

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL Y DEL
AMBIENTE

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL ÁREA DE MOVIMIENTO DE
TIERRAS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA
CONCENTRADORA EN EL PROYECTO LAS BAMBAS”**

TESIS PRESENTADA POR EL BACHILLER:

Jorge Francisco Rivera Adriaola

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:

Mg. Miguel Renato Díaz Galdós

Arequipa - Perú
2017

DEDICATORIAS

A mis padres, Silvia y Jorge por su amor, apoyo y sacrificio incondicional durante toda mi vida para poder cumplir mis metas.

A mi hermano, Cesar por estar siempre a mi lado y ser para mí un gran ejemplo.

A mi esposa Evelina y mis queridas hijas Valentina y Fátima por ser mi más grande inspiración y motivo para seguir adelante.



RESUMEN

En el presente estudio se realiza la aplicación de los conceptos de la metodología de Cadena Crítica para los trabajos de Movimiento de Tierras durante la construcción de la Planta Concentradora del proyecto Las Bambas.

En la actualidad las empresas deben implementar y desarrollar estrategias para la mejora continua de sus procesos, en respuesta a los avances de la tecnología, la globalización de los mercados y a la competencia. La necesidad de ser más eficientes y poder acelerar el cumplimiento de los proyectos de Construcción es un factor de éxito.

El objetivo principal de esta investigación es poder recopilar información de los fundamentos de la metodología de Cadena Crítica y su aplicación directa en las tareas de Movimiento de Tierras.

Después de la aplicación del método Cadena Crítica se puede afirmar que el tiempo de entrega de las tareas se reduce ya que se consideran principalmente el modo de neutralizar los problemas por el comportamiento humano y la gestión de Buffers como indicadores de productividad.

La implementación de esta metodología requiere un fuerte cambio de cultura y de los conceptos desactualizados respecto a la gestión de proyectos.

Como herramientas de gestión complementarias, se utilizaron metodologías de evaluación y control de riesgos como la matriz de probabilidad e impacto y la aplicación Crystal Ball para el modelado predictivo en condiciones de trabajo donde existe la variabilidad e incertidumbre como en los proyectos de construcción.

Palabras clave: Cadena Crítica, comportamiento humano, gestión de buffers, incertidumbre y mejora continua.

ABSTRACT

The concepts of Critical Chain methodology for the works of earthworks were used and applied during the construction of the concentrator plant in the Las Bambas Project.

Companies must implement and develop strategies for the continuous improvement of their processes, in response to the globalization of markets and competition. The need to be more efficient and to accelerate the fulfillment of the construction projects is a factor of success.

The main objective of this research is to gather information about the fundamentals of the Critical Chain methodology and its direct application in earthworks tasks.

After applying the Critical Chain method, it can be stated that the task delivery time is reduced. By neutralizing the problems of human behavior and the management of buffers as indicators of productivity.

The implementation of this methodology requires a strong culture change and outdated concepts regarding project management.

Complementarily, we used risk control methodologies such as the probability and impact matrix and the Crystal Ball application for the predictive model in working conditions where there is variability and uncertainty as in construction projects.

Keywords: Critical Chain, human behavior, buffers management, uncertainty and continual improvement process.

INDICE

1. CAPITULO I – ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. Descripción del proyecto.....	1
1.2. Descripción del problema.....	1
1.3. Objetivos.....	2
1.3.1. Objetivos generales.....	2
1.3.2. Objetivos específicos.....	2
1.4. Justificación de la investigación.....	3
1.5. Alcance de la investigación.....	3
2. CAPITULO II – MARCO TEORICO.....	4
2.1. Introducción.....	4
2.2. Método de Camino Crítico.....	4
2.3. Método PERT.....	6
2.4. Método de la simulación Monte Carlo.....	7
2.5. Teoría de las restricciones.....	7
2.6. Método de Cadena Crítica.....	9
2.6.1. Introducción.....	9
2.6.2. Conceptos de Cadena Crítica.....	10
2.6.3. Descripción del método de Cadena Crítica.....	10

