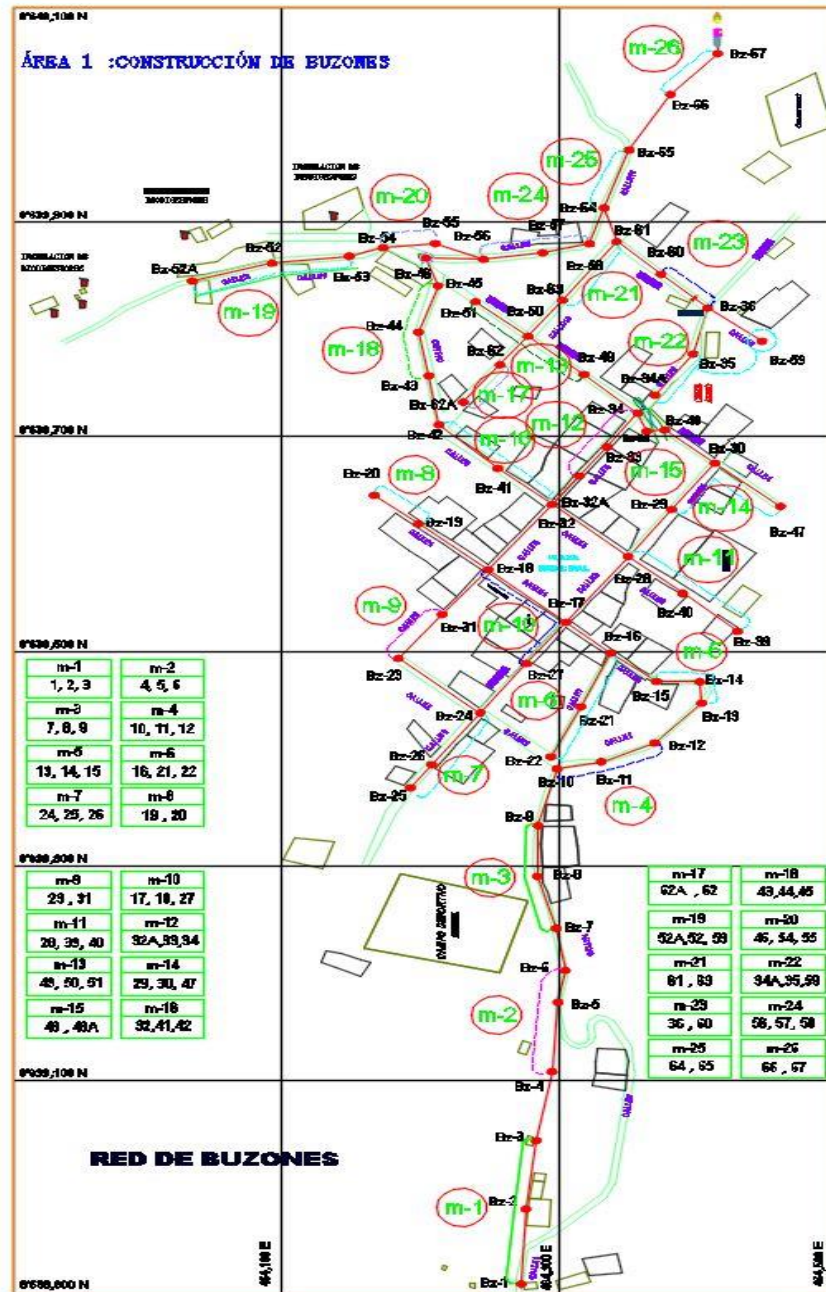
Se realiza la programación del proyecto con el software de Microsoft Project a la obra que se definió para el análisis y de esa manera poder contar con las diferencias que se encuentran a fin de decidir por lo mejor.

4.4.1 Organización del Parámetro Espacio

Ver Anexo 01 y Figura 48 donde se presenta el esquema de las unidades de producción en la construcción de los buzones.

Figura 48

Área 1 Ubicación de Buzones y UP

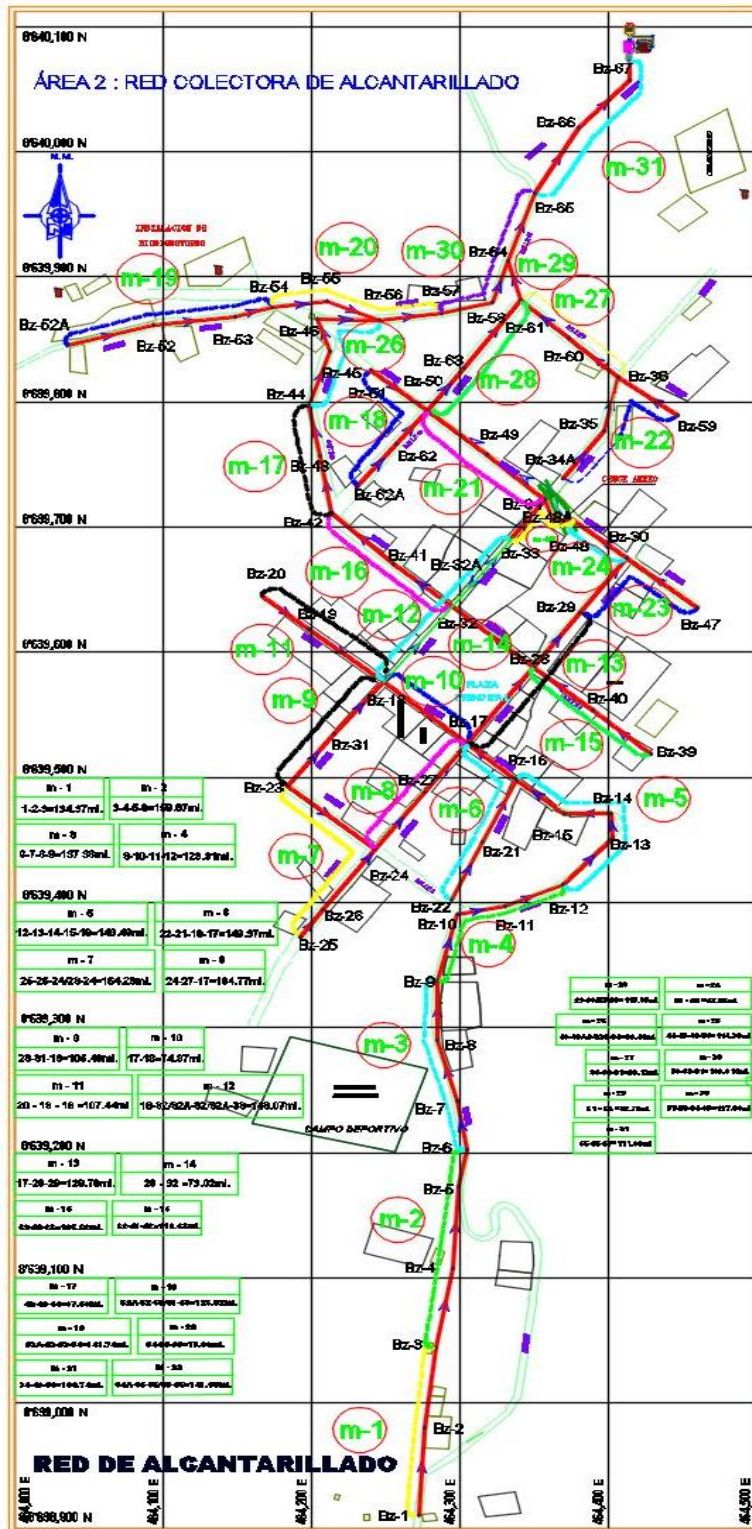


Fuente; Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Ver Anexo 02 y Figura 49; que trata sobre la definición de las unidades de producción de la red de alcantarillado.

Figura 49

Área 2 Red de Alcantarillado y sus UP

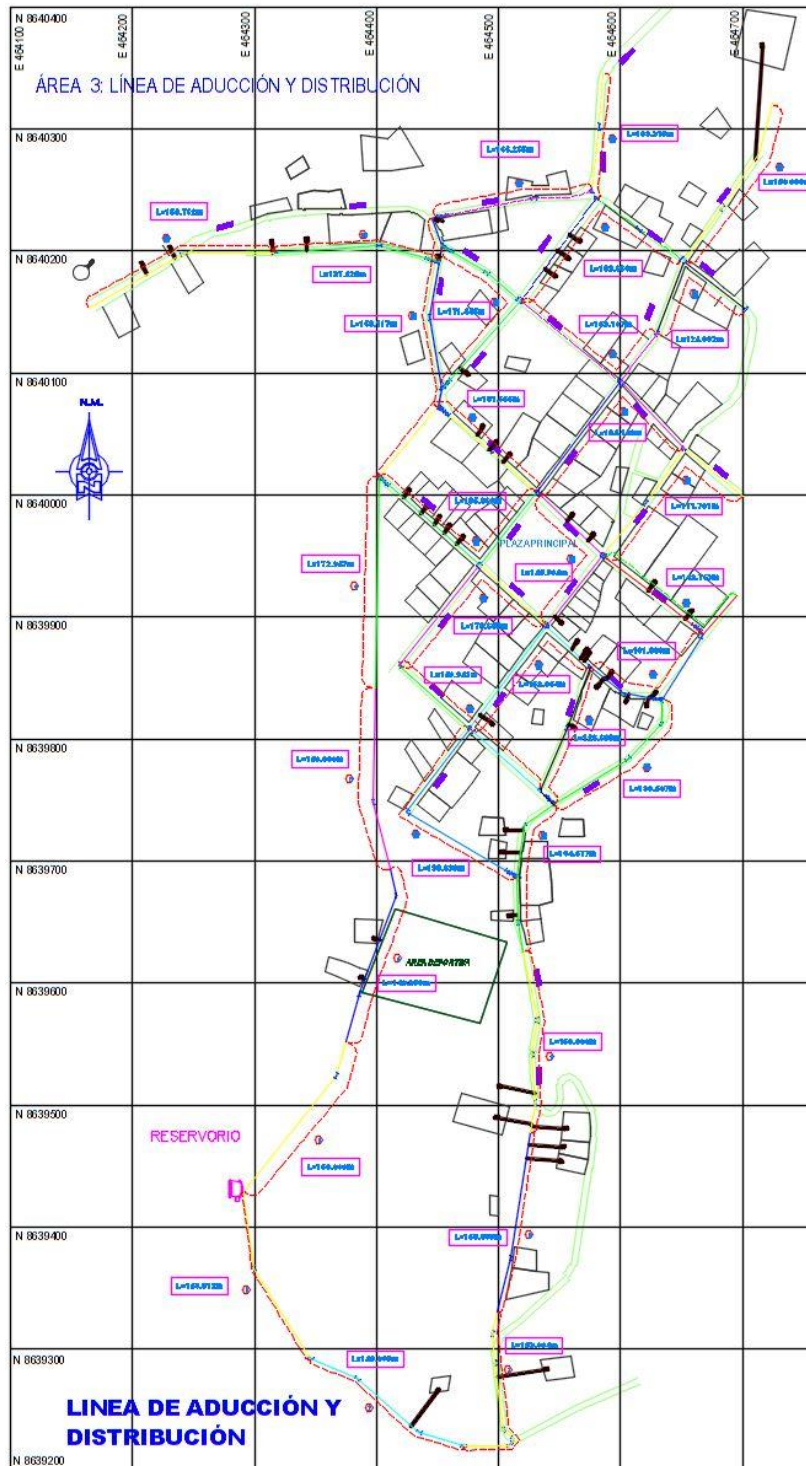


Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Ver Anexo 03 y Figura 50; en la que se aprecia las unidades de producción de la línea de aducción y distribución.

Figura 50

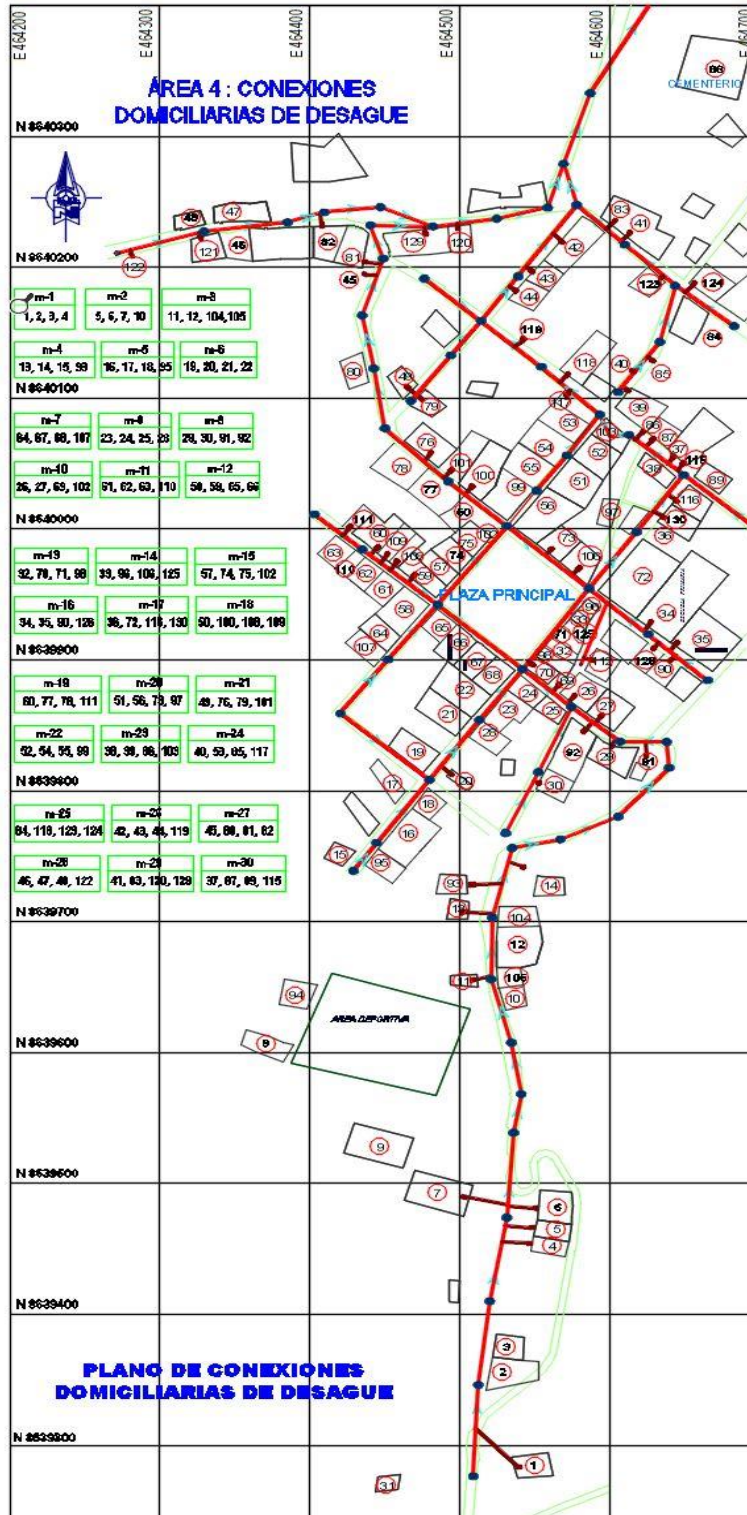
Área 3 Línea de Aducción y Distribución y sus UPs



Ver Anexo 04 y Figura 51; que trata de las conexiones domiciliarias con sus respectivas unidades de producción.

Figura 51

Área 4 Conexiones Domiciliarias de Desagüe y sus UPs

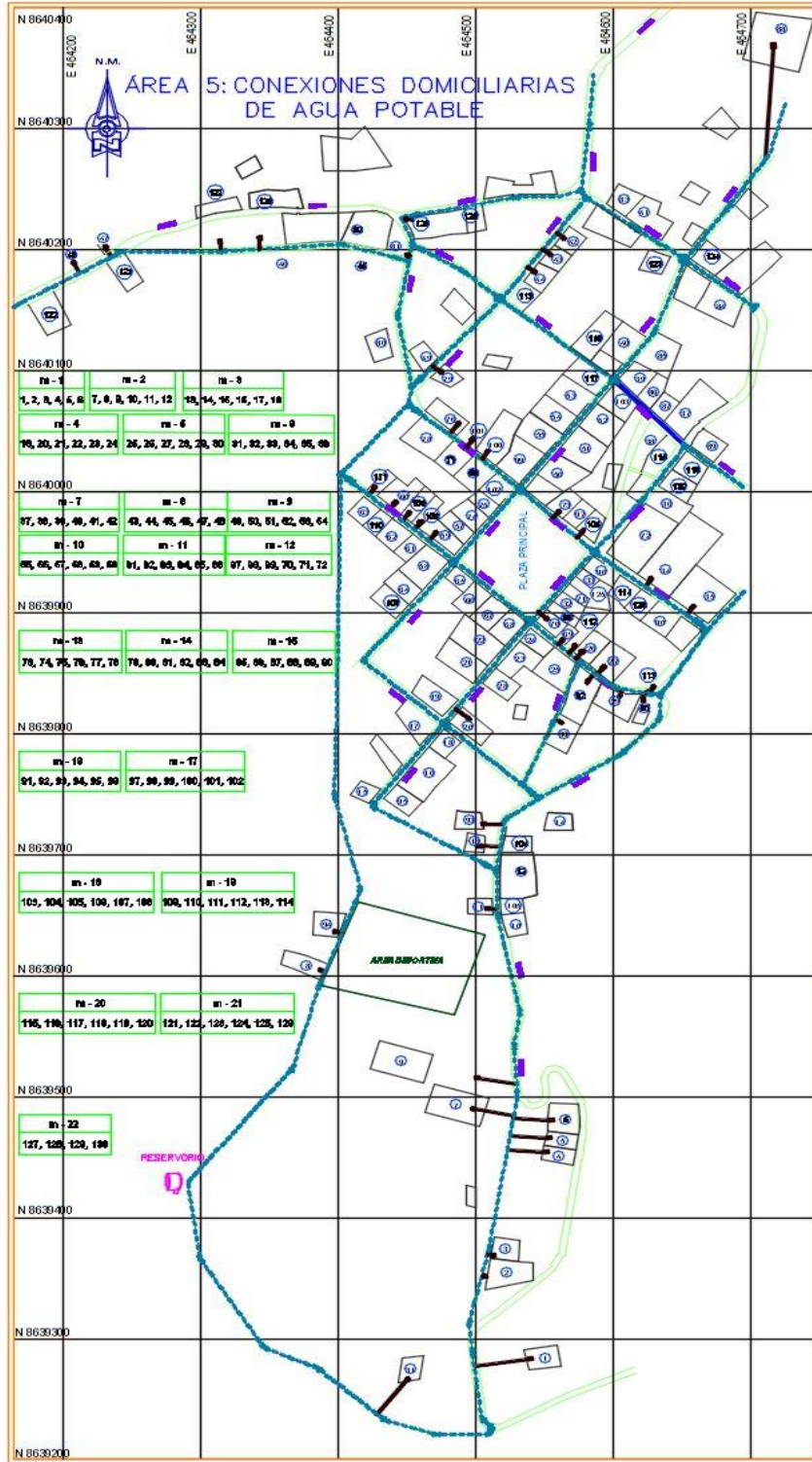


Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio

Ver Anexo 05 y Figura 52; que trata de las conexiones domiciliarias de agua y las respectivas unidades de producción.

Figura 52

Área 5 Conexiones Domiciliarias de Agua y UPs



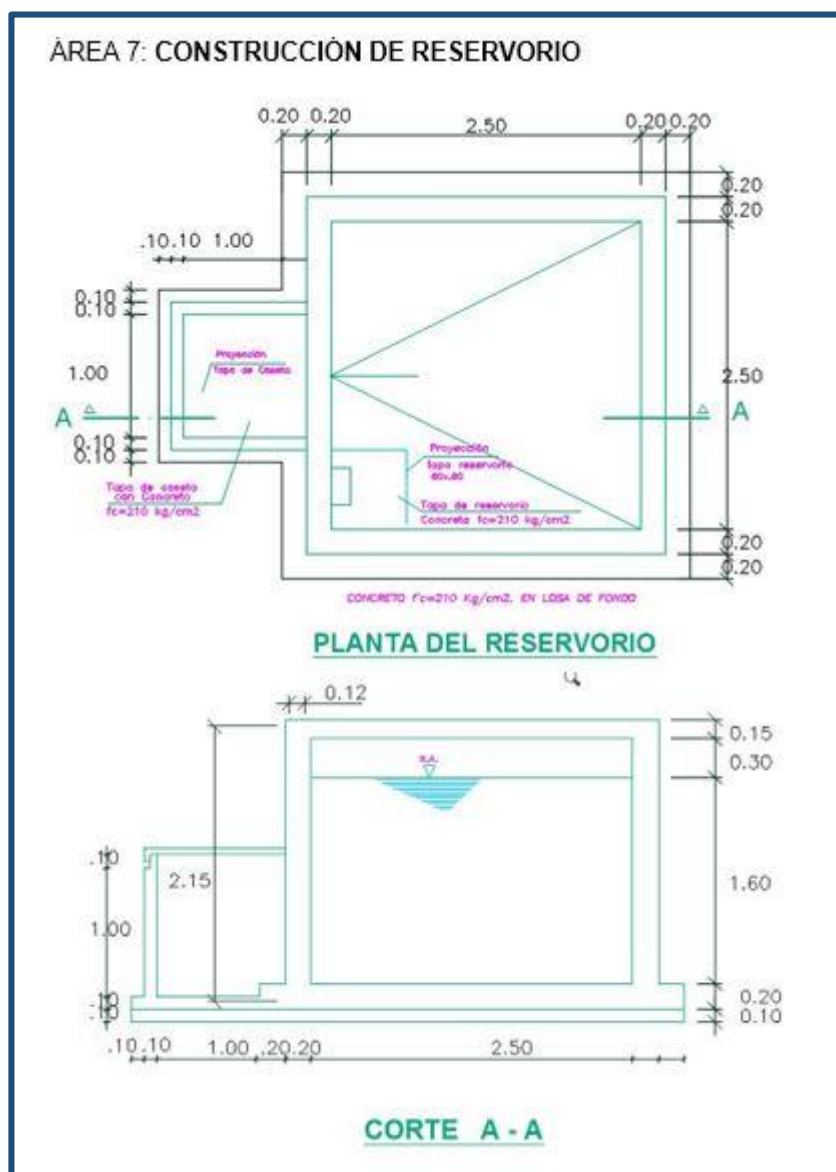
Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

ÁREA 6: **LÍNEA DE CONDUCCIÓN.** – Consiste en la excavación y colocado de nueva tubería (2 pulgadas), en una longitud de 3278m según información de campo y según expediente 3000m.

ÁREA 7: **CONSTRUCCIÓN DEL RESERVORIO.** – Construcción de dimensiones de 2.90m x 2.90m x 2.05m; con un volumen útil de 10m³, con su respectiva caseta de válvulas (Ver Figura 53).

Figura 53

Área 7 Planos del Reservoirio



Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

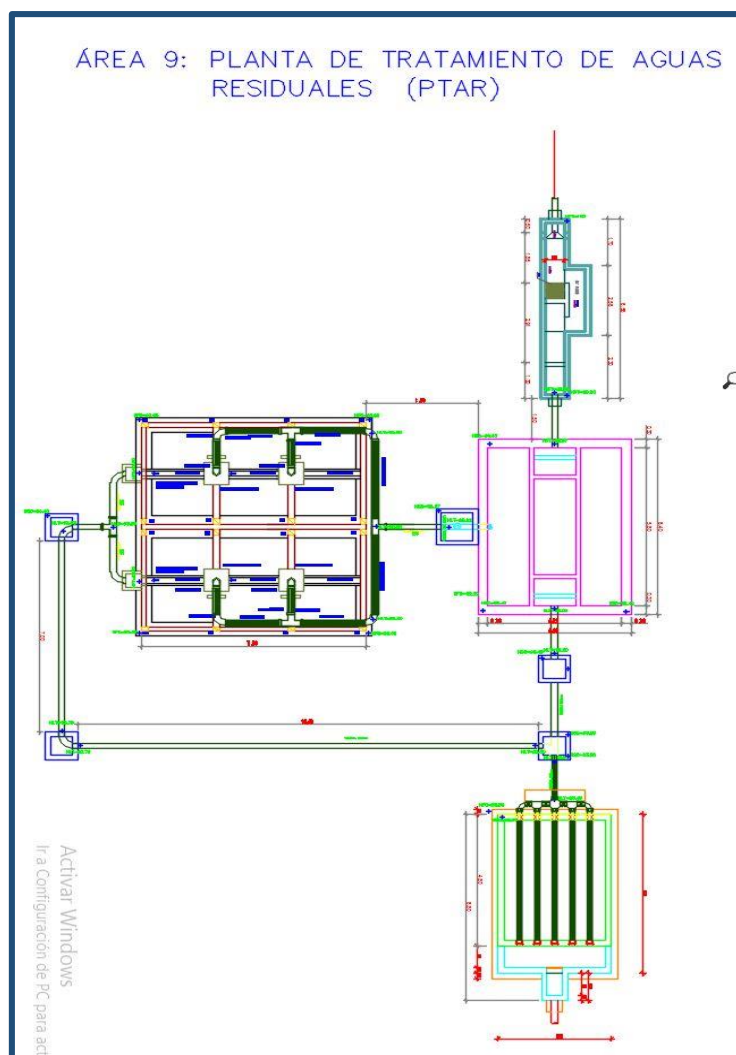
ÁREA 8: **CONSTRUCCIÓN DE LA CAPTACIÓN** Es una pequeña construcción, que consistió en demoler la existente por estar en malas condiciones y ser antigua; por una nueva.

ÁREA 9: **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)** Es una estructura, que consiste desde la construcción de la cámara de rejillas, el tanque imhoff, el filtro biológico, lecho de secados, caseta de cloración y la cámara de contacto de cloro.

Ver Anexo 06 y Figura 54, que trata de la construcción de la planta de tratamiento de las aguas residuales PTAR.

Figura 54

Construcción de la PTAR



Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

En cada una de las áreas que se describen, están definidas las cantidades de sus respectivas unidades de producción, estas fueron definidas en base a un minucioso análisis, tomando en cuenta los metrados, los análisis de costos unitarios; con el fin de realizar la Normal Tecnológica, los cuales para mayor detalle se verán como anexos al final del capítulo.

Para ver al detalle todas las áreas antes en mención, revisar los Anexos respectivos.

4.4.2 Estructura de descomposición del trabajo (EDT).

Basándose en la experiencia de los especialistas; el proyecto se descompuso en las siguientes cadenas especializadas, las cuales se dan en una secuencia lógica de actividades, ver Figura 55.

PROYECTO: “Mejoramiento y ampliación del Servicio de agua potable y disposición sanitaria de excretas en las localidades de Llamapsillon, Palmayoc y Palaco”

Figura 55

Elaboración del EDT



4.4.3 Etapas tecnológicas y procesos de construcción.

Para la elaboración de la Normal Tecnológica, se basó en el desarrollo de las Etapas Tecnológicas, con sus procesos constructivos, tomando en cuenta la información del metrado, los rendimientos del expediente técnico y del análisis de costo unitario del mismo, tomando en cuenta las cuadrillas respectivas y utilizando la experiencia de los participantes para los tiempos de las que no tuvieran.

Ver Figuras 56, 57 y 58; y para ver al detalle todas las etapas tecnológicas con mayor detalle ver el Anexo N° 07.

Figura 56

Estructura de la Normal Tecnológica

NORMAL TECNOLÓGICA DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN	
item	DESCRIPCIÓN
01.00	OBRAS PROVISIONALES-PRELIMINARES
01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL PARA LA OBRA
01.02	OFICINA PARA EL SUPERVISOR
01.03	CARTEL PARA OBRA
01.04	TRANSPORTE DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
01.05	LIMPIEZA GENERAL
01.06	TOPOGRAFIA-REPLANTEO-BUZONES
02.00	CONSTRUCCIÓN DE BUZONES
02.01	EXCAVACION MANUAL DE BUZONES, SOLADO 4"
02.02	ACERO y CONCRETO EN PISO
02.03	ENCOFRADO, VACIADO DE CUERPO DE BUZON ESTÁNDAR
02.04	DESENCOFRADO DE CUERPO y ENCOFRADO DE LOSA, ACERO, CONCRETO EN LOSAS, PULIDO y DESENCOFRADO
03.00	RED COLECTORA DE ALCANTARILLADO
03.01	TRAZO-REPLANTEO-ALCANTARILLADO
03.02	EXCAVACIÓN C/MAQUINARIA DE ZANJA PARA TUBERÍA DN=200
03.03	REFINE, NIVEL Y FONDOS P/TUBERÍAS PVC EN TERRENO C/BOLONERIAS
03.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.
03.05	SUMINISTRO DE TUBERÍAS-DADOS DE CONCRETO EN BUZONES
03.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m
03.07	SEGUNDO RELLENO C/MATERIAL PROPIO A=0.70m @ 0.30m ZANJA
03.08	PRUEBA HIDRÁULICA
03.09	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Figura 57

Continuación de la Normal Tecnológica

04.00	LINEA DE ADUCCIÓN y DISTRIBUCIÓN
04.01	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO DE ZANJAS
04.02	EXCAVACIÓN C/(MAQUINARIA TERRENO C/BOLONERÍA P/TUB. DE AGUA POTABLE
04.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS
04.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.
04.05	TUBERÍA PVC SAP CLASE 7.5 NORMA ISO 4422 DN=25 Y 40mm
04.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m
04.07	SEGUNDO RELLENO MATERIAL PROPIO A=0.70M @ 0.30 m HASTA 0.45m
04.08	PRUEBA HIDRAULICA-ELIMINACIÓN MATERIAL EXCEDENTE
05.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE DESAGUE
05.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINAS) TERRENO C/BOLONERÍAS P/CONEXIONES DOMICILIARIAS
05.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DN 160mm ISO 4435 S-20, L=6.00
05.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS
06.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA
06.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINARIA) TERRENO NORMAL P/TUB. DE AGUA POTABLE HASTA 1.20m
06.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA ESTANDAR
06.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS
07.00	LINEA DE CONDUCCIÓN
07.01	LIMPIEZA MANUAL, TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO
07.02	EXCAV. MANUAL DE ZNAJAS PARA TUB. DN=40mm, H=1.20 a 1.50m TERRENO C/BOLONERIA
07.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS
07.04	COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=0.10m
07.05	COLOCACIÓN DE TUBERÍA Y PRIMER RELLENO
07.06	SEGUNDO RELLENO
07.07	PRUEBA HIDRÁULICA Y ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE
08.00	CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIO
08.01	TRAB. PRELIM.-MOV. TIERRAS-TRAZO-CONCRETO SIMPLE
08.02	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN PISO
08.03	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN MUROS
08.04	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN TECHO
08.05	DEENCOFRADO REVOQUES-TARRAJEO C/IMPERMEABILIZANTE-PINTURA
08.06	SUMINISTRO E INST. DE ACCESORIOS-PRUEBA HIDRÁULICA-DESINFECCIÓN
09.00	CAPTACIÓN
09.01	LIMPIEZA, TRAZO, NIVELACIÓN, MOV. DE TIERRAS
09.02	ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO
09.03	REVOQUES, ENLUCIDOS, INSTALACIÓN DE ACCESORIOS

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Figura 58*Culminación de la Normal Tecnológica*

10.00	TANQUE IMHOFF
10.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
10.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DESENCOFRADO
10.03	LOSAS, ACERO, ENCOFRADO, DESENCOFRADO DE MUROS REFORZADOS Y VERTEDEROS
10.04	PANTALLA, ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO, DESENCOFRADO, CAMARA DE SEDIMENTACIÓN
10.05	REVOQUES Y ENLUCIDOS
10.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y ACCESORIOS-VARIOS
11.00	FILTRO BIOLÓGICO
11.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
11.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DESENCOFRADO
11.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-INSTALACIONES SANITARIAS
11.04	FILTROS - VARIOS
12.00	LECHO DE SECADOS
12.01	TRAB.-PRELIMINARES, TRAZO, REPLANTEO, REFINE, NIVELACIÓN, COMPACTACIÓN, RELLENO Y ELIMINACIÓN
12.02	SOLADO, ZAPATA, COLUMNA. Y CANALETAS(ACERO, CONCRETO, ENCOFRADO-DESENCOFRADO)
12.03	LOSA SALPICADO-APOYOS Y MUROS REFORZADOS (ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO)
12.04	VIGAS (ENCOFRADO, ACERO, CONCRETO) Y REVOQUES-ENLUCIDOS
12.05	ESTRUCTURA DE MADERA-COBERTURA
12.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y FILTROS
13.00	CASETA DE CLORACIÓN
13.01	TRAZO, REPLANTEO MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
13.02	CONCRETO ARMADO-TANQUE DE DOSIFICACIÓN (ACERO-CONCRETO-ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)
13.03	ESTRUCTURA DE MADERA(LISTONERÍA, CORREAS-CIELO RASO Y COBERTURA) Y PISO
13.04	REVOQUES-CARPINTERIA METALICA-CERRAJERIA-VIDRIOS
13.05	CONTRAZÓCALO Y PINTURA
14.00	CAMARA DE REJAS
14.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
14.02	LOSAS-MUROS REFORZADOS(ENCOFRADO-ACERO Y CONCRETO)
14.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-VARIOS
15.00	CAMARA DE CONTACTO DE CLORO
15.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
15.02	ACERO-ENCOFRADO-CONCRETO-REVOQUE-VARIOS
15.03	SISTEMA DE CLORACIÓN-INSTALACIÓN DE ACCESORIOS
16.00	RED-EXTERIOR-RED DE EMISOR
16.01	TRAZO, EXCAV.-REFINE-RELLENO Y ELIMINACIÓN
16.02	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍAS-CAJA DE PASE-DADOS
16.03	CERCO PERIMETRICO-UBS.
17.00	MANTENIMIENTO DE CARRETERA-CONCIERTIZACIÓN
17.01	MANTENIMIENTO DE CAMINOS - CAPACITACIÓN

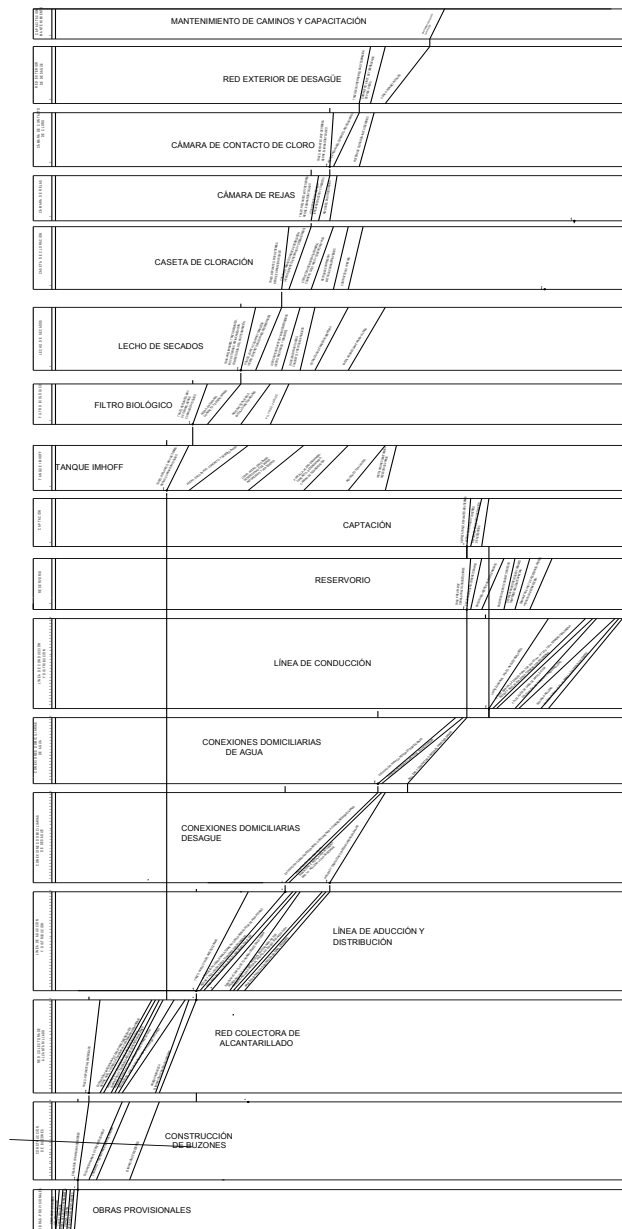
Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

4.4.4 Ciclograma de Construcción

Para realizar el Ciclograma, hemos usado la Normal Tecnológica, anteriormente creada, tomando en cuenta los tiempos de cada etapa, teniendo presente el orden y los tiempos entre predecesoras; con los procesos constructivos secuenciales, las cuales se puede esquematizar en la Figura 59, para mejor y con mayor detalle observar el Anexo 08.

Figura 59

Ciclograma de Construcción



Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

El primer Ciclograma que se realizó, en base a los metrados y los rendimientos del análisis de costos unitarios, se obtuvieron varias gráficas con pendientes diferentes, esto implica que se emplea mucho tiempo en las actividades y lo más conveniente es tratar que las actividades se nivelen y hacerla que sea rítmica, teniendo en cuenta la experiencia propia y la cantidad apropiada del número de ejecutores para realizar las etapas tecnológicas.

También es importante mencionar, que la mayoría de las actividades están previstas para que comiencen utilizando el código de FC (Fin comienzo), porque los recursos humanos y las maquinarias (toda la cuadrilla) casi en su totalidad, pasan a formar parte de la siguiente actividad, con ciertas excepciones.

Para mayor y mejor visión del Ciclograma ver Anexo 08.

4.4.5 Etapas tecnológicas y procesos de construcción.

Se muestra las etapas tecnológicas, donde se observa los tiempos en días de las duraciones de cada una de ellas, ver Figuras 60, 61 y 62 y para mejor apreciación ver Anexo 09.

Figura 60

Primeras Etapas de la Normal Tecnológica

NORMAL TECNOLÓGICA DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN		
item	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
01.00 OBRAS PROVISIONALES-PRELIMINARES		
01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL PARA LA OBRA	1
01.02	OFICINA PARA EL SUPERVISOR	1
01.03	CARTEL PARA OBRA	1
01.04	TRANSPORTE DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	1
01.05	LIMPIEZA GENERAL	1
01.06	TOPOGRAFIA-REPLANTEO-BUZONES	1
02.00 CONSTRUCCIÓN DE BUZONES		
02.01	EXCAVACION MANUAL DE BUZONES, SOLADO 4"	3
02.02	ACERO y CONCRETO EN PISO	9
02.03	ENCOFRADO, VACIADO DE CUERPO DE BUZON ESTÁNDAR	9
02.04	DESENCOFRADO DE CUERPO y ENCOFRADO DE LOSA, ACERO, CONCRETO EN LOSAS, PULIDO y DESENCOFRADO	8
03.00 RED COLECTORA DE ALCANTARILLADO		
03.01	TRAZO-REPLANTEO-ALCANTARILLADO	3
03.02	EXCAVACIÓN C/MAQUINARIA DE ZANJA PARA TUBERÍA DN=200	14
03.03	REFINE, NIVEL Y FONDOS P/TUBERÍAS PVC EN TERRENO C/BOLONERIAS	14
03.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.	13
03.05	SUMINISTRO DE TUBERÍAS-DADOS DE CONCRETO EN BUZONES	13
03.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m	15
03.07	SEGUNDO RELLENO C/MATERIAL PROPIO A=0.70m @ 0.30m ZANJA	17
03.08	PRUEBA HIDRÁULICA	9
03.09	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	10

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Figura 61

Continuación de Etapas de la Normal Tecnológica

04.00 LINEA DE ADUCCIÓN y DISTRIBUCIÓN		
04.01	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO DE ZANJAS	14
04.02	EXCAVACIÓN C/MAQUINARIA TERRENO C/BOLONERÍA P/TUB. DE AGUA POTABLE	23
04.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS	24
04.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.	23
04.05	TUBERÍA PVC SAP CLASE 7.5 NORMA ISO 4422 DN=25 Y 40mm	19
04.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m	24
04.07	SEGUNDO RELLENO MATERIAL PROPIO A=0.70M @ 0.30 m HASTA 0.45m	24
04.08	PRUEBA HIDRAULICA-ELIMINACIÓN MATERIAL EXCEDENTE	23
05.00 CONEXIONES DOMICILIARIAS DE DESAGUE		
05.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINAS) TERRENO C/BOLONERÍAS P/CONEXIONES DOMICILIARIAS	25
05.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DN 160mm ISO 4435 S-20, L=6.00	25
05.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS	15
06.00 CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA		
06.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINARIA) TERRENO NORMAL P/TUB. DE AGUA POTABLE HASTA 1.20m	21
06.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA ESTANDAR	22
06.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS	16
07.00 LINEA DE CONDUCCIÓN		
07.01	LIMPIEZA MANUAL, TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO	16
07.02	EXCAV. MANUAL DE ZANJAS PARA TUB. DN=40mm, H=1.20 a 1.50m TERRENO C/BOLONERIA	25
07.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS	26
07.04	COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=0.10m	22
07.05	COLOCACIÓN DE TUBERÍA Y PRIMER RELLENO	26
07.06	SEGUNDO RELLENO	21
07.07	PRUEBA HIDRÁULICA Y ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	20
08.00 CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIO		
08.01	TRAB. PRELIM.-MOV. TIERRAS-TRAZO-CONCRETO SIMPLE	1
08.02	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN PISO	3
08.03	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN MUROS	6
08.04	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN TECHO	3
08.05	DESENCOFRADO REVOQUES-TARRAJEO C/IMPERMEABILIZANTE-PINTURA	4
08.06	SUMINISTRO E INST. DE ACCESORIOS-PRUEBA HIDRÁULICA-DESINFECCIÓN	6
09.00 CAPTACIÓN		
09.01	LIMPIEZA, TRAZO, NIVELACIÓN, MOV. DE TIERRAS	1
09.02	ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO	2
10.00 TANQUE IMHOFF		
10.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	6
10.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DESENCOFRADO	16
10.03	LOSAS, ACERO, ENCOFRADO, DESENCOFRADO DE MUROS REFORZADOS Y VERTEDEROS	15
10.04	PANTALLA, ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO, DESENCOFRADO, CAMARA DE SEDIMENTACIÓN	12
10.05	REVOQUES Y ENLUCIDOS	10
10.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y ACCESORIOS-VARIOS	3

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Figura 62*Últimas Etapas de la Normal Tecnológica*