2.6.4. Criterio de reducción de estimación de duraciones de actividades	11
2.6.5. Origen de los retrasos en los proyectos	11
2.6.5.1. El síndrome del estudiante.....	11
2.6.5.2. Ley de Parkinson	12
2.6.5.3. Ley de Murphy	12
2.6.5.4. La Multitarea	12
2.6.6. Gestión de Buffers	12
2.6.7. Tipos de Buffer.....	13
2.6.7.1. Buffer de Proyecto:.....	13
2.6.7.2. Buffer de Alimentación:	14
2.6.7.3. Buffer de Recursos:	14
2.6.8. Ventajas de la gestión de Buffers	14
2.7. Diferencias entre los métodos de Camino Crítico y Cadena Crítica	14
2.8. Importancia y prácticas de la Cadena Crítica	16
2.8.1. Adopción de CCPM.....	16
2.8.2. El cambio de paradigma de CCPM	17
2.9. Paradigmas en la gestión de proyectos	18
3. CAPITULO III – CASO DE ESTUDIO	21
3.1. Distribución del área en la Planta Concentradora	21
3.2. Plano de distribución general de la Planta Concentradora	21
3.3. Proceso productivo de Las Bambas.....	23
3.4. Organización.....	32

3.5. Solicitud para el servicio de Movimiento de Tierras.....	32
3.6. Análisis de riesgos	34
3.7. Proceso implementación del método de Cadena Crítica	39
3.8. Seguimiento del proyecto mediante el consumo del Buffer.....	40
3.9. Supuestos	41
3.10. Análisis de los casos de estudio.....	42
3.10.1. Análisis N°1: Área 0230 Stacker.....	42
3.10.1.1. Tareas críticas programadas	42
3.10.1.2. Identificación y valoración de riesgos	42
3.10.1.3. Duraciones proyectadas de ejecución.....	43
3.10.1.4. Simulación Monte Carlo.....	46
3.10.1.5. Programación con Cadena Crítica	47
3.10.1.6. Respuesta a los riesgos	48
3.10.1.7. Control de avance	51
3.10.1.8. Evaluación de pérdidas	52
3.10.1.9. Productividad y rendimiento	53
3.10.2. Análisis N°2: Área 0330 Flotación y Remolienda, Área 0370 Molibdeno y Área 0420 Planta de Filtros	53
3.10.2.1. Tareas críticas programadas	53
3.10.2.2. Identificación y valoración de riesgos	54
3.10.2.3. Duraciones proyectadas de ejecución.....	55
3.10.2.4. Simulación Monte Carlo.....	60
3.10.2.5. Programación con Cadena Crítica	61

3.10.2.6. Respuesta a los riesgos	63
3.10.2.7. Control de avance	65
3.10.2.8. Evaluación de pérdidas	66
3.10.2.9. Productividad y rendimiento	67
3.10.3. Análisis N°3: Área 0430 Almacén de Concentrado y Área 0310 Molienda..	68
3.10.3.1. Tareas críticas programadas	68
3.10.3.2. Identificación y valoración de riesgos	69
3.10.3.3. Duraciones proyectadas de ejecución.....	70
3.10.3.4. Simulación Monte Carlo.....	74
3.10.3.5. Programación con Cadena Crítica	75
3.10.3.6. Respuesta a los riesgos	76
3.10.3.7. Control de avance	79
3.10.3.8. Evaluación de pérdidas	80
3.10.3.9. Productividad y rendimiento	81
3.10.4. Análisis N°4: Área 0510 Espesador de Relaves	82
3.10.4.1. Tareas críticas programadas	82
3.10.4.2. Identificación y valoración de riesgos	82
3.10.4.3. Duraciones proyectadas de ejecución.....	84
3.10.4.4. Simulación Monte Carlo.....	88
3.10.4.5. Programación con Cadena Crítica	89
3.10.4.6. Respuesta a los riesgos	91
3.10.4.7. Control de avance	93
3.10.4.8. Evaluación de pérdidas	94
3.10.4.9. Productividad y rendimiento	95

3.10.5. Análisis N°5: Área 0410 Espesador de Cobre y Área 0340 Espesador de Cobre - Molibdeno.....	96
3.10.5.1. Tareas críticas programadas	96
3.10.5.2. Identificación y valoración de riesgos	97
3.10.5.3. Duraciones proyectadas de ejecución.....	98
3.10.5.4. Simulación Monte Carlo.....	102
3.10.5.5. Programación con Cadena Crítica	103
3.10.5.6. Respuesta a los riesgos	104
3.10.5.7. Control de avance	107
3.10.5.8. Evaluación de pérdidas.....	107
3.10.5.9. Productividad y rendimiento	108
3.10.6. Análisis N°6: Área 0510 Espesador de Relaves.....	109
3.10.6.1. Tareas críticas programadas	109
3.10.6.2. Identificación y valoración de riesgos.....	110
3.10.6.3. Duraciones proyectadas de ejecución.....	111
3.10.6.4. Simulación Monte Carlo.....	114
3.10.6.5. Programación con Cadena Crítica	116
3.10.6.6. Respuesta a los riesgos	117
3.10.6.7. Control de avance	119
3.10.6.8. Evaluación de pérdidas.....	120
3.10.6.9. Productividad y rendimiento	121
3.10.7. Análisis e interpretación general de los resultados obtenidos	122
3.10.8. Cronograma general de duraciones estimadas y duraciones reales.....	126
3.11. Análisis de costos	128
3.11.1. Plantilla de metrados	128