11.00	FILTRO BIOLÓGICO	
11.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	4
11.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DEENCOFRADO	9
11.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-INSTALACIONES SANITARIAS	8
11.04	FILTROS - VARIOS	5
12.00	LECHO DE SECADOS	
12.01	TRAB.-PRELIMINARES, TRAZO, REPLANTEO, REFINE, NIVELACIÓN, COMPACTACIÓN, RELLENO Y ELIMINACIÓN	4
12.02	SOLADO, ZAPATA, COLUMNA. Y CANALETAS(ACERO, CONCRETO, ENCOFRADO-DEENCOFRADO)	7
12.03	LOSA SALPICADO-APOYOS Y MUROS REFORZADOS (ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO)	5
12.04	VIGAS (ENCOFRADO, ACERO, CONCRETO) Y REVOQUES-ENLUCIDOS	4
12.05	ESTRUCTURA DE MADERA-COBERTURA	9
12.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y FILTROS	10
13.00	CASETA DE CLORACIÓN	
13.01	TRAZO, REPLANTEO MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	2
13.02	CONCRETO ARMADO-TANQUE DE DOSIFICACIÓN (ACERO-CONCRETO-ENCOFRADO Y DEENCOFRADO)	6
13.03	ESTRUCTURA DE MADERA(LISTONERÍA, CORREAS-CIELO RASO Y COBERTURA) Y PISO	6
13.04	REVOQUES-CARPINTERIA METALICA-CERRAJERIA-VIDRIOS	4
13.05	CONTRAZÓCALO Y PINTURA	4
14.00	CAMARA DE REJAS	
14.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	2
14.02	LOSAS-MUROS REFORZADOS(ENCOFRADO-ACERO Y CONCRETO)	3
14.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-VARIOS	2
15.00	CAMARA DE CONTACTO DE CLORO	
15.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	1
15.02	ACERO-ENCOFRADO-CONCRETO-REVOQUE-VARIOS	7
15.03	SISTEMA DE CLORACIÓN-INSTALACIÓN DE ACCESORIOS	4
16.00	RED-EXTERIOR-RED DE EMISOR	
16.01	TRAZO, EXCAV.-REFINE-RELLENO Y ELIMINACIÓN	3
16.02	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍAS-CAJA DE PASE-DADOS	4
16.03	CERCO PERIMETRICO-UBS.	12
17.00	MANTENIMIENTO DE CARRETERA-CONCIERTIZACIÓN	
17.01	MANTENIMIENTO DE CAMINOS - CAPACITACIÓN	4

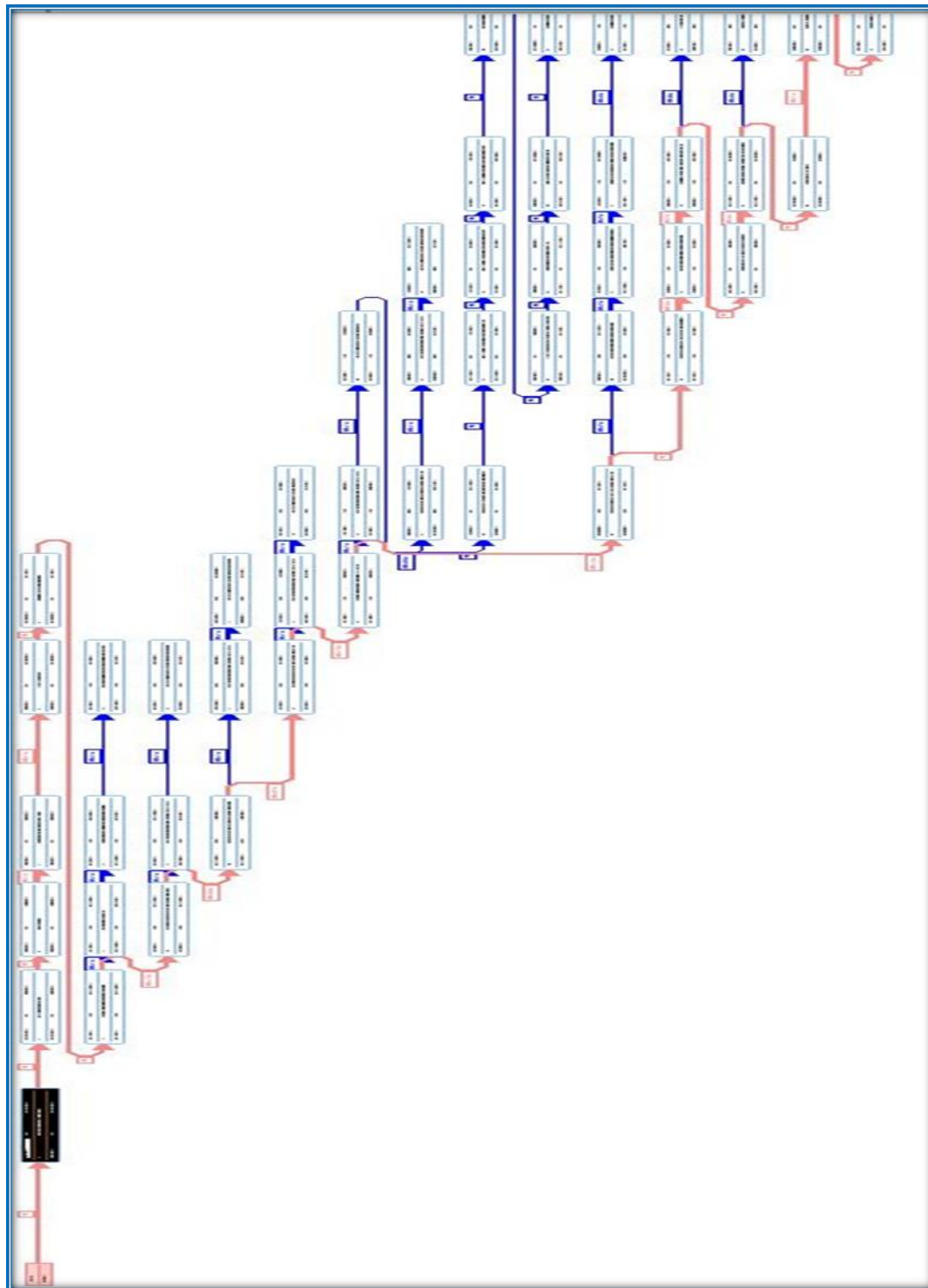
Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

4.4.6 Diagrama Red CPM (Programación temprana).

Se aprecia Diagrama Red en la Figura 63 y para mayor detalle ver el Anexo 10

Figura 63

Diagrama Red de la Programación CPM



Para la elaboración de la programación por el Método de la Ruta Crítica y el análisis de la secuencia lógica de precedencia de las actividades, se tomaron en cuenta el criterio lógico de la secuencia de las actividades, la experiencia de los protagonistas directos (El ingeniero residente y el maestro de obra) y tomando en cuenta la restricción propia de la obra, que es la disposición y uso de los recursos principales como la retroexcavadora y el recurso humano (cuadrilla de trabajadores).

La separación en días entre las actividades o Etapas Tecnológicas, se debió al uso y disposición de la retro excavadora, preferentemente, así como también la disposición del recurso humano, que para nuestro caso fue escaso, ya que tuvimos que contratar personal externo al pueblo y siempre teniendo en cuenta, la precedencia lógica y secuencial de las actividades.

Indudablemente que la secuencia de actividades que se eligió, no necesariamente era la ideal, ya que había otras condicionantes o restricciones, como son el clima (lluvias y granizadas), que de alguna manera afectaba la ruta elegida, teniendo que cambiar una actividad por otra; siempre teniendo en cuenta la terminación de las actividades y por ende el proyecto en el mejor tiempo posible, tratando de evitar que se prolongue en demasía, para efectos de simplificación de los procesos, en las siguientes programaciones, se tendrá en cuenta solo las Etapas Tecnológicas

Para mejor visualización de la red CPM ver Anexo 10.

4.4.7 Diagrama Gantt CPM (Programación temprana).

Se aprecia un esquema del diagrama Gantt, en la Figura 64 y para mayor y mejor ilustración ver el Anexo 11.

4.5 PROGRAMACIÓN CON CADENA CRÍTICA (CCPM)

En el Método de la Cadena Crítica de manera similar al Método de la Ruta Crítica, se basa en dos fases:

- ✓ De planificación y programación del Proyecto el cual implica en: realización de lista de actividades, establecer su secuencia lógica, reducir las actividades eliminando márgenes de seguridad (Goldratt. 1997) e insertarlos mediante un sistema de buffers (actividades ficticias que no requieren recursos y tienen como propósito proteger la fecha de entrega del proyecto), identificar la cadena crítica, explorar la limitación (Leach. 2005), subordinar las cadenas de actividades a la Cadena Crítica mediante *buffers de alimentación* de actividades, superar la restricción del sistema, iterar, e insertar buffer de costo (Leach. 2005).
- ✓ La segunda es la de seguimiento y control, la cual se apoya en los reportes o actualizaciones del estado del proyecto y la gestión de los buffers fundamentalmente.

El papel de un *buffer o amortiguador*, es absorber las variaciones de duración de las actividades que lo preceden; así el buffer del proyecto absorbe las variaciones en las actividades de la Cadena Crítica, el buffer de alimentación absorbe las variaciones de las actividades no críticas de un recurso cuando la actividad siguiente de este recurso es una actividad crítica. La fase de seguimiento y control comprende el informe del trabajo realizado, el control de los plazos mediante la gestión del buffer del proyecto, de los buffers de alimentación y principalmente el o los buffers de recurso.

4.5.1 Análisis de las restricciones para determinar la duración pesimista.

Para realizar la programación por el Método de la Cadena Crítica, realizamos el respectivo análisis de las restricciones, el cual se presenta, en un Excel, líneas adelante.

Para éste análisis, se tomó como parámetros restrictivos un GLOSARIO, que se muestra en las Figuras 65 y 66; y se apreciara de manera total en el Anexo 12

Figura 65

Glosario Inicial

GLOSARIO	
Seguridad	
1,1	TERRENO C/BOLONERIA
1,2	TERRENO INESTABLE
1,3	TERRENO CON MUCHA PENDIENTE
1,4	TERRENO CON FILTRACIONES
Medio Ambiente	
2,1	RESTOS ARQUEOLOGICOS
2,2	RESTRICCIÓN DE ESPACIOS
2,3	ESPACIOS CONFINADOS
Entorno Social	
3,1	MURO POR DEMOLER
3,2	DESINFORMACIÓN TÉCNICA
3,3	SALUD-TRABAJADOR
Calidad	
4,1	MATERIALES DEFICIENTES/FALLADOS
4,2	CEMENTO FRIO
4,3	MODIFICACIÓN DEL EXPEDIENTE TECNICO
Clima	
5,1	LLUVIAS
5,2	HELADAS
5,3	GRANIZADA
Plazo de obra	
6,1	NO SON LÍNEAS CONTINUAS
6,2	ESTRÉS EN EL TRABAJO
6,3	PENALIDADES POR INCUMPLIMIENTO
Recursos Humanos	
7,1	ESCAZOS
7,2	NO CALIFICADA

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Figura 66

Glosario Final

GLOSARIO	
Recursos Humanos	
8,1	ESCAZOS
8,2	NO CALIFICADA
Espacio	
9,1	ESPACIO REDUCIDO
9,2	NO ESTA LIBERADO
9,3	NO CUENTA CON AUTORIZACIÓN
Requisitos	
10,1	CONFORMIDADES DE PREDECESORAS
10,2	PERSONAS CALIFICADAS
10,3	EQUIPOS CALIBRADOS
Recursos Materiales	
11,1	FUERA DE TIEMPO
11,2	COMPRA EQUIVOCADA
11,3	MALA GESTIÓN
Recursos Equipos	
12,1	MANTENIMIENTO
12,2	EQUIPO INAPROPIADO
Recursos Financieros	
13,1	PROBLEMAS DE PAGO
13,2	PAGO A DESTIEMPO DE VALORIZACIONES
13,3	
Sub Contratos	
14,1	EVALUACIÓN /CONTRATISTA
Costo de Producción	
15,1	MAS HORAS DE TRABAJO
Precio de Venta-Margen Económico	
16,1	ESTRÉS EN EL TRABAJO
Información	
17,1	INFORMACIÓN OPORTUNA
17,2	COMUNICACIÓN INAPROPIADA
17,3	DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

GLOSARIO	
Espacio	
8,1	ESPACIO REDUCIDO
8,2	NO ESTA LIBERADO
8,3	NO CUENTA CON AUTORIZACIÓN
Requisitos	
9,1	CONFORMIDADES DE PREDECESORAS
9,2	PERSONAS CALIFICADAS
9,3	EQUIPOS CALIBRADOS
Recursos Materiales	
10,1	FUERA DE TIEMPO
10,2	COMPRA EQUIVOCADA
10,3	MALA GESTIÓN
Recursos Equipos	
11,1	MANTENIMIENTO
11,2	EQUIPO INAPROPIADO
Recursos Financieros	
12,1	PROBLEMAS DE PAGO
12,2	PAGO A DESTIEMPO DE VALORIZACIONES
12,3	
Sub Cotratos	
13,1	EVALUACIÓN /CONTRATISTA
Costo de Producción	
14,1	MAS HORAS DE TRABAJO
Precio de Venta-Margen Económico	
15,1	ESTRÉS EN EL TRABAJO
Información	
16,1	INFORMACIÓN OPORTUNA
16,2	COMUNICACIÓN INAPROPIADA
16,3	DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

GLOSARIO	
Recursos Humanos	
8,1	ESCAZOS
8,2	NO CALIFICADA
Espacio	
9,1	ESPACIO REDUCIDO
9,2	NO ESTA LIBERADO
9,3	NO CUENTA CON AUTORIZACIÓN
Requisitos	
10,1	CONFORMIDADES DE PREDECESORAS
10,2	PERSONAS CALIFICADAS
10,3	EQUIPOS CALIBRADOS
Recursos Materiales	
11,1	FUERA DE TIEMPO
11,2	COMPRA EQUIVOCADA
11,3	MALA GESTIÓN
Recursos Equipos	
12,1	MANTENIMIENTO
12,2	EQUIPO INAPROPIADO
Recursos Financieros	
13,1	PROBLEMAS DE PAGO
13,2	PAGO A DESTIEMPO DE VALORIZACIONES
13,3	
Sub Cotratos	
14,1	EVALUACIÓN /CONTRATISTA
Costo de Producción	
15,1	MAS HORAS DE TRABAJO
Precio de Venta-Margen Económico	
16,1	ESTRÉS EN EL TRABAJO
Información	
17,1	INFORMACIÓN OPORTUNA
17,2	COMUNICACIÓN INAPROPIADA
17,3	DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

Fuente. Expediente Técnico del Proyecto en Estudio.

Se cuenta con un Excel referente al análisis total de las restricciones, el cual se muestra en el Anexo 13; del cual se obtuvieron tiempos que representan la suma de todos los tiempos perdidos en su totalidad o de manera parcial, por cada cadena especializada, productos de todas las restricciones.

Se hace mención que las actividades referentes a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) tuvieron una secuencia de actividades definidas por *fin comienzo* (FC), entre cada una de las mismas, porque se trató como actividades con sus propios recursos y por ende sus tiempos fueron independientes, por no haber restricción de recursos, por lo tanto, no fue necesario establecer buffers de recursos ni de alimentación.

Para dar credibilidad a lo antes en mención se muestran algunas **tomas fotográficas** propias, durante el desarrollo de las etapas tecnológicas, donde observamos las dificultades como consecuencia de las restricciones que se encontraron durante el proceso constructivo y de las cuales se pudo ir acumulando los tiempos de demora.

- **EN LA CONSTRUCCIÓN DE BUZONES**

Esta actividad consiste desde la excavación a medias con máquina y luego a pulso, para el perfilado; luego el colocado del solado, colocado de malla de piso, encofrado y vaciado del cuerpo del buzón con el piso y por último el techo con el colocado del marco metálico y su respectiva tapa metálica según el expediente técnico.

Según el proyecto se tenía presupuestado 67 buzones, pero durante el transcurrir del proyecto en la etapa del replanteo se creyó conveniente incrementar hasta 69 buzones a fin de poder compensar el déficit encontrado en los planos y la topografía in situ.

(Ver Figuras 67, 68 y 69).

Figura 67

Excavación Típica para Buzón



Figura 68

Vaciado Típico de Cuerpo de Buzón



Figura 69

Marco Metálico, sobre losa de Techo de Buzón Típica



- **EN LA RED DE ALCANTARILLADO**

Esta actividad se encuentra conformado por la excavación a máquina o en algunos casos a pulso, conformación de los niveles con colocado de plantillas, según la nivelación topográfica con replanteo final, zarandeo de material propio, instalación de tuberías de 8" (pulgadas) para la red principal y de 6" (pulgadas) para las conexiones domiciliarias, luego el primer relleno con el material zarandeado, compactado y por último el relleno final.

Se hace mención que en esta etapa la topografía juega un papel importantísimo puesto que tiene que calcular los desniveles y estar muy concentrado, porque un error en las plantillas genera pérdida de hora-máquina y de personal en general, ver Figuras 70 y 71.

Figura 70

Perfilado de Excavación para la Red de Alcantarillado



Figura 71

Plantillado, Tubería y Alineamiento de Red de Alcantarillado



- **DE LA LÍNEA DE ADUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN**

Esta actividad consiste en trabajos preliminares, movimiento de tierras, suministro e instalación de tuberías y accesorios, todas de PVC SAP clase 7.5 norma ISO 4422, con longitudes de 1937.39m y 3612.76m y de diámetros de 40mm y 25mm respectivamente. A medida que se suministraban las tuberías post excavación por tramos, se realizaban las respectivas pruebas hidráulicas, debiendo de comprobar alguna filtración o procedimiento erróneo con las tuberías referente a si habían sido bien pegadas y que la calidad de las mismas eran las apropiadas, para lo cual se sometía a mayor presión de la establecida en las especificaciones para tener mayor seguridad y que incluso se mejoró la clase de 7.5 a 10, manteniendo las características antes en mención. Para tal efecto se muestran algunas tomas ver Figura 72 y 73

Figura 72

Excavación y Entubado para la Línea de Aducción



Figura 73

Línea de Aducción



- **EN LAS CONEXIONES DOMICILIARIAS DE DESAGÜE**

Esta actividad consiste en la excavación por lo general a pulso para cada predio, verificando que, de la caja de desagüe de cada predio ya colocado, se le dé la pendiente suficiente, para lograr una evacuación de sólidos de manera satisfactoria, ver Figuras 74 y 75.

Figura 74

Conexiones Domiciliarias de Desagüe Típica



Figura 75

Conexiones Domiciliarias de Desagüe Típica



- **EN LAS CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA**

Para esta actividad se toman en cuenta la excavación a pulso en una altura en promedio de entre 1.00 a 1.20m según la topografía y la conexión propiamente de la batería correspondiente de agua.

Según el presupuesto son 103 conexiones domiciliarias, pero con el transcurrir del proyecto se incrementó a 127 a petición de los pobladores y autoridades de la comunidad campesina, en el afán de cumplir con la premisa principal de que el agua debería de llegar en lo posible a toda la población, la supervisión acepta y se logra el respectivo adicional (Ver Figuras 76 y 77)

Figura 76

Conexiones Domiciliarias de Agua Típica



Figura 77

Prueba Hidráulica de las Redes de Agua



- **EN LA LÍNEA DE CONDUCCIÓN**

Esta actividad consiste en la colocación de tubería de PVC de 2" de diámetro en una longitud de 3000ml. según el proyecto, sin embargo, durante la ejecución de la labor, la longitud incremento a 3278ml. Para decidir por el diámetro, se tuvo que tomar como información primordial la topografía entre las estructuras de la captación y el reservorio, así como la población actual, tasa de crecimiento, periodo de diseño, población futura, dotación (L/Hab/día), consumo promedio anual (L/s), consumo máximo diario (L/s), caudal de la fuente (L/s), consumo máximo horario (L/s), cotas piezométricas, pérdidas de carga, velocidad (m/s); con toda esta información se calculó el diámetro deseado, que para nuestro caso fue de 2". (Ver Figura 78).

Figura 78

Excavación para la Línea de Conducción



- **EN LA CONSTRUCCIÓN DEL RESERVORIO**

Esta actividad que constituye en trabajos preliminares dentro de un área de 20 m², movimiento de tierras, obras de concreto simple, obras de concreto armado, muros reforzados, caseta de válvulas, revoques, enlucidos, pintura, pruebas hidráulicas y desinfección, suministro e instalación de accesorios y varios.

Es una estructura diseñada para la demanda solicitada, tomando como referencia los parámetros básicos tales como: período óptimo de diseño, tasa de crecimiento, densidad poblacional, cantidad de viviendas, población proyectada a 20 años y tomando como criterios acerca del caudal promedio anual, caudal máximo diario y caudal máximo horario; con todos estos datos obtenidos in situ han sido evaluados y también tomando los parámetros de la Normativa Técnica de Diseño para sistemas de agua potable, se llegó a la conclusión que el reservorio deberá de ser de 12m³ de volumen. Ver Figura 79

Figura 79

Actividad de Acabado del Reservorio



- **EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA CAPTACIÓN**

Esta actividad consiste según el presupuesto, la construcción de una nueva captación, dado que la que existe, está en malas condiciones y requiere una nueva construcción. Ver Figura 80 y 81

Figura 80

Vista Exterior de la Captación



Figura 81

Interior de la Captación



- **EN LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR).**

Esta actividad, es la más compleja de todo el proyecto, porque involucra diferentes tipos de estructuras, ligadas de tal manera que cumplan un funcionamiento adecuado; las estructuras que lo conforman son: La cámara de rejas, el tanque imhoff, lecho de secados, filtro biológico y cámara de contacto de cloro y finalmente una caseta de cloración; para llegar a verter sus aguas tratadas a una quebrada adyacente libre de contaminación.

Estas estructuras son casi comunes por que involucran actividades de trabajos preliminares, movimiento de tierras, concreto simple, obras de concreto armado (losas y muros reforzados), revoques y enlucidos, equipamientos, vertederos, pantalla, cámara de sedimentación, instalaciones sanitarias, filtros, columnas, canaletas, losa salpicadero, apoyos, estructura de madera, coberturas, tanques de dosificación, cubiertas, cielo raso, carpintería metálica, cerrajería, etc. Ver Figuras 82 y 83

Figura 82

Toma Exterior del Tanque IMHOFF



Figura 83

Instalaciones de Accesorios para el Lecho de Secados



Con todas las tomas fotográficas expuestas se pretende dar a conocer las dificultades, que se tuvo durante la ejecución de las actividades, llámese tipos de terrenos con presencia fuerte de materiales rocosos, presencias de nivel freático, inclemencias debido a las fuertes lluvias y las dificultades propias de trabajar en zonas con mucho frío, que perjudicaba la salud de los operarios que en su mayoría eran de Lima y las variaciones del terreno debido a lo variado y agreste de la topografía.

4.5.2 Tabla del análisis de restricciones

En la Figura 84 se aprecia un esquema del cuadro de las restricciones, el cuadro completo de las restricciones se podrá ver en el Anexo 13, donde se podrán ver además de los tiempos de incremento por cada cadena especializada, los tiempos acumulados producto de la suma de los tiempos obtenidos del Ciclograma con actividades rítmicas y los tiempos reducidos luego de aplicado la metodología de la Cadena Crítica, con sus respectivas nomenclaturas de sus respectivas programaciones, tanto tardías (CPM) como tempranas (CCPM).

Figura 84

Resumen de las Restricciones

Item	Descripción de los Procesos de Construcción	DE RESTRICCIONES							SUB TOTAL	PROG. C/ CLOGRA	TIEMPO- RESTRIC	DUR. PESIMST	PROG. CP M	DUR. (50%- 75%)	PROG. CC PM	P
		Duración Ciclogram	I. Producción Adicional		II.0 Precio de Venta Restricción		III.0 Inmovilización Adicional									
			Restricción	Adicional	Restricción	Adicional	Restricción	Adicional								
01	OBRAS PROVISIONALES-PRELIMINARES							2								
12.02	SOLADO, ZAPATA, COLUMNA Y CANALETAS (ACERO-CONCRETO-ENCOFRADO-DES)	7							75	2	9	75	6	75	0.6	
12.03	LOSAS SALICADO-APCIVOS Y MUROS REFORZADOS (ACERO-ENCOFRADO Y CON)	5			1				76	2	7	76	5	76	0.6	
12.04	VIGAS (ENCOFRADO, ACERO, CONCRETO) Y REVOQUES-ENLUCIDOS	4							77	1	5	77	3	77	0.6	
12.05	ESTRUCTURA DE MADERA-COBERTURA	3							78	1	10	78	6	78	0.6	
12.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y FILTROS	10							79	1	11	79	7	79	0.6	
	CASETA DE CLORACIÓN	24							7		31					
13.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	2							76	2	4	76	3	76	0.6	
13.02	CONCRETO ARMADO-TANQUE DE DOSIFICACIÓN (ACERO-CONCRETO-ENCOFRADO)	6							82	2	8	82	5	82	0.6	
13.03	ESTRUCTURA DE MADERA(LISTONERIA, CORREAS- CIELO PASO Y COBERTURA) Y F	6							83	1	7	83	5	83	0.6	
13.04	REVOQUES-CARPINTERIA METÁLICA-CERRAJERIA-VIDRIOS	4							84	1	5	84	3	84	0.6	
13.05	CONTRAZOCALDO Y PINTURA	4							85	1	5	85	3	85	0.6	
	CÁMARA DE BEJAS	8							8		16					
14.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO -CR	2							83	3	5	83	3	83	0.6	
14.02	LOSAS-MUROS REFORZADOS (ENCOFRADO-ACERO Y CONCRETO)	3							88	3	6	88	4	88	0.6	
14.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-VARIOS	2							89	2	4	89	3	89	0.6	
	CÁMARA DE CONTACTO DE CLORO	11							8		13					
15.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	1							89	1	2	89	2	89	0.6	
15.02	ACERO-ENCOFRADO-CONCRETO-REVOQUE-VARIOS	7							92	4	11	92	7	92	0.6	
15.03	SISTEMA DE CLORACIÓN-INSTALACIÓN DE ACCESORIOS	4							93	3	7	93	5	93	0.6	
11	RED EXTERIOR DE DESAGUE	6									4					
16.01	TRAZO-EXCAV-REFINE-RELLENDO Y ELIMINACIÓN	3							93	2	5	93	3	93	0.5	
16.02	SUMINISTRO E INST. DE TUBERIAS-CAJAS DE PASE-DADOS	4							96	1	5	96	3	96	0.5	
16.03	CERCO PERIMETRICO-LIBS	12							97	1	13	97	7	97	0.5	
12	MANTENIMIENTO DE CARRETERA-CONCIERTIZACIÓN	7									2					
17.01	MANTENIMIENTO DE CAMINOS - CAPACITACIÓN	4						1	98	2	6	98	3	98	0.5	

4.6 RESTRICCIONES QUE SE ENCONTRARÓN EN EL PROYECTO.

Las restricciones limitan todos los sistemas a un flujo de productividad finito; y a estas restricciones se les conoce generalmente como “un cuello de botella”, una restricción que limita el flujo de las actividades lógicas secuenciales a través del sistema.

En el capítulo II, referido al fundamento teórico de la presente, se detalla claramente lo concerniente a los tipos de restricciones (2.3.1.10), sin embargo, durante el transcurso del proyecto que se presenta como ejemplo, se ha podido encontrar otras restricciones desde otro punto de vista:

- ✓ Restricciones físicas. - Los retrasos que se tuvieron fueron como consecuencia de que las maquinarias que el contratista poseía, no estaban en buenas condiciones.

Se tenía escases de operarios, el administrador no era la persona idónea, ya que era ingeniero electrónico y al hacer las compras de los materiales se equivocaba al ignorar los tipos y/o calidad del material, motivo por el cual en algunas oportunidades se hacía doble trabajo (materiales que no eran) y de esta manera se acumulaban retrasos. Otras restricciones físicas es sin duda el aspecto climático, el inicio de la obra fue en mal tiempo, ya que se acercaba el período de lluvias.

- ✓ Restricciones políticas. - En esta parte lo preocupante era el trato burocrático que recibía los requerimientos, no eran aceptados en su totalidad o lo hacían por partes o simplemente lo hacía de manera parcial, porque no creían que fueran necesarios aun; rompiendo de esta

manera la planificación u orden que se pretendía tener respecto a contar con los recursos a tiempo para el desarrollo de las partidas.

- ✓ Restricciones de Mercado. – Con respecto a este tipo de restricción no hubo ningún inconveniente.
- ✓ Restricciones sociales. - No se presentaron ningún inconveniente.

4.6.1 Análisis de restricciones con Juicio de Expertos.

Sin embargo, para complementar las apreciaciones sobre las restricciones antes mencionadas en el anexo 13, se añade otra, por recomendación del asesor, enfocada desde otros puntos de vista, como son los denominados;

- JUICIO DE EXPERTOS, consiste en una encuesta, con una secuencia de **preguntas** referentes a inconvenientes recurrentes presentados en obras de saneamiento en zonas rurales y los porcentajes que afectaron el desarrollo de las partidas referidas.

Las **preguntas** para todas las etapas fueron similares.

¿Cuáles son las principales restricciones o causas que hizo que se incrementara el tiempo de ejecución?

Y cuyas alternativas son:

- Seguridad y medio ambiente
- Entorno social
- Calidad
- Clima
- Recursos humanos
- Espacio
- Recursos materiales
- Recursos equipos
- Recursos financieros.

Para los efectos de éste análisis recurrimos a la colaboración de 4 ingenieros, de quienes se obtuvieron la siguiente información en base a las respuestas brindadas, ver Cuadro 8

CUADRO 8

Relación de Expertos.

Nombres y Apellidos	CIP / DNI	Correo electrónico
<i>Eli Jilver Martinez</i>	196501	jilverm9@gmail.com
<i>Pedro Arcangel, Marcos Chelin</i>	52532	pmarcos1908@gmail.com
<i>Mirko Godino</i>	47641978	ggodinoc@gmail.com
<i>Dagoberto Diaz Zaavedra</i>	216260	ddiaz2008@hotmail.com

Fuente. Encuesta-Juicio de Expertos.

Obras que hacen referencia respectivamente los profesionales antes en mención:

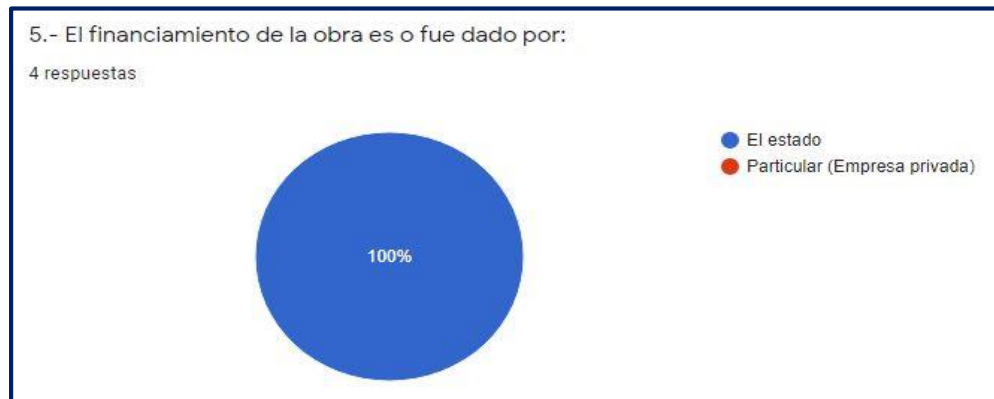
- ✚ AMPLIACIÓN DE AGUA POTABLE E INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE SANEAMIENTO DEL CENTRO POBLADO DE PATOCCOCHA DISTRITO DE ACORI -HUANCAVELICA-HUANCAVELICA.
- ✚ RENOVACIÓN DE CAPTACIÓN SUPERFICIAL, AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO - TARICA-HUARAZ-ANCASH
- ✚ INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO EN EL CASERÍO DE MEMBRILLO, DISTRITO DE PACAIPAMPA - AYABACA – PIURA.
- ✚ INSTALACIÓN DEL SERVICIO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LA LOCALIDAD DE EL PORVENIR - CARMEN DE LA FRONTERA, HUANCABAMBA, PIURA

4.6.1.1 Del financiamiento de la obra

Se muestra el resultado en porcentaje de obras financiadas por el estado o particular, ver Figura 85.

Figura 85

Financiamiento de la Obra



Fuente. Encuesta-Juicio de expertos.

4.6.1.2 De las obras provisionales o trabajos preliminares

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de plazos en las obras provisionales, ver Figuras 86 y 87.

Figura 86

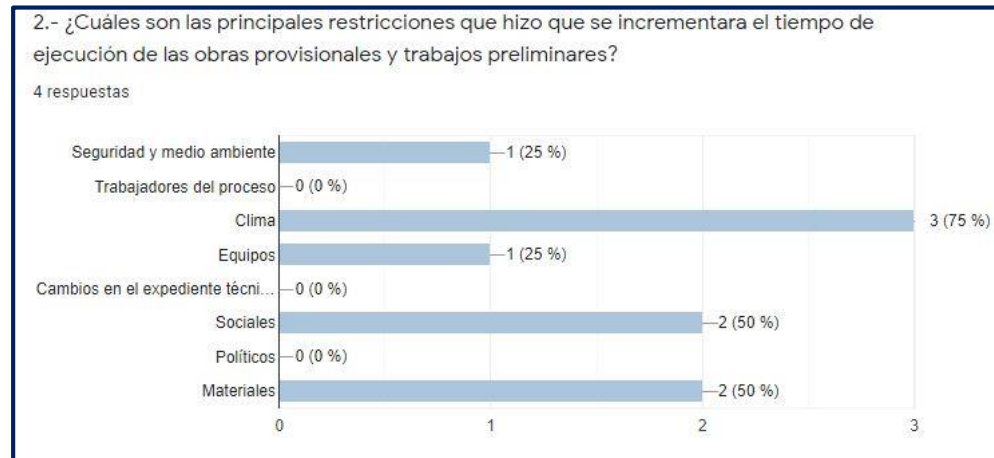
Porcentaje de Ampliación de Plazos



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 87

Principales Restricciones



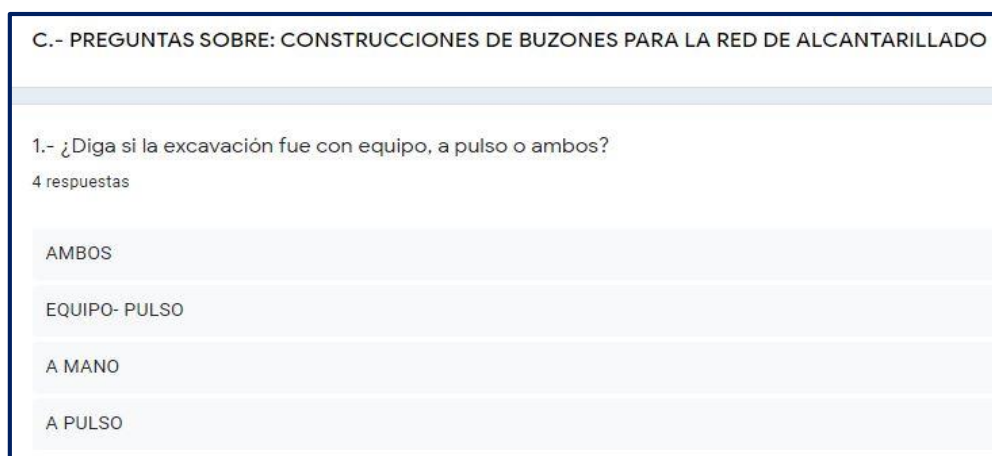
Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.3 De la construcción de los buzones

Se cuenta con información referente a la modalidad de excavación, el porcentaje de ampliación de plazo en la ejecución de la construcción de los buzones y los diferentes tipos de restricciones que ocasiono que se incrementara el tiempo de ejecución en la construcción de buzones, ver Figuras 88, 89 y 90 respectivamente.

Figura 88

Elección de Metodología de Excavación



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 89

Porcentaje de Ampliación de Plazo



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 90

Principales Restricciones en la Construcción de Buzones



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 91

Especificación de Otras Causales



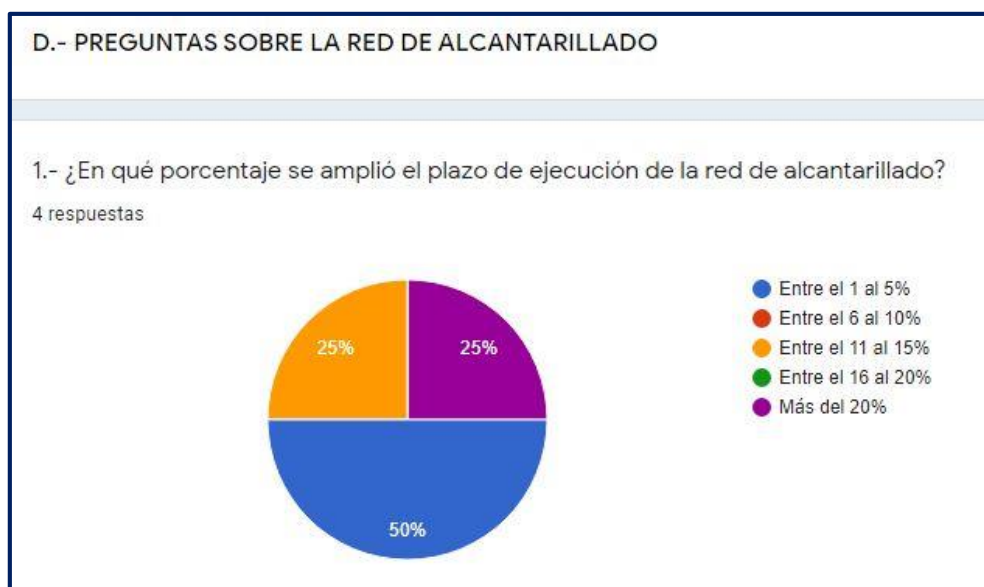
Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.4 De la red de alcantarillado

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de los plazos en la ejecución de la red de alcantarillado y las restricciones que ocasionó que se incrementara el tiempo de ejecución de la red de alcantarillado, ver Figuras 92 y 93.

Figura 92

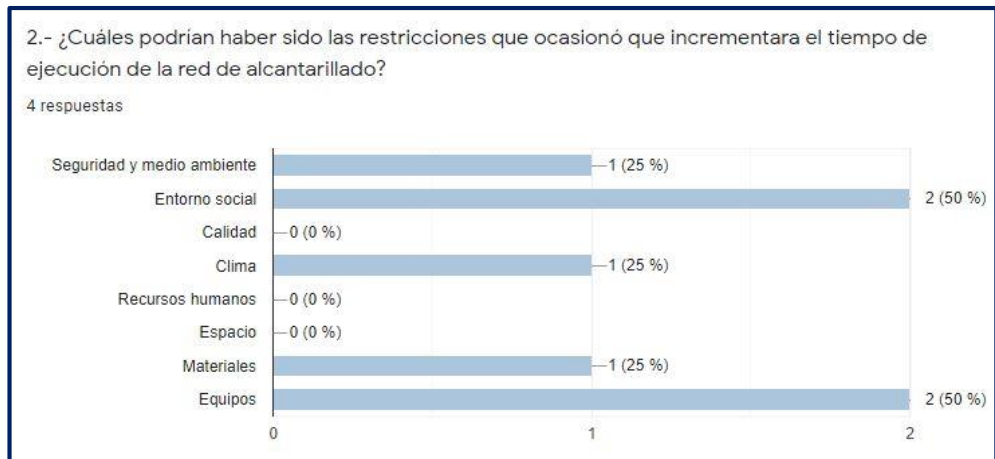
Porcentaje de Ampliación de Plazos en Red de Alcantarillado



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 93

Porcentaje de Restricciones en Ejecución de Alcantarillado



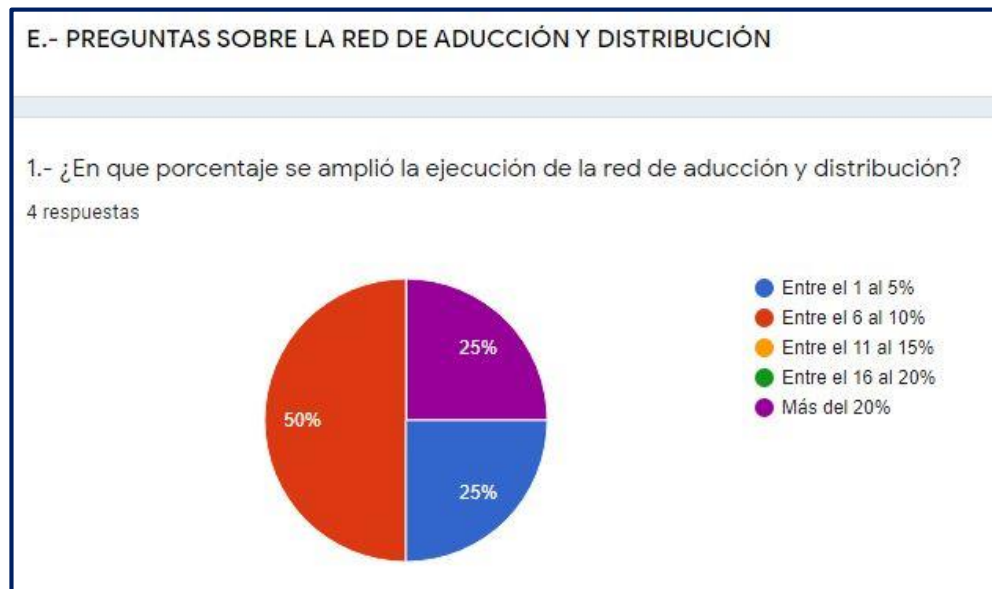
Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.5 De la red de aducción y distribución.

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de los plazos en la ejecución de la red de aducción y distribución, además las restricciones que ocasionó que se incrementara el tiempo de ejecución de la red de aducción y distribución, ver Figuras 94 y 95.

Figura 94

Porcentaje de Ampliación de Plazo en Redes



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 95

Restricciones que Ocasionó el Incremento del Tiempo



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.6 De las conexiones domiciliarias de desagüe.

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de los plazos en la ejecución de las conexiones domiciliarias de desagüe y las restricciones que ocasionó que se incrementara el tiempo de ejecución de las conexiones domiciliarias de desagüe, ver Figuras 96 y 97.