3.11.2. Análisis de costos unitarios	129
3.11.3. Presupuesto	133
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
4.1. Conclusiones.....	134
4.2. Recomendaciones	135
5. ANEXOS	137
5.1. ANEXO I – PANORAMA GENERAL DE UN PROYECTO:.....	138
5.2. ANEXO II – RIESGO E INCERTIDUMBRE.....	146
5.3. ANEXO III – ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS MEDIANTE LA SIMULACION DE MONTE CARLO	152
5.4. ANEXO IV – ESPECIFICACIONES TECNICAS	154
6. CAPITULO VI BIBLIOGRAFIA	174

FIGURAS

Figura 1 Nomenclatura CPM.....	5
Figura 2 Función Beta	7
Figura 3 Planta Concentradora	23
Figura 4 Planta Concentradora	23
Figura 5 Área - 0230 Stacker.....	24
Figura 6 Área - 0240 Túnel de recuperación.....	24
Figura 7 Área - 0330 Flotación y Remolienda	25
Figura 8 Área - 0310 Molienda	26
Figura 9 Área - 0320 Chancadora Pebbles	26
Figura 10 Área - 0320 Chancadora Pebbles	26
Figura 11 Área - 0330 Flotación y Remolienda	27
Figura 12 Área - 0340 Espesador de Cobre - Molibdeno y 0410 Espesador de Cobre..	28
Figura 13 Área - 0370 Molibdeno	28
Figura 14 Área - 0370 Molibdeno	29
Figura 15 Área - 0420 Planta de Filtros	30
Figura 16 Área - 0430 Almacén de Concentrado	30
Figura 17 Área - 0510 y 0530 Espesador de Relaves.....	31
Figura 18 Organigrama.....	32
Figura 19 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada	46
Figura 20 Probabilidad de ocurrencia al 95%	47
Figura 21 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM	48
Figura 22 Distribución de las causas de no cumplimiento	52
Figura 23 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada.....	60
Figura 24 Probabilidad de ocurrencia al 95%	61

Figura 25 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM	62
Figura 26 Distribución de las causas de no cumplimiento	67
Figura 27 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada	74
Figura 28 Probabilidad de ocurrencia al 95%	75
Figura 29 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM	76
Figura 30 Distribución de las causas de no cumplimiento	81
Figura 31 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada	88
Figura 32 Probabilidad de ocurrencia al 95%	89
Figura 33 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM	90
Figura 34 Distribución de las causas de no cumplimiento	95
Figura 35 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada	102
Figura 36 Probabilidad de ocurrencia al 95%	103
Figura 37 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM	104
Figura 38 Distribución de las causas de no cumplimiento	108
Figura 39 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada	115
Figura 40 Probabilidad de ocurrencia al 95%	115
Figura 41 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM	117
Figura 42 Distribución de las causas de no cumplimiento	121
Figura 43 Comparativo de duraciones	122
Figura 44 Porcentajes comparativos de las duraciones	123
Figura 45 Porcentajes de reducción de las duraciones simuladas y CCPM	124
Figura 46 Porcentajes de reducción de las duraciones simuladas y reales	124
Figura 47 Distribución de las causas de no cumplimiento	125