Figura 96

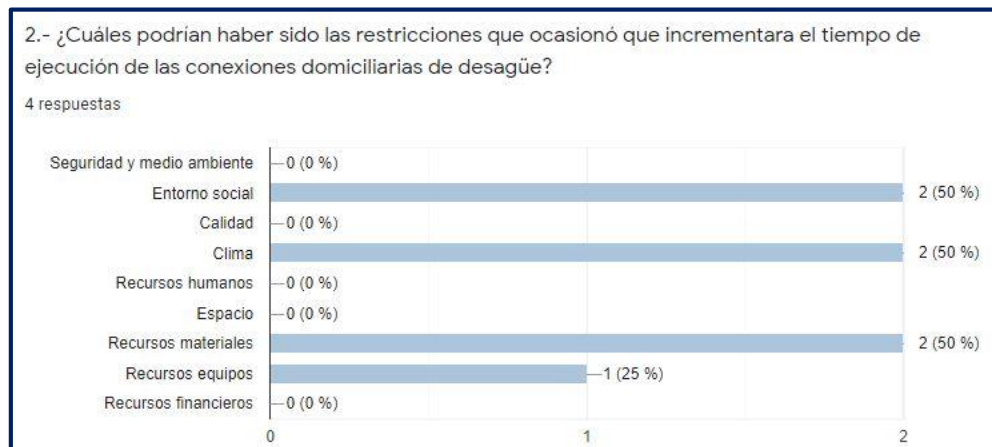
Porcentajes de Ampliación de Plazo en Ejecución de Conexiones



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 97

Porcentaje de Incremento del Tiempo debido a las Restricciones



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.7 De las conexiones domiciliarias de agua potable

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de los plazos en la ejecución de la red de agua potable y las restricciones que ocasionó que se incrementara el tiempo de ejecución de la red de agua potable, ver Figuras 98 y 99.

Figura 98

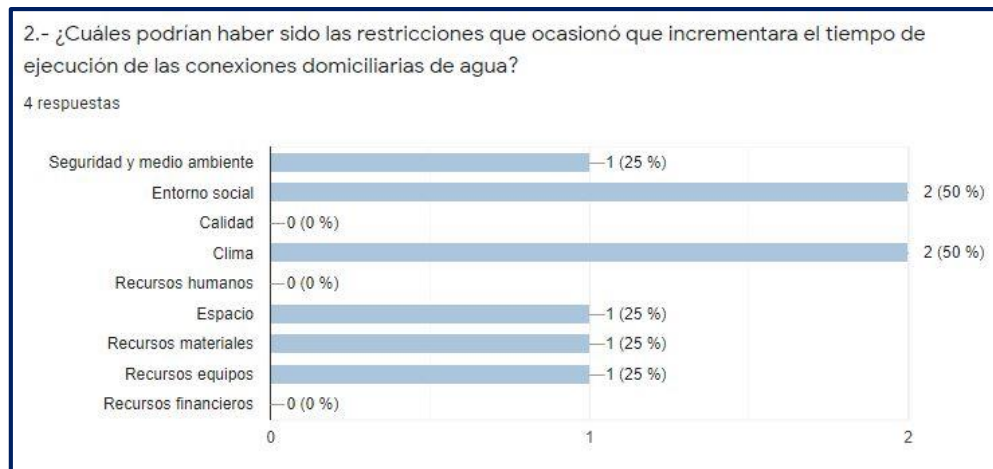
Porcentaje de Ampliación en Conexiones de Agua



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 99

Porcentaje de retraso, en Conexiones de Agua



Fuente: Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.8 De la construcción del Reservorio

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de los plazos en la ejecución de la construcción del reservorio y las restricciones que ocasionó que se incrementara el tiempo de ejecución de la construcción del reservorio, ver Figuras 100 y 101.

Figura 100

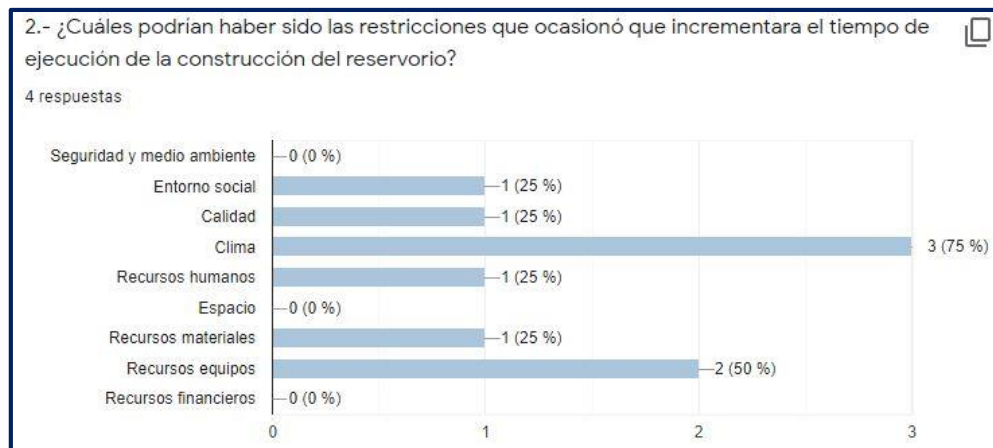
Porcentaje de Ampliación en la Ejecución del Reservorio



Fuente: Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 101

Porcentaje de Incremento que Ocasionó las Restricciones



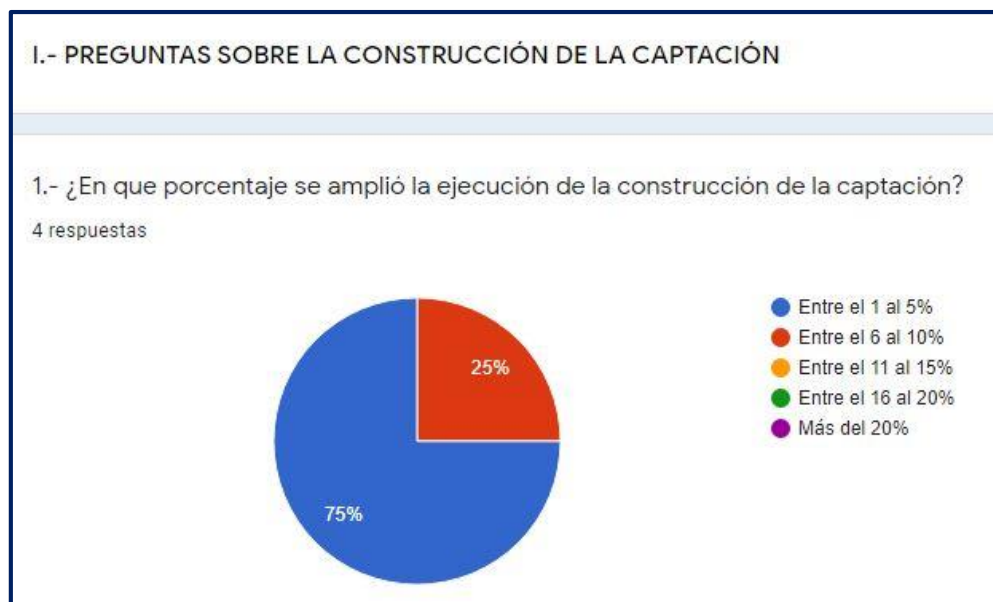
Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.9 De la construcción de la Captación

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de los plazos en la ejecución de la construcción de la captación y las restricciones que ocasionó que se incrementara el tiempo de ejecución de la construcción de la captación, ver Figuras 102 y 103

Figura 102

Porcentaje de Ampliación en la Ejecución de la Captación



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 103

Porcentaje de Afectación en la Construcción de la Captación



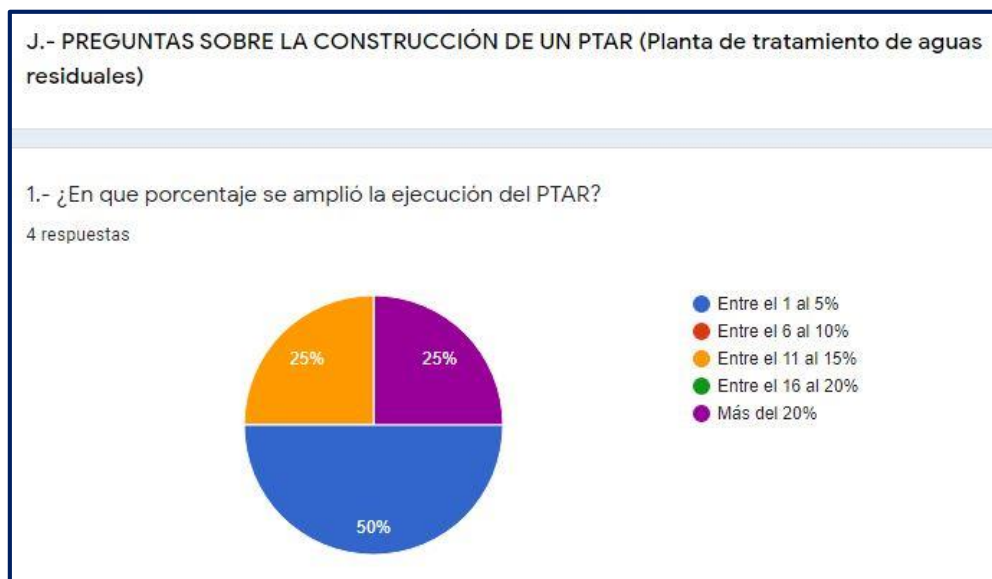
Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

4.6.1.10 De la construcción de la PTAR

Se cuenta con información referente a los porcentajes de ampliación de los plazos en la ejecución de la planta de tratamiento de aguas residuales y las restricciones que ocasionó que se incrementara el tiempo de ejecución de la planta de tratamiento de aguas residuales, ver Figuras 104 y 105.

Figura 104

Porcentaje de Ampliación de la Ejecución de la PTAR



Fuente. Encuesta – Juicio de Expertos

Figura 105

Porcentaje de Afectación en la Construcción de la PTAR



Fuente: Encuesta – Juicio de Expertos

Los análisis, tanto de los juicios de expertos, como los de la aplicación de la metodología de la cadena crítica, nos brindan información cuantitativa-cualitativa, referente a los retrasos que se tienen en obra, en las diferentes Etapas Tecnológicas.

4.6.2 Etapas Tecnológicas-resumen de duraciones pesimista y P(50%)

Se presenta en un cuadro los diferentes tiempos, tanto de los tiempos promedio, tiempo producto de las restricciones, los tiempos pesimistas y el tiempo producto de los P(50%); se aprecia en la Figura 106.

Figura 106

Tiempos: Promedio, Restricciones, Pesimista y P (50%)

CADENAS ESPECIALIZADAS	TIEMPO PROMEDIO	TIEMPO RESTRICCIONES	CPM	CCPM
			TIEMPO PESIMISTA	P(50%) o P(75%)
OBRAS PROVISIONALES-PRELIMINARES	7	2	9	7
CONSTRUCCIONES DE BUZONES	22	19	41	25
RED COLECTORA DE ALCANTARILLADO	29	32	61	37
LINEA DE ADUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	36	29	65	39
CONEXIONES DOMICILIARIAS DESAGUE	27	15	42	26
CONEXIONES DOMICILIARIAS AGUA	24	14	38	23
LÍNEA DE CONDUCCIÓN	36	23	59	36
CONSTRUCCIÓN RESERVORIO	23	10	33	25
CONSTRUCCIÓN DE LA CAPTACIÓN	6	5	11	7
CONSTRUCCIÓN PTAR	62	64	126	76
REDES EXTERIORES DE DESAGUE	19	0	19	12
OBRAS DE MANTENIMIENTO	4	2	6	3

Se observa de la Figura 106 en la columna de “*TIEMPO PROMEDIO*”, los tiempos que se obtienen usando como complementos la hoja de metrados y los rendimientos del expediente técnico y en la columna “*TIEMPO RESTRICCIONES*”, los tiempos de retrasos de cada cadena especializada, obtenidos del análisis de restricciones que se mostró en el Anexo 13, luego en la columna “*TIEMPOS PESIMISTA*”, se tienen la suma del “*TIEMPO PROMEDIO*” más el “*TIEMPO RESTRICCIONES*”, de las cuales se obtienen los “*TIEMPOS PESIMISTA*”; y por último en la columna $P(50\%)$ o $P(75\%)$, se tienen los tiempos reducidos entre el 50% al 75% del tiempo pesimista, con los cuales se volverá a programar obteniéndose como resultado la programación aplicando la teoría del Método de la Cadena Crítica.

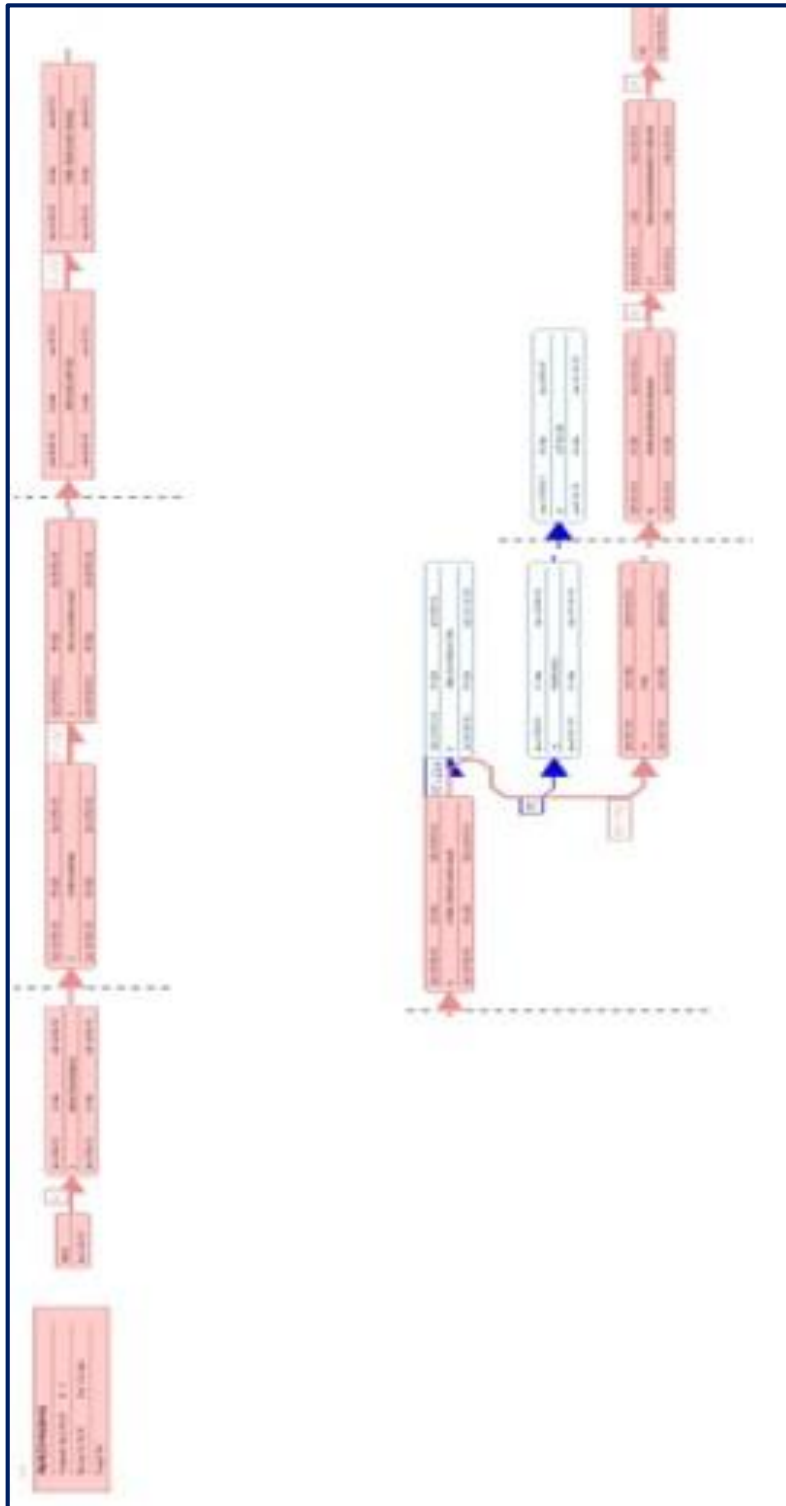
Para tomar la decisión de reducir el 50%, el 75% u otro porcentaje conservador del tiempo pesimista, se tendrá el criterio del Ingeniero; es recomendable que, a las actividades gruesas, llamándose de esta manera a las actividades donde se tienen vaciados de concreto, preferentemente masivo se opte por reducir el 75% del tiempo pesimista y a las otras actividades el 50% según la teoría de la metodología de la Cadena Crítica.

4.6.3 Diagrama red (CCPM) – Programación tarde

En la Figura 109 se aprecia un esquema del Diagrama de Red, de la programación tardía, aplicando la metodología de la Cadena Crítica, para ver el cuadro completo ver en el Anexo 14.

Figura 107

Diagrama RED de la Programación con CCPM



Se tiene como representación en las barras celestes las programaciones tanto de CPM y CCPM; mientras que la de color azul, representa el acumulado de los buffers de los recursos y la de color rojo el buffer del proyecto.

Figura 109

Esquema Comparativo Cuantitativo CPM vs CCPM



El porcentaje de duración en días entre CCPM y CPM representa un: $123/178 \times 100\% = 69\%$ aproximadamente.

El buffer del proyecto equivale: $(28/09/2021 - 20/09/2021) = 8 \times 50\% = 4$ días.

El Project buffer de 6 días equivale a: $6/178 \times 100\% = 4\%$ aproximadamente (3.37) del tiempo original; es decir, como se puede observar en la etapa de construcción por la metodología CCPM corresponde a un 69% de la duración utilizando la metodología de CPM y si a esto le sumamos el Resource buffer o Buffer de recurso de $(172 - 123) = 49$ días, que referente a CPM sería de $49/178 \times 100\% = 27\%$ aprox. (27.52%) de la duración original; suponiendo que se consumiesen todos los buffers, se tendría aún una reducción en tiempo del 4% respecto la programación por el método de CPM.

Este porcentaje de (4%), viéndolo desde el punto económico representaría a la postre en un modesto redito para la empresa en este caso.

En resumen, se tiene los siguientes valores:

Duración con CPM = 178 días.

Duración con CCPM = 123 días.

Duración de Buffers Recursos = 49 días.

Duración de Buffers de Proyecto = 6 días.

Duración de CCPM incluyendo buffer de recurso = 172 días.

$69\%(123 \text{ días}) + 27\%(49 \text{ días}) + 4\%(6 \text{ días}) = 100\%$.

Teóricamente el proyecto aplicando la metodología de la cadena crítica debería durar los 123 días, sin embargo, la metodología según la TOC nos establece 49 días de Buffer de Recurso que se inserta en la cadena crítica por tener actividades con uso de recursos en común y aun así si se consumiese dichos buffers, se tiene un buffer de proyecto de 4 días más.

El cálculo de los **buffers de recurso** en los puntos de la cadena crítica fueron tres, cuya obtención de tiempos se describe:

Siempre se tomará en cuenta la diferencia de fechas de la programación pesimista (CPM) menos la programación con la metodología de la cadena crítica (CCPM) dividido entre 2.

- Final de la red de alcantarillado: (26 de abril – 13 de abril) = 12 días útiles

$$12 / 2 = 6 \text{ Días BUFFER-1 (RECURSO)}$$

- Final de las conexiones domiciliarias de desagüe: (07 de julio – 28 de mayo) = 35 días útiles

$$35 / 2 = 18 \text{ Días BUFFER-2 (RECURSO)}$$

- Final de las conexiones domiciliarias de agua: (11 de agosto – 21 de junio) = 43 días útiles

$$43 / 2 = 22 \text{ Días BUFFER-3 (RECURSO)}$$

- Final de los procesos: (28 de septiembre – 20 de septiembre) = 8 días útiles

$$8 / 2 = 4 \text{ Días BUFFER de PROYECTO}$$

Al definir los tiempos pesimistas que resultan de sumar el tiempo producto del obtenido de tomar en cuenta los rendimientos del análisis de costos unitarios del expediente técnico con los metrados del mismo, más el tiempo obtenido del análisis de las restricciones; según la metodología de la Cadena Crítica, se debe tomar en cuenta el 50% de estos tiempos de cada cadena especializada, sin embargo, a varias actividades se está tomando en cuenta entre el 60% al 75% del tiempo pesimista, procurando ser conservador; motivo por el cual los porcentajes de disminución del tiempo total son bajos, pudiendo haber sido mejores.

Complementariamente a las programaciones con el software de MSP, se realizó la programación en Excel, ver los Anexos 16, 17 y 18; de los tiempos pesimistas, tiempos reducidos al (50%) e inclusión de buffers (amortiguadores) respectivamente.

El aporte de esta tesis está enfocado básicamente en la utilización de la metodología que se basa en la Teoría de Restricciones como solución al problema de la optimización de la producción y enfocar soluciones a los problemas críticos de las organizaciones para que éstas se acerquen a su meta mediante un proceso de mejora continua.

CONCLUSIONES

1. Con la metodología de la Cadena Crítica, cumplimos con la hipótesis, que es mejorar la gestión de los procesos constructivos, su productividad, reducimos costos de operación, se mejoró la rentabilidad y se redujo el tiempo de ejecución.
2. Luego de elaborar la programación aplicando la Metodología de la Cadena Crítica, se concluye que se logró disminuir el tiempo esperado, tomando en cuenta los criterios que establece la metodología expuesta, se justifica con los resultados obtenidos, programación con CCPM se obtuvo 123 días, más 49 días de Buffer de recurso y si aún se acabasen estos dos tiempos se tiene 6 días más que equivaldrían a 178 días obtenidos con el Método de CPM; con los resultados obtenidos, no cabe duda que es mejor la alternativas de gestión, satisfaciendo con creces los objetivos de la presente tesis.
3. Al realizar la programación con la Metodología de CPM (Ruta Crítica) se obtuvieron 178 días, luego de elaborar el Ciclograma, donde usando el análisis de costos unitarios, el metrado obtenido de las especificaciones técnicas y cuantificando las unidades de producción para cada cadena especializada, se obtuvo una programación promedio, ésta programación obedece a una secuencia lógica de actividades teniendo cuidado en elegir la cadena sucesora, obteniéndose la ruta crítica para de esa manera priorizar con las actividades que impliquen superar dichos conflictos.
4. Para la utilización de la teoría de la cadena crítica, se usó primero la programación promedio del CPM, luego para que sea más realista la programación, se realiza un análisis de las diferentes modalidades de restricciones, tema que se desarrolló en la tesis, ya que generalmente no se toma en cuenta estos tiempos perdidos a la hora de programar; para finalmente tener un proyecto con tiempos de ejecución más real; es con este tiempo que se usa la teoría de la cadena crítica, que consiste en quitarle el 50% de la holgura propia de cada cadena especializada, para pasarla al final de la programación y proteger al proyecto como un todo, mas no a la cadena.
5. Al realizar el análisis comparativo entre las metodologías en confrontación; se hace énfasis en el cálculo fundamental de los Buffers, tanto de recursos, de alimentación o de Proyecto.

RECOMENDACIONES

Si bien es cierto que, en los últimos 60 años, se viene utilizando aún la metodología de la ruta crítica (CPM), o incluso otras metodologías con mediano a regular éxito, es hoy en día reconfortante conocer de más y mejores experiencias de la utilización de la metodología de la Cadena Crítica para tener mejoras continuas en el desarrollo de la gestión de los mismos.

- Se recomienda a los estudiantes tomar en cuenta dicha metodología, puesto que se tienen buenos resultados, dado su forma tan fresca de enfocar la gestión de los recursos en un proyecto.
- Es indudable que, para que tenga mayor auge en el ámbito peruano, debemos empezar por el cambio fundamental de cultura que se necesita para que salga adelante la industria de la construcción en nuestro país; implica un cambio en nuestra forma de enfoque de lo que es una obra; y no incrementar las estadísticas de tantos proyectos que no culminan a tiempo e incluso hasta multadas o usan más recursos de los previstos.
- Recomendamos generar mayor data para lograr estándares de su uso en el Perú, esto implica usar la metodología de la cadena crítica para exponer los resultados respectivos; o caso contrario revisar otras tesis con el uso de la misma metodología y usar los resultados obtenidos.
- Se recomienda un buen análisis de las restricciones, para realizar una mejor programación y ser más realista de la que se tiene con la metodología de la CPM.
- Se recomienda realizar un buen análisis del orden lógico de las cadenas especializadas, para obtener una buena precedencia lógica de las actividades.
- Se recomienda tener en cuenta que se tendrá mejores resultados los esfuerzos coordinados, mas no la suma de esfuerzos individuales.
- Se recomienda concebir a la competitividad en todos los campos y niveles de nuestra vida ya que esto constituye en el motor de la vida económica, convirtiéndose en algo indispensable para la mejora personal, así como empresarial.
- Se recomienda tener en cuenta que existe un factor que escapa a cualquier metodología, es el que mayor valor encierra, pero, a la vez, el que entraña un riesgo más difícil de controlar, **es el humano**.
- Se recomienda que en las empresas se gestione estrategias apropiadas de operaciones, vitales hoy en día en los ambientes globales del sistema.

BIBLIOGRAFÍAS

- Baltazar Silva, José Carlos (2012), *“Programa de cómputo para la programación de obras civiles por el método de construcción en cadena”*, Lima-Perú.
- Celis Zapata, Liliana Patricia (2013), *“Análisis de la política pública de agua potable y saneamiento básico para el sector rural de Colombia – periodo de gobierno 2010 – 2014”*, Bogotá, Colombia.
- Contraloría General de la Republica (2016). Visita de control a la ejecución de la obra Mejoramiento del servicio educativo de la institución educativa aplicación José Antonio Encinas localizado en el distrito, provincia de Tumbes-Región Tumbes. Recuperado de http://fweb.contraloria.gob.pe/Buscador/Informes/0/edoc/3819805/Informe_Control_573-2016-CG-CORETB-VC.pdf
- García Gutiérrez, Manuel Felipe (2014), *“Análisis de aplicabilidad y beneficios del método de la cadena crítica (CCPM) en proyectos de ingeniería y construcción”*, Santiago de Chile, Chile.
- Gonzales D, Simó P, Pérez S, Latoufe G. Cadena Crítica. Primera Edición. República Dominicana: Pearson Educación; 2012 https://issuu.com/alexmonterop/docs/libro_metodo_de_la_cadena_critica
- Iglesias Sánchez, José Luis (2005), *“Gestión de proyectos (III): Los buffers del proyecto”*. Partida doble, 167, 76–85.
- Magne Ayllon, Freddy Marlo (2008), *“Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizando el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I”*, Cochabamba, Bolivia.
- Pérez Pujols. N. J, Montero Polanco J.A, Tavarez Tatis R.R. Método de la Cadena Crítica. Primera Edición. Santo Domingo: INTEC;2012
- Ríos Segura, Juan Kiev (1975), Lima, Perú.
- Rojas Anaya, J. (2015), *“Metodología para la implementación del sistema Last Planner en un proyecto inmobiliario de habilitación urbana”*, Lima, Perú.
- Tucto Pinedo, Gladys Karol (2017), *“Metodología de aplicación de la filosofía Lean construction y last planner system en la región San Martín”*. San Martín, Perú.
- Vásquez Gonzales, D. (2017), *“Aplicación del método cadena crítica para la mejora en construcción de cimentaciones de torres auto soportadas – caso línea de transmisión 66 KV, en Sayán, Lima”*, Lima, Perú.

INFOGRAFIA

- [https://www.obsbusiness.school/blog/aplicacion-del-metodo-de-la-cadena-critica-y-resistencia-al-cambio.](https://www.obsbusiness.school/blog/aplicacion-del-metodo-de-la-cadena-critica-y-resistencia-al-cambio)
- <https://reynergonzalez.com/metodo-de-cadena-critica/>
- <https://www.monografias.com/trabajos-pdf4/cadena-critica-eliyahu-goldratt-aplicacion-practica/cadena-critica-eliyahu-goldratt-aplicacion-practica>

8°6'40,100 N

ÁREA I : CONSTRUCCIÓN DE BUZONES

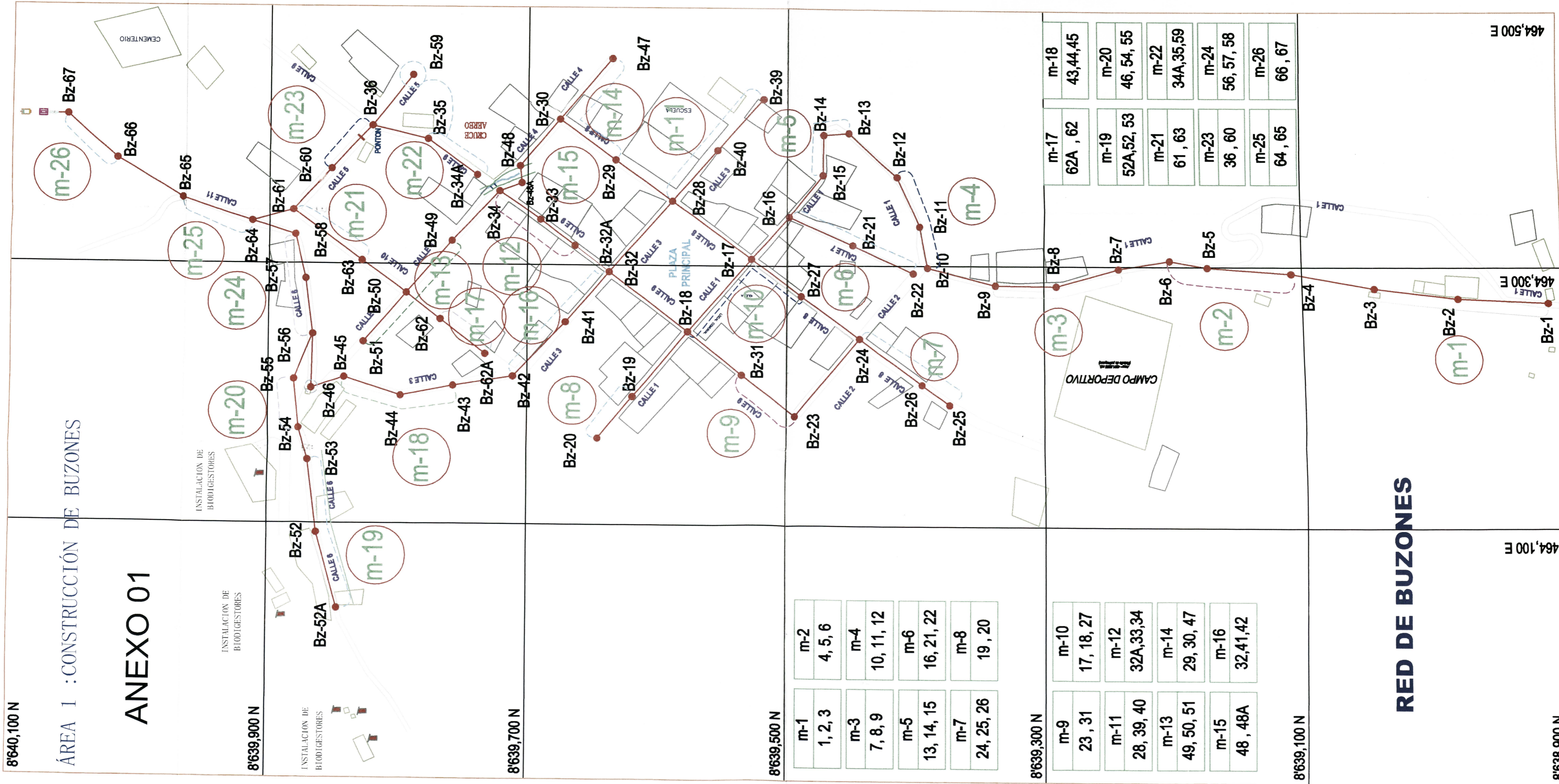
ANEXO 01

8°6'39,900 N

INSTALACION DE BIODIGESTORES

INSTALACION DE BIODIGESTORES

INSTALACION DE BIODIGESTORES



8°6'39,700 N

8°6'39,500 N

m-1	m-2
1, 2, 3	4, 5, 6
m-3	m-4
7, 8, 9	10, 11, 12
m-5	m-6
13, 14, 15	16, 21, 22
m-7	m-8
24, 25, 26	19, 20

8°6'39,300 N

m-9	m-10
23, 31	17, 18, 27
m-11	m-12
28, 39, 40	32A, 33, 34
m-13	m-14
49, 50, 51	29, 30, 47
m-15	m-16
48, 48A	32, 41, 42

8°6'39,100 N

RED DE BUZONES

8°6'38,900 N
464,100 E

m-17	m-18
62A, 62	43, 44, 45
m-19	m-20
52A, 52, 53	46, 54, 55
m-21	m-22
61, 63	34A, 35, 59
m-23	m-24
36, 60	56, 57, 58
m-25	m-26
64, 65	66, 67

464,300 E
464,500 E

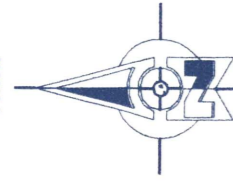
8'640,100 N

ÁREA 2 : RED COLECTORA DE ALCANTARILLADO

8'640,000 N

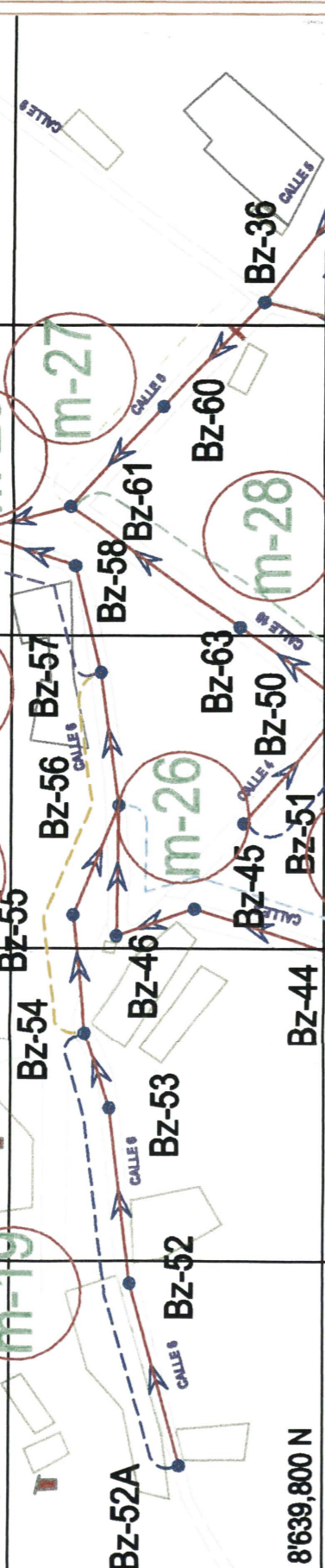
ANEXO 2

N.M.

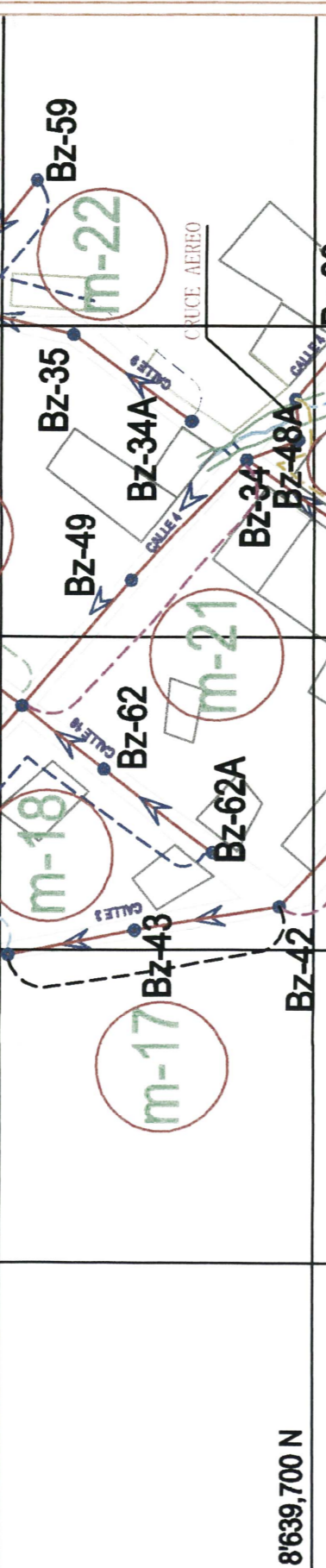


INSTALACION DE BIODIGESTORES

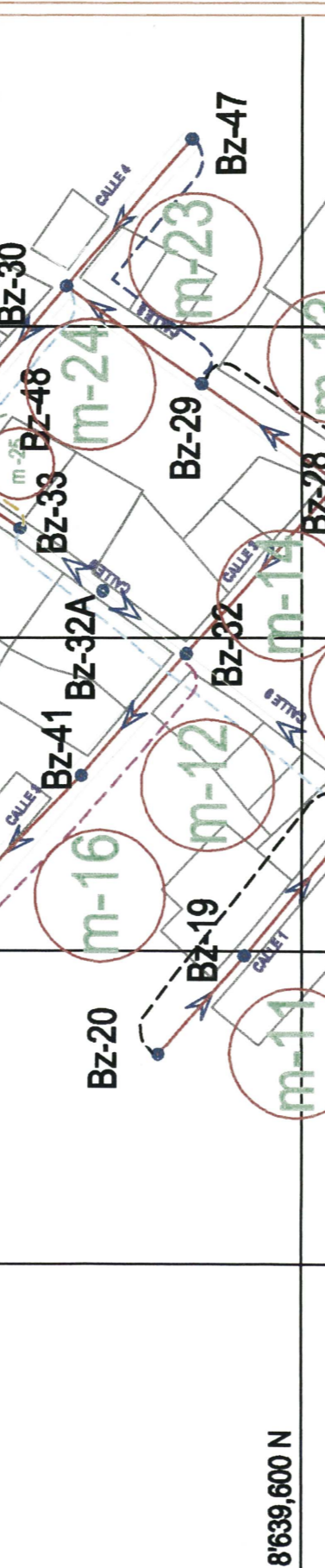
8'639,900 N



8'639,800 N



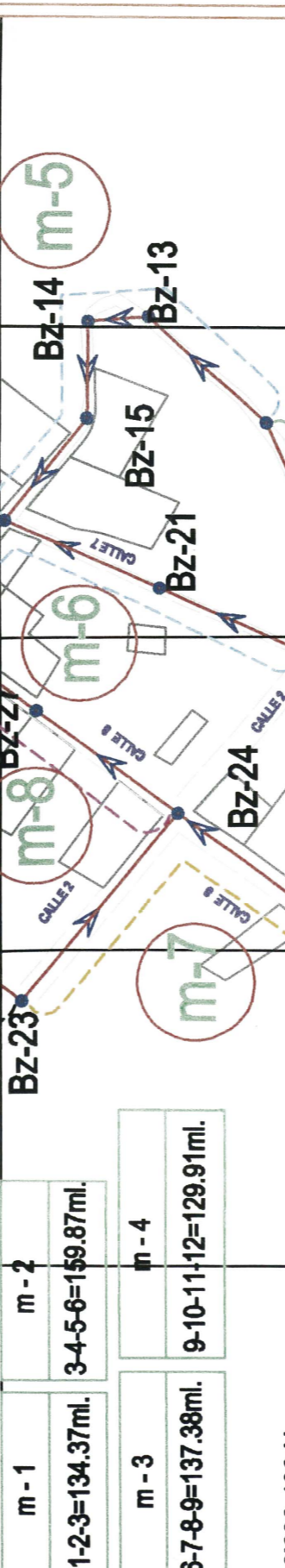
8'639,700 N



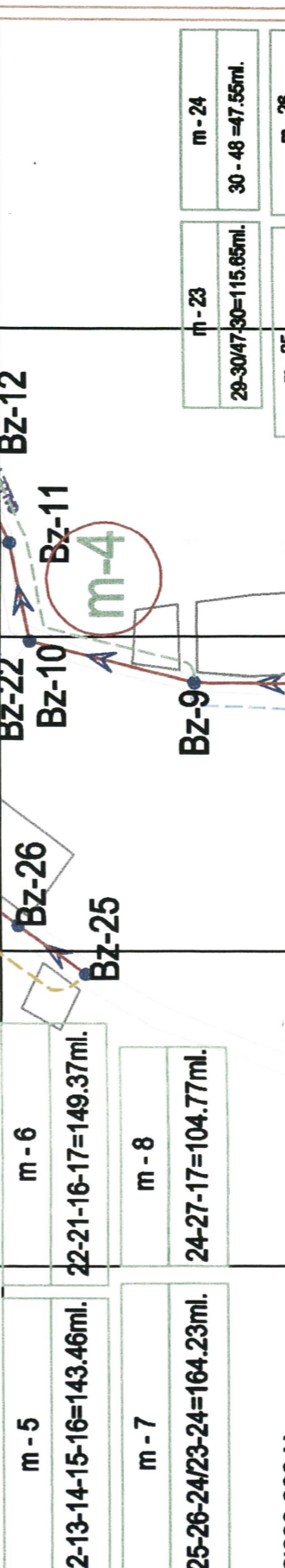
8'639,600 N



8'639,500 N



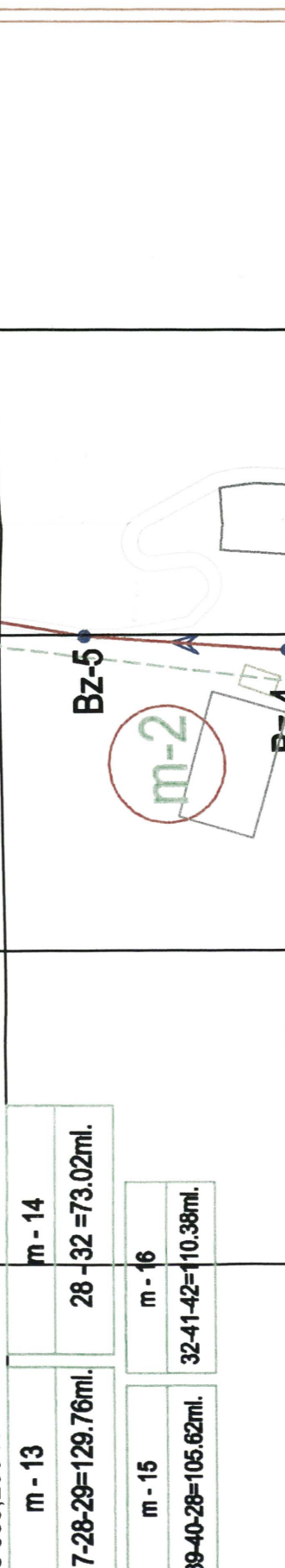
8'639,400 N



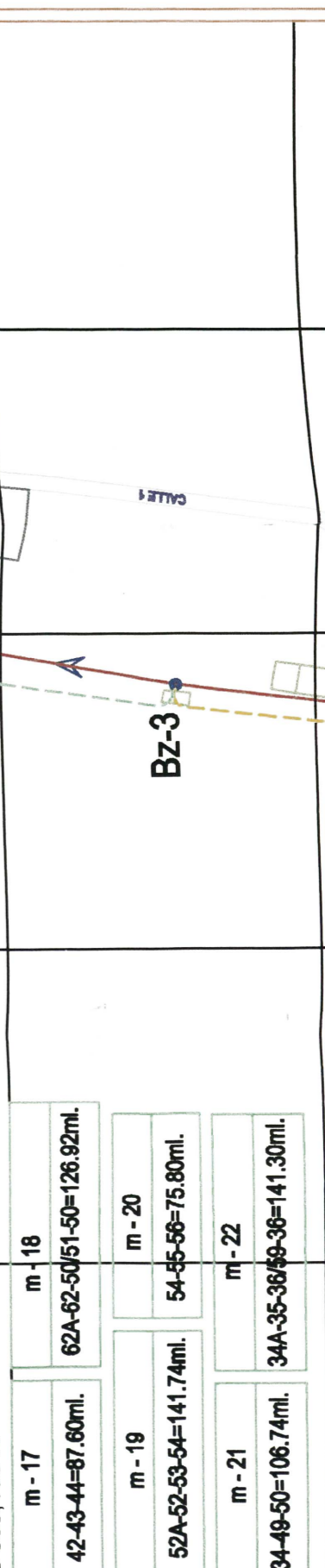
8'639,300 N



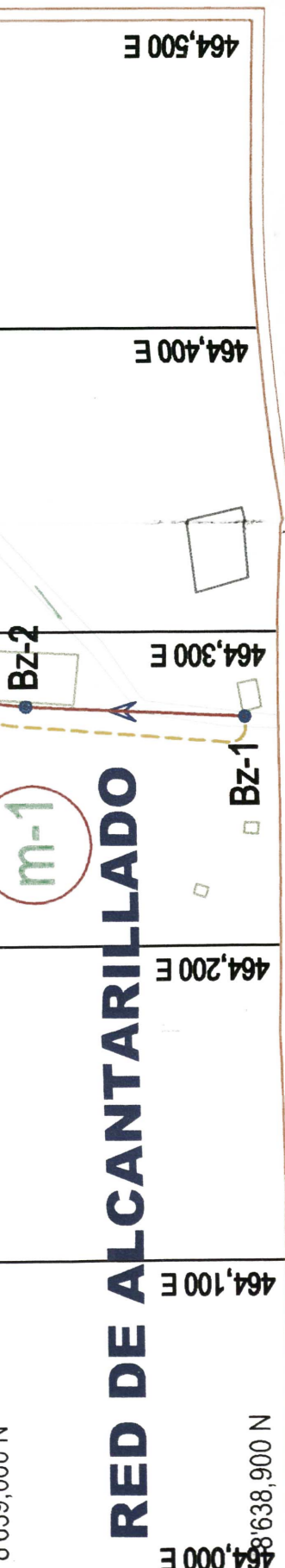
8'639,200 N



8'639,100 N



8'639,000 N



RED DE ALCANTARILLADO

8'638,900 N

464,100 E

464,200 E

464,300 E

464,400 E

464,500 E

m - 1	m - 2
1-2-3=134.37ml.	3-4-5-6=159.87ml.