TABLAS

Tabla 1 Áreas de la Planta Concentradora.....	21
Tabla 2 Principales riesgos identificados	35
Tabla 3 Matriz Probabilidad e Impacto	36
Tabla 4 Respuestas a los riesgos.....	36
Tabla 5 Probabilidad – Impacto del Área 0230.....	42
Tabla 6 Duraciones.....	46
Tabla 7 Programación CCPM.....	47
Tabla 8 Riesgos y acciones tomadas	49
Tabla 9 Cuadro de control de avance diario	51
Tabla 10 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento	52
Tabla 11 Recursos- Excavación para la plataforma del stacker y del stockpile.....	53
Tabla 12 Tabla de productividad y rendimiento.....	53
Tabla 13 Probabilidad – Impacto del Área 0420.....	54
Tabla 14 Probabilidad – Impacto del Área 0370.....	54
Tabla 15 Probabilidad – Impacto del Área 0330.....	55
Tabla 16 Duraciones.....	59
Tabla 17 Programación CCPM	62
Tabla 18 Riesgos y acciones tomadas	63
Tabla 19 Cuadro de control de avance diario	65
Tabla 20 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento	66
Tabla 21 Recursos - Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	67
Tabla 22 Recursos - Excavación para las fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones.....	68
Tabla 23 Recursos - Excavación para el tendido de tuberías de concreto para drenaje .	68

Tabla 24 Productividad y rendimiento	68
Tabla 25 Probabilidad – Impacto del Área 0430.....	69
Tabla 26 Probabilidad – Impacto del Área 0310.....	69
Tabla 27 Duraciones.....	74
Tabla 28 Programación CCPM	75
Tabla 29 Riesgos y acciones tomadas	77
Tabla 30 Cuadro de control de avance diario	79
Tabla 31 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento	80
Tabla 32 Recursos - Relleno estructural para la losa radier del almacén de concentrado	81
Tabla 33 Recursos - Relleno estructural para la losa radier en el edificio de molienda.	81
Tabla 34 Productividad y rendimiento	82
Tabla 35 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (relleno estructural)	83
Tabla 36 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (relleno arena)	83
Tabla 37 Duraciones.....	87
Tabla 38 Programación CCPM	90
Tabla 39 Riesgos y acciones tomadas	91
Tabla 40 Cuadro de control de avance diario	93
Tabla 41 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento	94
Tabla 42 Recursos - Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF027.....	95
Tabla 43 Recursos - Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF027.....	96
Tabla 44 Productividad y rendimiento	96
Tabla 45 Probabilidad – Impacto del Área 0410.....	97

Tabla 46 Probabilidad – Impacto del Área 0340	97
Tabla 47 Duraciones	101
Tabla 48 Programación CCPM	103
Tabla 49 Riesgos y acciones tomadas	105
Tabla 50 Cuadro de control de avance diario	107
Tabla 51 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento	108
Tabla 52 Recursos - Excavación para el tendido de tuberías hdpe para drenaje.....	109
Tabla 53 Recursos - Excavación para el tendido de tuberías hdpe de la red contra incendios.....	109
Tabla 54 Productividad y rendimiento	109
Tabla 55 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (Cajón de descarga).....	110
Tabla 56 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (Canal de descarga)	110
Tabla 57 Duraciones	114
Tabla 58 Programación CCPM	116
Tabla 59 Riesgos y acciones tomadas	117
Tabla 60 Cuadro de control de avance diario	119
Tabla 61 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento	120
Tabla 62 Recursos - Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	121
Tabla 63 Recursos - Excavación para el canal de descarga de los relaves.....	121
Tabla 64 Productividad y rendimiento	122
Tabla 65 Valores de las 3 duraciones consideradas para el análisis.....	122
Tabla 66 Reducción de las duraciones simuladas y CCPM Reducción	123
Tabla 67 Reducción de las duraciones simuladas y reales	124

Tabla 68 Incidencia del total de horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento..... 125



1. CAPITULO I – ASPECTOS GENERALES

1.1. Descripción del proyecto

Las Bambas es un proyecto de extracción de cobre más importante del país, ubicado al Sur del Perú, en la región de Apurímac entre las provincias de Cotabambas y Grau, a más de 4,000 m.s.n.m. Las tareas de Ingeniería, Procura y Construcción están a cargo de la alianza estratégica entre las empresas GyM (Perú) y Bechtel (EEUU).

La vida de la mina está estimada en 20 años, se estima una producción anual de 400,000 toneladas de cobre por año en los primeros cinco años. Las Bambas tiene un gran potencial de crecimiento ya que solo se ha explorado el 10% del total de las tierras del Holding, las nuevas exploraciones garantizarían la extensión de la vida de la mina, adquirida a Glencore Xstrata por el consorcio chino integrado por MMG (62.5%), Guoxin International Investment Co. Ltd (22.5%) y CITIC Metal Co. Lrd (15%), siendo la mayor adquisición en la industria minera china y la más grande operación de compra en la historia del Perú (Ministerio de Energía y Minas, 2014)

1.2. Descripción del problema

Durante la construcción de la planta concentradora, el área de Movimiento de Tierras no cuenta con un método propio de control de productividad, limitando la implementación de un sistema de mejora continua así como la optimización de nuestros recursos para cumplir con la Tareas Críticas encargadas a nuestra área.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivos generales

Presentar los fundamentos y resultados por la aplicación del método de Cadena Crítica en las tareas de excavaciones y rellenos ejecutados por el área de Movimiento de Tierras durante la construcción de la planta concentradora.