m - 3	m - 4
6-7-8-9=137.38ml.	9-10-11-12=129.91ml.

m - 5	m - 6
12-13-14-15-16=143.46ml.	22-21-16-17=149.37ml.

m - 7	m - 8
25-26-24/23-24=164.23ml.	24-27-17=104.77ml.

m - 9	m - 10
23-31-18=105.49ml.	17-18=74.87ml.

m - 11	m - 12
20 - 19 - 18 =107.44ml.	18-32/32A-32/32A-33=143.07ml.

m - 13	m - 14
17-28-29=129.76ml.	28 - 32 =73.02ml.

m - 15	m - 16
39-40-28=105.62ml.	32-41-42=110.38ml.

m - 17	m - 18
42-43-44=87.60ml.	62A-62-50/51-50=126.92ml.

m - 19	m - 20
52A-52-53-54=141.74ml.	54-55-56=75.80ml.

m - 21	m - 22
34-48-50=106.74ml.	34A-35-36/36-36=141.30ml.

m - 23	m - 24
29-30/47-30=115.65ml.	30 - 48 =47.55ml.

m - 25	m - 26
48-48A-34/33-34=66.48ml.	44-45-46-56=114.36ml.

m - 27	m - 28
36-60-61=60.12ml.	50-63-61=109.01ml.

m - 29	m - 30
61 - 64 =32.70ml.	57-59-64-66=127.00ml.

m - 31
65-66-67=111.00ml.

E 464200

E 464300

E 464400

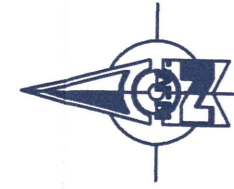
E 464500

E 464600

E 464700

ANEXO 4

N 8640300



N 8640200

m-1	m-2	m-3
1, 2, 3, 4	5, 6, 7, 10	11, 12, 104, 105

m-4	m-5	m-6
13, 14, 15, 93	16, 17, 18, 95	19, 20, 21, 22

N 8640100

m-7	m-8	m-9
64, 67, 68, 107	23, 24, 25, 28	29, 30, 91, 92

m-10	m-11	m-12
26, 27, 69, 102	61, 62, 63, 110	58, 59, 65, 66

N 8640000

m-13	m-14	m-15
32, 70, 71, 98	33, 96, 106, 125	57, 74, 75, 102

m-16	m-17	m-18
34, 35, 90, 126	36, 72, 116, 130	50, 100, 108, 109

N 8639900

m-19	m-20	m-21
60, 77, 78, 111	51, 56, 73, 97	49, 76, 79, 101

m-22	m-23	m-24
52, 54, 55, 99	38, 39, 86, 103	40, 53, 85, 117

N 8639800

m-25	m-26	m-27
84, 118, 123, 124	42, 43, 44, 119	45, 80, 81, 82

m-28	m-29	m-30
46, 47, 48, 122	41, 83, 120, 129	37, 87, 89, 115

N 8639700

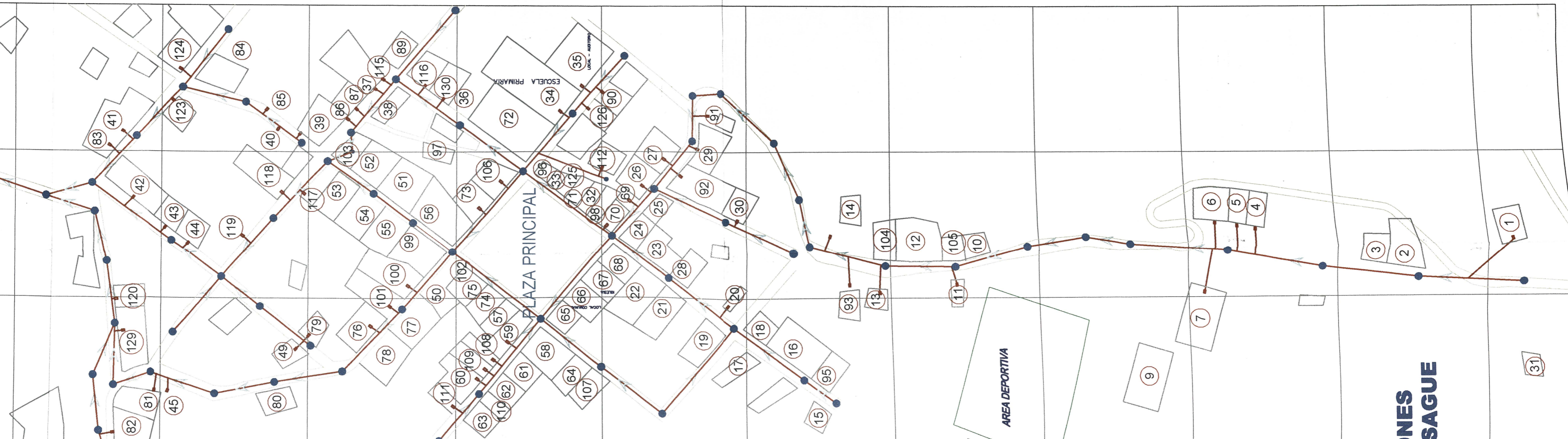
N 8639600

N 8639500

N 8639400

PLANO DE CONEXIONES DOMICILIARIAS DE DESAGUE

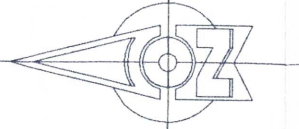
N 8639300



N 8640400

E 464200

N.M.



ANEXO 5

N 8640300

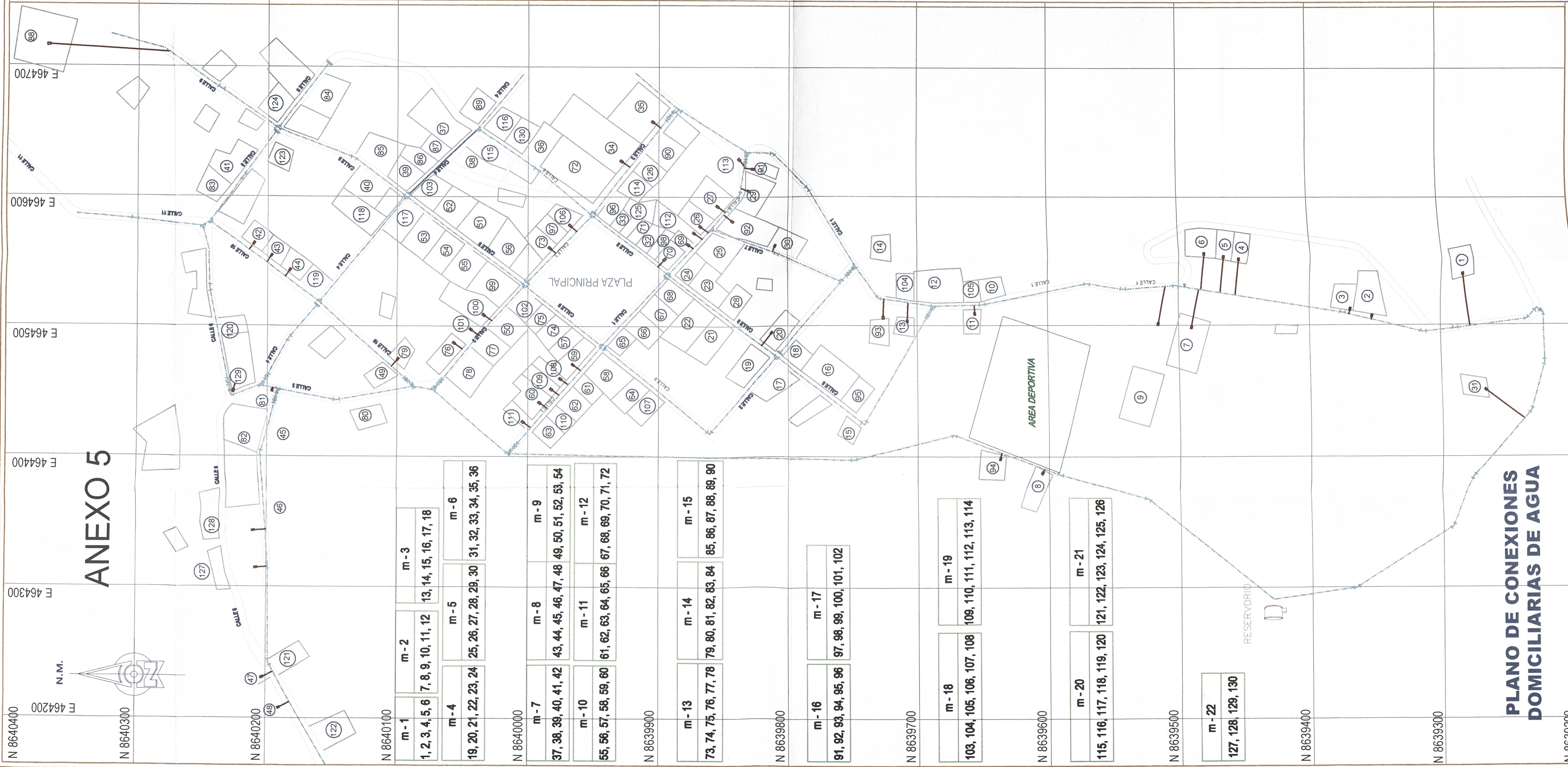
E 464300

E 464400

E 464500

E 464600

E 464700



N 8640200

CALLE 1

127

128

CALLE 2

45

CALLE 3

82

81

CALLE 4

129

CALLE 5

120

CALLE 6

124

CALLE 7

N 8640100

m - 1	m - 2	m - 3
1, 2, 3, 4, 5, 6	7, 8, 9, 10, 11, 12	13, 14, 15, 16, 17, 18
m - 4	m - 5	m - 6
19, 20, 21, 22, 23, 24	25, 26, 27, 28, 29, 30	31, 32, 33, 34, 35, 36

N 8640000

m - 7	m - 8	m - 9
37, 38, 39, 40, 41, 42	43, 44, 45, 46, 47, 48	49, 50, 51, 52, 53, 54
m - 10	m - 11	m - 12
55, 56, 57, 58, 59, 60	61, 62, 63, 64, 65, 66	67, 68, 69, 70, 71, 72

N 8639900

m - 13	m - 14	m - 15
73, 74, 75, 76, 77, 78	79, 80, 81, 82, 83, 84	85, 86, 87, 88, 89, 90

N 8639800

m - 16	m - 17
91, 92, 93, 94, 95, 96	97, 98, 99, 100, 101, 102

N 8639700

m - 18	m - 19
103, 104, 105, 106, 107, 108	109, 110, 111, 112, 113, 114

N 8639600

m - 20	m - 21
115, 116, 117, 118, 119, 120	121, 122, 123, 124, 125, 126

N 8639500

m - 22
127, 128, 129, 130

RESERVORIO

N 8639400

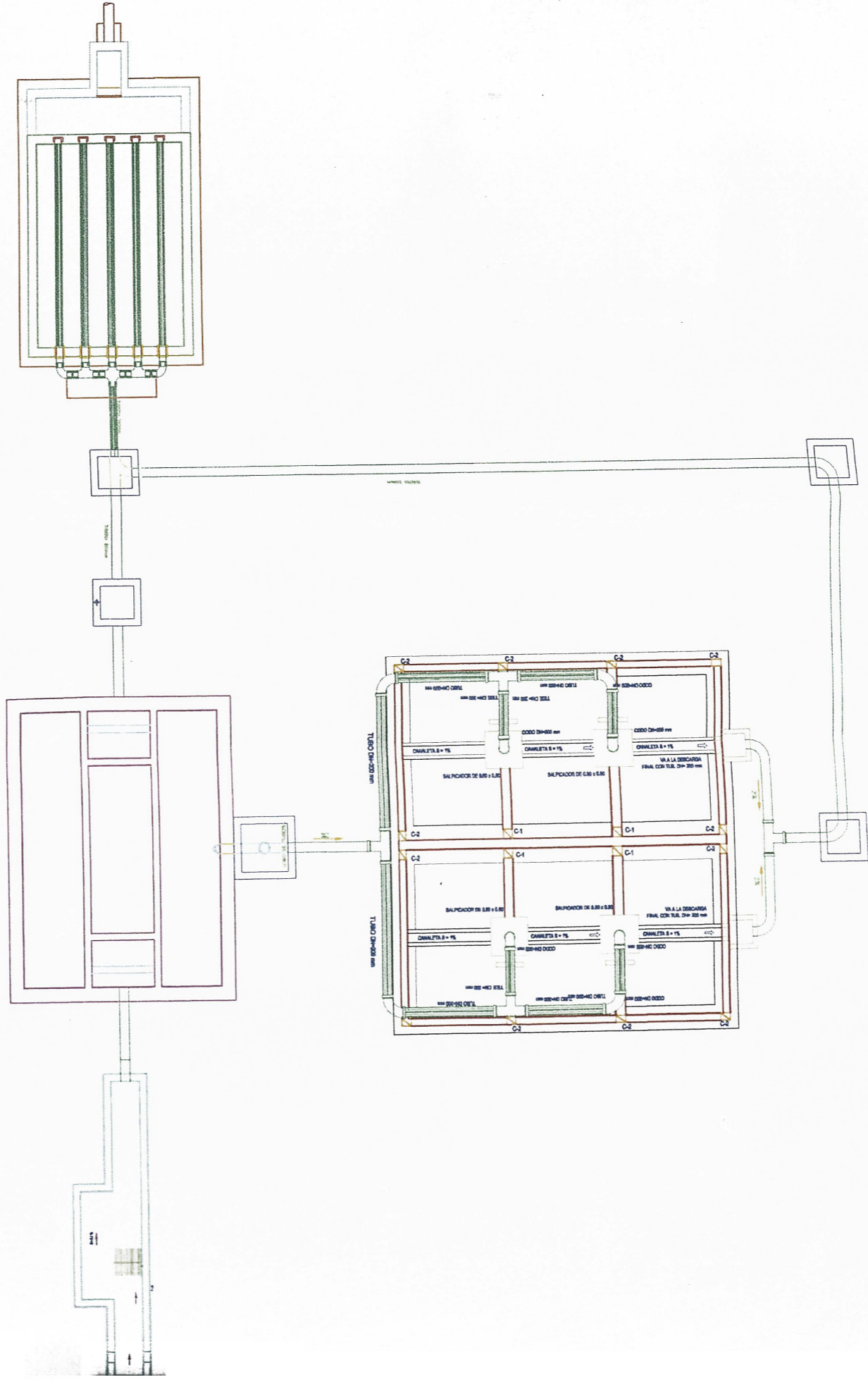
N 8639300

PLANO DE CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA

N 8639200

ANEXO 6

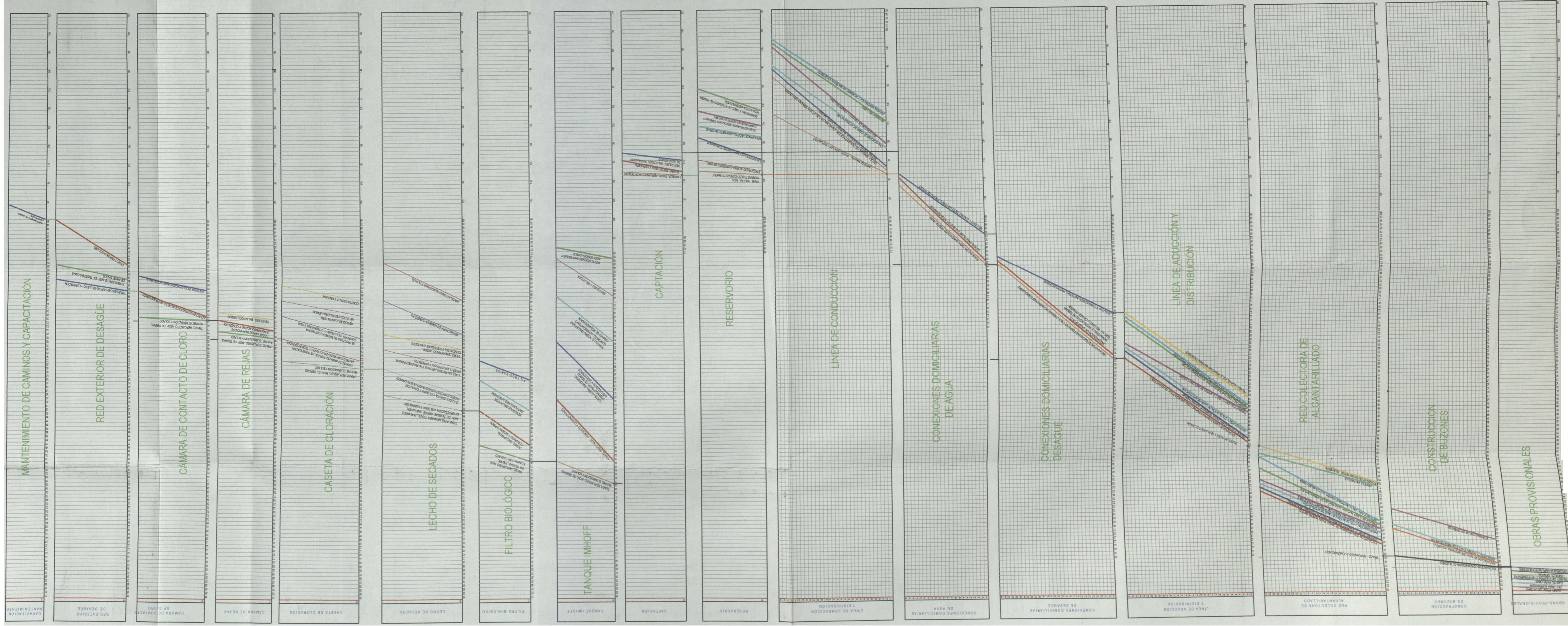
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)