1.3.2. Objetivos específicos

- Presentar de forma clara y concisa los fundamentos, las generalidades y las características del método de Cadena Crítica
- Analizar la aplicabilidad y beneficios del método de Cadena Crítica durante la ejecución de las Tareas encargadas al área de Movimiento de Tierras.
- Recopilar información y mostrar resultados reales por el uso de la metodología de Cadena Crítica.
- Identificar y mostrar los plazos de cumplimiento de las Tareas con la metodología de Cadena Crítica.
- Optimizar el flujo del sistema, es decir acelerar la ejecución de las tareas encargadas a Movimiento de Tierras durante la ejecución del Proyecto.
- Contribuir y promover soluciones durante la ejecución de proyectos de construcción, representando una alternativa a los métodos tradicionales de planeamiento y programación.
- Ofrecer a los lectores directrices de fácil entendimiento para que estén en la facultad de identificar y aplicar la metodología de manera efectiva.

1.4. Justificación de la investigación

Un proyecto de construcción surge para cubrir una necesidad, toda la preparación antes de ejecutar el proyecto se concentra en utilizar la menor cantidad de recursos en un tiempo determinado, trabajando de una forma eficiente con el objetivo de satisfacer la necesidad.

Cadena Crítica es un método de gestión de proyectos basado en el enfoque sistémico de la Teoría de las Restricciones, este método revolucionó el modo de administración y programación de proyectos, basándose fundamentalmente en la naturaleza del comportamiento humano.

La Teoría de las Restricciones, identifica la Cadena Crítica como la restricción del proyecto, la dependencia de recursos determina la criticidad de la misma forma que lo hace la dependencia de actividades.

1.5. Alcance de la investigación

El alcance de esta investigación está definido por el análisis de productividad de los tareas de excavación y relleno hechas por el área de Movimiento de Tierras durante la construcción de la planta concentradora, estas tareas preceden la construcción de fundaciones de concreto así como para el tendido e instalación de distintos tipos de tuberías como red contra incendios, drenajes, desagües, instalaciones eléctricas e instrumentación, la investigación y los resultados obtenidos son de un periodo aproximado de 13 semanas.

2. CAPITULO II – MARCO TEORICO

2.1. Introducción

En este capítulo se exponen temáticas teóricas introductorias así como temas de discusión como contextualización, metodologías y objetivo de la metodología necesarios para comprender el estudio realizado basado en la metodología de Cadena Crítica (CCPM).

2.2. Método de Camino Crítico

El método de Camino Crítico o CPM por sus siglas en inglés (Critical Path Method) es comúnmente utilizado para la planificación y control de proyectos, siendo su principal objetivo el determinar la duración del proyecto a través de un diagrama o red que muestra la secuencia y la interrelación que hay entre todas las tareas que forman el proyecto, donde cada una de estas tiene una duración estimada (Utomo, 2009).

El supuesto de Camino Crítico es que las actividades y sus tiempos de duración son conocidos con exactitud, no considerando incertidumbre alguna, durante la ejecución de estas tareas. Esto lo define como un método determinista (Leach, 2000).

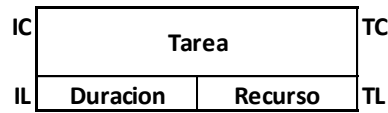
La duración de un proyecto es igual a la duración del Camino Crítico, estos son los pasos a seguir para aplicarlo:

- Definir todas las Tareas principales del proyecto.
- Establecer las relaciones entre todas las Tareas decidiendo cual inicia primero y cuales la siguen.
- Graficar una red de actividades conectando todas las Tareas basándose en la relaciones de precedencia o interdependencia.
- Establecer los tiempos de duración de cada Tarea.

- Identificar el Camino Crítico es decir la trayectoria más larga del proyecto.

Se utiliza la siguiente nomenclatura para un nodo:

Figura 1 Nomenclatura CPM



Dónde:

IC: Inicio más cercano, es lo más pronto que puede comenzar la Tarea.

TC: Termino más cercano, es lo más pronto que puede terminar la Tarea.