ANEXO 7

NORMAL TECNOLÓGICA DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN	
Item	DESCRIPCIÓN
01.00	OBRAS PROVISIONALES- PRELIMINARES
01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL PARA LA OBRA
01.02	OFICINA PARA EL SUPERVISOR
01.03	CARTEL PARA OBRA
01.04	TRANSPORTE DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS
01.05	LIMPIEZA GENERAL
01.06	TOPOGRAFIA-REPLANTEO-BUZONES
02.00	CONSTRUCCIÓN DE BUZONES
02.01	EXCAVACION MANUAL DE BUZONES, SOLADO 4"
02.02	ACERO Y CONCRETO EN PISO
02.03	ENCOFRADO, VACIADO DE CUERPO DE BUZON ESTÁNDAR
02.04	DESENCOFRADO DE CUERPO Y ENCOFRADO DE LOSA, ACERO, CONCRETO EN LOSAS, PULIDO Y DESENCOFRADO
03.00	RED COLECTORA DE ALCANTARILLADO
03.01	TRAZO-REPLANTEO-ALCANTARILLADO
03.02	EXCAVACIÓN C/MAQUINARIA DE ZANJA PARA TUBERÍA DN=200
03.03	REFINE, NIVEL Y FONDOS P/TUBERÍAS PVC EN TERRENO C/BOLONERIAS
03.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.
03.05	SUMINISTRO DE TUBERÍAS-DADOS DE CONCRETO EN BUZONES
03.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m
03.07	SEGUNDO RELLENO C/MATERIAL PROPIO A=0.70m @ 0.30m ZANJA
03.08	PRUEBA HIDRÁULICA
03.09	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE
04.00	LINEA DE ADUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN
04.01	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO DE ZANJAS
04.02	EXCAVACIÓN C/MAQUINARIA TERRENO C/BOLONERÍA P/TUB. DE AGUA POTABLE
04.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS
04.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.
04.05	TUBERÍA PVC SAP CLASE 7.5 NORMA ISO 4422 DN=25 Y 40mm
04.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m
04.07	SEGUNDO RELLENO MATERIAL PROPIO A=0.70M @ 0.30 m HASTA 0.45m
04.08	PRUEBA HIDRÁULICA-ELIMINACIÓN MATERIAL EXCEDENTE
05.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE DESAGUE
05.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINAS) TERRENO C/BOLONERÍAS P/CONEXIONES DOMICILIARIAS
05.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DN 160mm ISO 4435 S-20, L=6.00
05.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS
06.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA
06.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINARIA) TERRENO NORMAL P/TUB. DE AGUA POTABLE HASTA 1.20m
06.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA ESTÁNDAR
06.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS
07.00	LINEA DE CONDUCCIÓN
07.01	LIMPIEZA MANUAL, TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO
07.02	EXCAV. MANUAL DE ZNAJAS PARA TUB. DN=40mm, H=1.20 a 1.50m TERRENO C/BOLONERIA
07.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS
07.04	COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=0.10m
07.05	COLOCACIÓN DE TUBERÍA Y PRIMER RELLENO
07.06	SEGUNDO RELLENO
07.07	PRUEBA HIDRÁULICA Y ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE
08.00	CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIO
08.01	TRAB. PRELIMI.-MOV. TIERRAS-TRAZO-CONCRETO SIMPLE
08.02	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN PISO
08.03	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN MUROS
08.04	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN TECHO
08.05	DESENCOFRADO REVOQUES-TARRAJEO C/IMPERMEABILIZANTE-PINTURA
08.06	SUMINISTRO E INST. DE ACCESORIOS-PRUEBA HIDRÁULICA-DESINFECCIÓN
09.00	CAPTACIÓN
09.01	LIMPIEZA, TRAZO, NIVELACIÓN, MOV. DE TIERRAS
09.02	ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO
09.03	REVOQUES, ENLUCIDOS, INSTALACIÓN DE ACCESORIOS
10.00	TANQUE IMHOFF
10.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
10.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DESENCOFRADO
10.03	LOSAS, ACERO, ENCOFRADO, DESENCOFRADO DE MUROS REFORZADOS Y VERTEDEROS
10.04	PANTALLA, ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO, DESENCOFRADO, CAMARA DE SEDIMENTACIÓN
10.05	REVOQUES Y ENLUCIDOS
10.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y ACCESORIOS-VARIOS
11.00	FILTRO BIOLÓGICO
11.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
11.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DESENCOFRADO
11.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-INSTALACIONES SANITARIAS
11.04	FILTROS - VARIOS
12.00	LECHO DE SECADOS
12.01	TRAB.-PRELIMINARES, TRAZO, REPLANTEO, REFINE, NIVELACIÓN, COMPACTACIÓN, RELLENO Y ELIMINACIÓN
12.02	SOLADO, ZAPATA, COLUMNA. Y CANALETAS(ACERO,CONCRETO,ENCOFRADO-DESENCOFRADO)
12.03	LOSA SALPICADO-APOYOS Y MUROS REFORZADOS (ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO)
12.04	VIGAS (ENCOFRADO, ACERO, CONCRETO) Y REVOQUES-ENLUCIDOS
12.05	ESTRUCTURA DE MADERA-COBERTURA
12.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y FILTROS
13.00	CASETA DE CLORACIÓN
13.01	TRAZO, REPLANTEO MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
13.02	CONCRETO ARMADO-TANQUE DE DOSIFICACIÓN (ACERO-CONCRETO-ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)
13.03	ESTRUCTURA DE MADERA(LISTONERÍA, CORREAS-CIELO RASO Y COBERTURA) Y PISO
13.04	REVOQUES-CARPINTERIA METALICA-CERRAJERIA-VIDRIOS
13.05	CONTRAZÓCALO Y PINTURA
14.00	CAMARA DE REJAS
14.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
14.02	LOSAS-MUROS REFORZADOS(ENCOFRADO-ACERO Y CONCRETO)
14.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-VARIOS
15.00	CAMARA DE CONTACTO DE CLORO
15.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO
15.02	ACERO-ENCOFRADO-CONCRETO-REVOQUE-VARIOS
15.03	SISTEMA DE CLORACIÓN-INSTALACIÓN DE ACCESORIOS
16.00	RED-EXTERIOR-RED DE EMISOR
16.01	TRAZO, EXCAV.-REFINE-RELLENO Y ELIMINACIÓN
16.02	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍAS-CAJA DE PASE-DADOS
16.03	CERCO PERIMETRICO-UBS.
17.00	MANTENIMIENTO DE CARRETERA-CONCIERTIZACIÓN
17.01	MANTENIMIENTO DE CAMINOS - CAPACITACIÓN

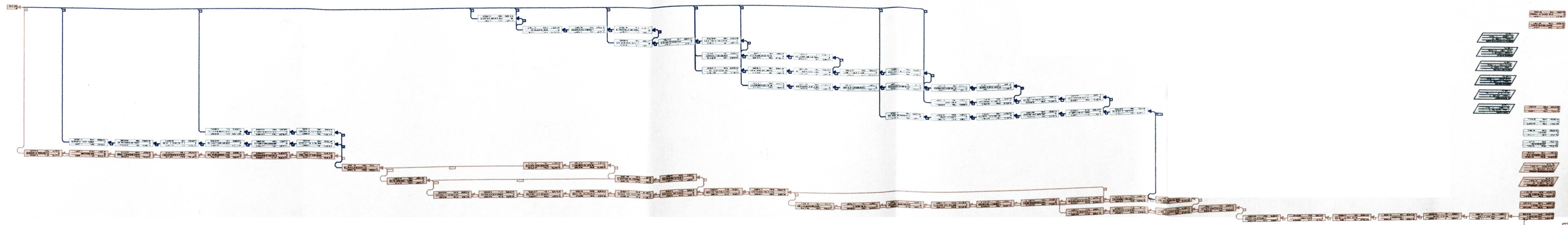
ANEXO 8



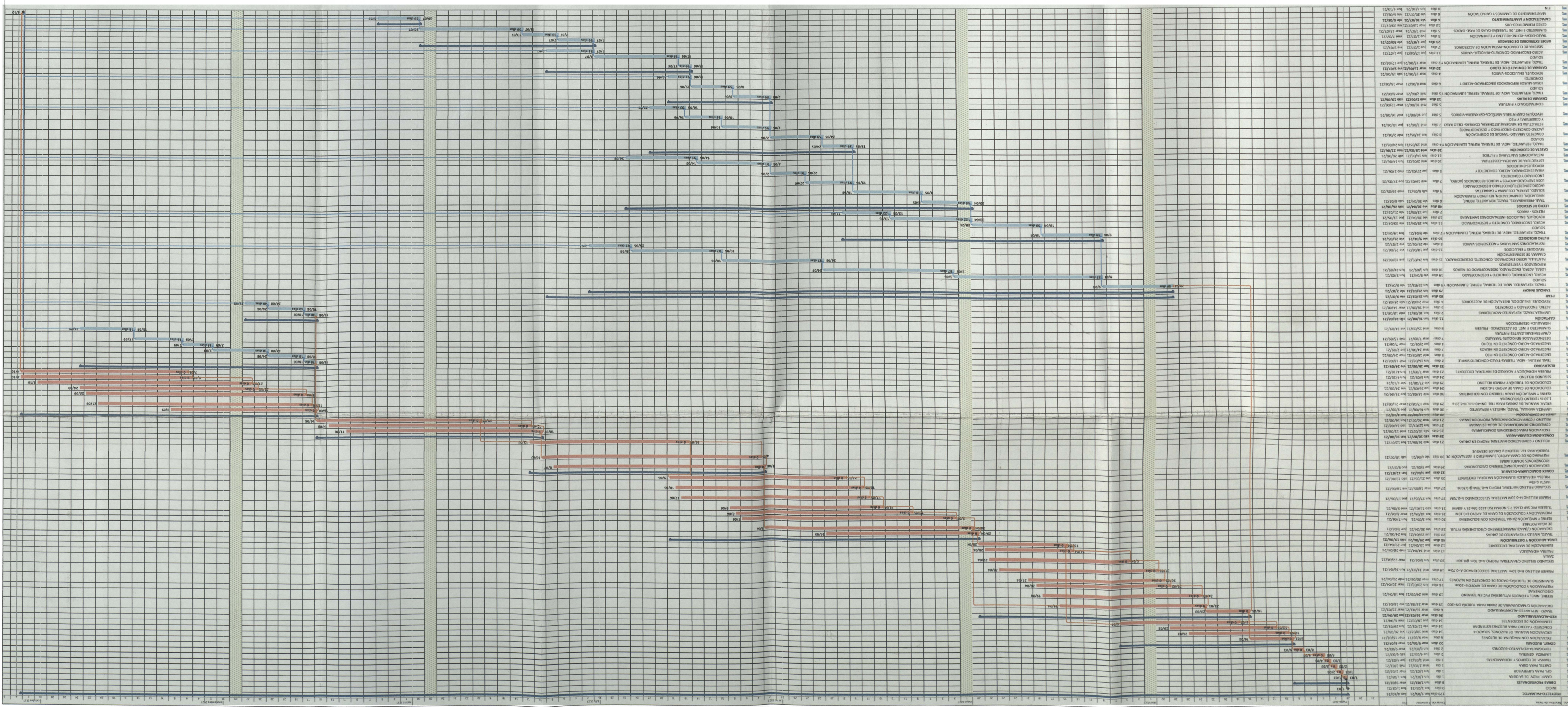
ANEXO 9

NORMAL TECNOLÓGICA DE LA UNIDAD DE PRODUCCIÓN		
Item	DESCRIPCIÓN	TIEMPO
01.00	OBRAS PROVISIONALES-PRELIMINARES	
01.01	CAMPAMENTO PROVISIONAL PARA LA OBRA	1
01.02	OFICINA PARA EL SUPERVISOR	1
01.03	CARTEL PARA OBRA	1
01.04	TRANSPORTE DE EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	1
01.05	LIMPIEZA GENERAL	1
01.06	TOPOGRAFIA-REPLANTEO-BUZONES	1
02.00	CONSTRUCCIÓN DE BUZONES	
02.01	EXCAVACION MANUAL DE BUZONES, SOLADO 4"	3
02.02	ACERO Y CONCRETO EN PISO	9
02.03	ENCOFRADO, VACIADO DE CUERPO DE BUZON ESTÁNDAR	9
02.04	DESENCOFRADO DE CUERPO Y ENCOFRADO DE LOSA, ACERO, CONCRETO EN LOSAS, PULIDO Y DESENCOFRADO	8
03.00	RED COLECTORA DE ALCANTARILLADO	
03.01	TRAZO-REPLANTEO-ALCANTARILLADO	3
03.02	EXCAVACIÓN C/MAQUINARIA DE ZANJA PARA TUBERÍA DN=200	14
03.03	REFINE, NIVEL Y FONDOS P/TUBERÍAS PVC EN TERRENO C/BOLONERIAS	14
03.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.	13
03.05	SUMINISTRO DE TUBERÍAS-DADOS DE CONCRETO EN BUZONES	13
03.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m	15
03.07	SEGUNDO RELLENO C/MATERIAL PROPIO A=0.70m @ 0.30m ZANJA	17
03.08	PRUEBA HIDRÁULICA	9
03.09	ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE	10
04.00	LINEA DE ADUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN	
04.01	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO DE ZANJAS	14
04.02	EXCAVACIÓN C/MAQUINARIA TERRENO C/BOLONERÍA P/TUB. DE AGUA POTABLE	23
04.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS	24
04.04	PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=10cm.	23
04.05	TUBERÍA PVC SAP CLASE 7.5 NORMA ISO 4422 DN=25 Y 40mm	19
04.06	PRIMER RELLENO H=0.30m MATERIAL SELECCIONADO A=0.70m	24
04.07	SEGUNDO RELLENO MATERIAL PROPIO A=0.70M @ 0.30 m HASTA 0.45m	24
04.08	PRUEBA HIDRAULICA-ELIMINACIÓN MATERIAL EXCEDENTE	23
05.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE DESAGÜE	
05.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINAS) TERRENO C/BOLONERIAS P/CONEXIONES DOMICILIARIAS	25
05.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DN 160mm ISO 4435 S-20, L=6.00	25
05.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS	15
06.00	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA	
06.01	EXCAVACIÓN C/(MAQUINARIA) TERRENO NORMAL P/TUB. DE AGUA POTABLE HASTA 1.20m	21
06.02	CONEXIONES DOMICILIARIAS DE AGUA ESTANDAR	22
06.03	RELLENO Y COMPACTADO MATERIAL PROPIO EN ZANJAS	16
07.00	LINEA DE CONDUCCIÓN	
07.01	LIMPIEZA MANUAL, TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO	16
07.02	EXCAV. MANUAL DE ZANJAS PARA TUB. DN=40mm, H=1.20 a 1.50m TERRENO C/BOLONERIA	25
07.03	REFINE Y NIVELACIÓN ZANJA TERRENOS CON BOLONERIAS	26
07.04	COLOCACIÓN DE CAMA DE APOYO E=0.10m	22
07.05	COLOCACIÓN DE TUBERÍA Y PRIMER RELLENO	26
07.06	SEGUNDO RELLENO	21
07.07	PRUEBA HIDRÁULICA Y ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE	20
08.00	CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIO	
08.01	TRAB. PRELIM.-MOV. TIERRAS-TRAZO-CONCRETO SIMPLE	1
08.02	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN PISO	3
08.03	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN MUROS	6
08.04	ENCOFRADO-ACERO-CONCRETO EN TECHO	3
08.05	DESENCOFRADO REVOQUES-TARRAJEO C/IMPERMEABILIZANTE-PINTURA	4
08.06	SUMINISTRO E INST. DE ACCESORIOS-PRUEBA HIDRÁULICA-DESINFECCIÓN	6
09.00	CAPTACIÓN	
09.01	LIMPIEZA, TRAZO, NIVELACIÓN, MOV. DE TIERRAS	1
09.02	ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO	3
09.03	REVOQUES, ENLUCIDOS, INSTALACIÓN DE ACCESORIOS	2
10.00	TANQUE IMHOFF	
10.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	6
10.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DESENCOFRADO	16
10.03	LOSAS, ACERO, ENCOFRADO, DESENCOFRADO DE MUROS REFORZADOS Y VERTEDEROS	15
10.04	PANTALLA, ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO, DESENCOFRADO, CAMARA DE SEDIMENTACIÓN	12
10.05	REVOQUES Y ENLUCIDOS	10
10.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y ACCESORIOS-VARIOS	3
11.00	FILTRO BIOLÓGICO	
11.01	TRAZO, REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	4
11.02	ACERO, ENCOFRADO, CONCRETO Y DESENCOFRADO	9
11.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-INSTALACIONES SANITARIAS	8
11.04	FILTROS - VARIOS	5
12.00	LECHO DE SECADOS	
12.01	TRAB.-PRELIMINARES, TRAZO, REPLANTEO, REFINE, NIVELACIÓN, COMPACTACIÓN, RELLENO Y ELIMINACIÓN	4
12.02	SOLADO, ZAPATA, COLUMNA. Y CANALETAS(ACERO,CONCRETO,ENCOFRADO-DESENCOFRADO)	7
12.03	LOSA SALPICADO-APOYOS Y MUROS REFORZADOS (ACERO, ENCOFRADO Y CONCRETO)	5
12.04	VIGAS (ENCOFRADO, ACERO, CONCRETO) Y REVOQUES-ENLUCIDOS	4
12.05	ESTRUCTURA DE MADERA-COBERTURA	9
12.06	INSTALACIONES SANITARIAS Y FILTROS	10
13.00	CASETA DE CLORACIÓN	
13.01	TRAZO, REPLANTEO MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	2
13.02	CONCRETO ARMADO-TANQUE DE DOSIFICACIÓN (ACERO-CONCRETO-ENCOFRADO Y DESENCOFRADO)	6
13.03	ESTRUCTURA DE MADERA(LISTONERÍA, CORREAS-CIELO RASO Y COBERTURA) Y PISO	6
13.04	REVOQUES-CARPINTERIA METALICA-CERRAJERIA-VIDRIOS	4
13.05	CONTRAZÓCALO Y PINTURA	4
14.00	CAMARA DE REJAS	
14.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	2
14.02	LOSAS-MUROS REFORZADOS(ENCOFRADO-ACERO Y CONCRETO)	3
14.03	REVOQUES, ENLUCIDOS-VARIOS	2
15.00	CAMARA DE CONTACTO DE CLORO	
15.01	TRAZO-REPLANTEO, MOV. DE TIERRAS, REFINE, ELIMINACIÓN Y SOLADO	1
15.02	ACERO-ENCOFRADO-CONCRETO-REVOQUE-VARIOS	7
15.03	SISTEMA DE CLORACIÓN-INSTALACIÓN DE ACCESORIOS	4
16.00	RED-EXTERIOR-RED DE EMISOR	
16.01	TRAZO, EXCAV.-REFINE-RELLENO Y ELIMINACIÓN	3
16.02	SUMINISTRO E INST. DE TUBERÍAS-CAJA DE PASE-DADOS	4
16.03	CERCO PERIMETRICO-UBS.	12
17.00	MANTENIMIENTO DE CARRETERA-CONCIERTIZACIÓN	
17.01	MANTENIMIENTO DE CAMINOS - CAPACITACIÓN	4

ANEXO 10



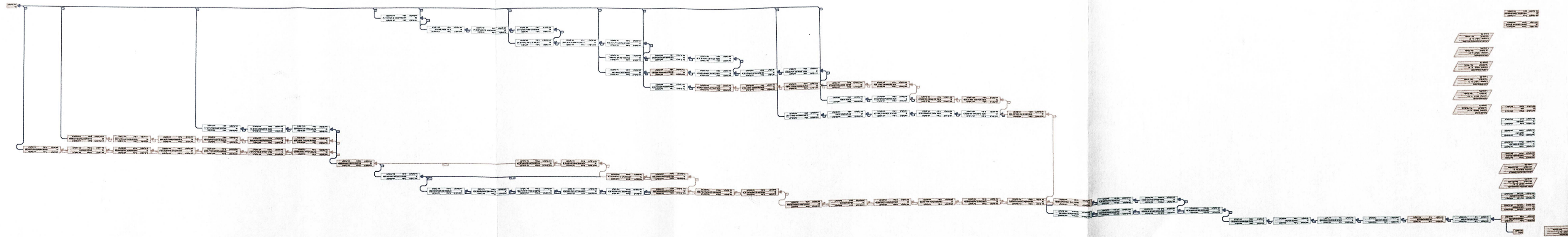
ANEXO 11



GLOSARIO

Seguridad	
1,1	TERRENO C/BOLONERIA
1,2	TERRENO INESTABLE
1,3	TERRENO CON MUCHA PENDIENTE
1,4	TERRENO CON FILTRACIONES
Medio Ambiente	
2,1	RESTOS ARQUEOLOGICOS
2,2	RESTRICCIÓN DE ESPACIOS
2,3	ESPACIOS CONFINADOS
Entorno Social	
3,1	MURO POR DEMOLER
3,2	DESINFORMACIÓN TÉCNICA
3,3	SALUD-TRABAJADOR
Calidad	
4,1	MATERIALES DEFICIENTES/FALLADOS
4,2	CEMENTO FRIO
4,3	MODIFICACIÓN DEL EXPEDIENTE TECNICO
Clima	
5,1	LLUVIAS
5,2	HELADAS
5,3	GRANIZADA
Plazo de obra	
6,1	NO SON LÍNEAS CONTINUAS
6,2	ESTRÉS EN EL TRABAJO
6,3	PENALIDADES POR INCUMPLIMIENTO
Recursos Humanos	
7,1	ESCAZOS
7,2	NO CALIFICADA
Espacio	
8,1	ESPACIO REDUCIDO
8,2	NO ESTA LIBERADO
8,3	NO CUENTA CON AUTORIZACIÓN
Requisitos	
9,1	CONFORMIDADES DE PREDECESORAS
9,2	PERSONAS CALIFICADAS
9,3	EQUIPOS CALIBRADOS
Recursos Materiales	
10,1	FUERA DE TIEMPO
10,2	COMPRA EQUIVOCADA
10,3	MALA GESTIÓN
Recursos Equipos	
11,1	MANTENIMIENTO
11,2	EQUIPO INAPROPIADO
Recursos Financieros	
12,1	PROBLEMAS DE PAGO
12,2	PAGO A DESTIEMPO DE VALORIZACIONES
Sub Contratos	
13,1	EVALUACIÓN /CONTRATISTA
Costo de Producción	
14,1	MAS HORAS DE TRABAJO
Precio de Venta-Margen Económico	
15,1	ESTRÉS EN EL TRABAJO
Información	
16,1	INFORMACIÓN OPORTUNA
16,2	COMUNICACIÓN INAPROPIADA
16,3	DISPONIBILIDAD DE INFORMACIÓN

ANEXO 14



ANEXO 18