IL: Inicio más lejano, es lo más tarde que puede comenzar la actividad sin retrasar el termino del proyecto.

TL: Termino más lejano, es lo más tarde que puede terminar la actividad sin retrasar el termino del proyecto.

La Holgura para cada actividad, consiste en el tiempo máximo que se puede retrasar el comienzo de una actividad sin que esto retrase la finalización del proyecto.

La Holgura de una actividad se puede obtener con la siguiente fórmula:

$$\text{Holgura} = \text{IL} - \text{IC} = \text{TL} - \text{TC}$$

Las Tareas Críticas son aquellas actividades cuya holgura es nula, por lo tanto si hay algún retraso en la ejecución de la Tarea, esto provocara un retraso exactamente igual en la fecha de término del proyecto.

Se denomina Camino Crítico a la ruta continua entre el nodo de inicio y el nodo de término del proyecto, cuyos nodos componentes son todas Tareas Críticas. Un proyecto puede tener más de un Camino Crítico.

2.3. Método PERT

El método PERT por sus siglas en inglés (Program Evaluation and Review Technique) es una técnica para analizar la incertidumbre en los plazos del proyecto, considerando duraciones probabilísticas para las actividades a diferencia de las duraciones determinísticas que utiliza el método de Camino Crítico (Tukel, 2006).

El tiempo de ejecución de las Tareas se obtiene a través de la estimación de 3 escenarios posibles:

To: Es la duración optimista al menor tiempo que puede durar una Tarea.

Tm: Es la duración más probable que podría durar la Tarea.

Tp: Es la duración pesimista, o el mayor tiempo que puede durar una Tarea.

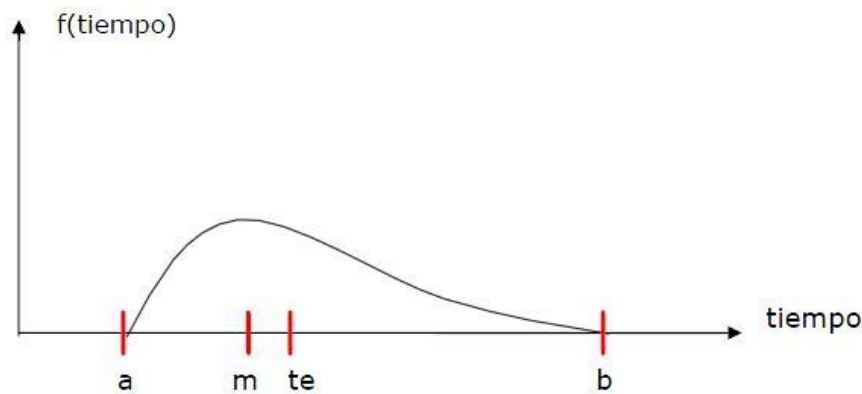
Te: Es la duración esperada de la Tarea.

Él Se te obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$T_e = \frac{T_o + 4T_m + T_p}{6}$$

A continuación se presenta un gráfico que muestra la función de densidad de probabilidad para la función beta.

Figura 2 Función Beta



2.4. Método de la simulación Monte Carlo

El método consiste en la generación de variables aleatorias que representan la ocurrencia de eventos para una distribución de probabilidad asumida. Aplicando un modelo matemático a una situación incierta se puede calcular el resultado para diferentes posibilidades (Kwak, 2007)

El uso de este método en la programación de proyectos consiste en calcular las duraciones ante diferentes escenarios posibles.

La estimación de los tres valores es la forma más usada para contrarrestar la falta de información, donde los responsables asignan valores al peor, al más probable y al mejor caso para cada duración de una actividad en un cronograma.

2.5. Teoría de las restricciones

La Teoría de las Restricciones es un sistema de gestión empresarial que ofrece soluciones y estrategias de gran alcance. Mediante su aplicación se pueden ampliar las ventajas competitivas y asegurar el éxito empresarial de una manera sostenible. Gracias a la gran efectividad y a las posibilidades de implementación rápida es a su vez un método especialmente indicado para manejo de situaciones en crisis. (Leach, 2000)

La Teoría de las Restricciones es un sistema de gestión ampliamente probado que se viene utilizando con resultados altamente positivos en empresas y organizaciones a nivel mundial. Desde 1985 la aplicación de esta metodología comenzó a marcar la pauta en el área de optimización de producciones.

La Teoría de las Restricciones parte del hecho que cada empresa se ve limitada en su capacidad generadora de utilidades por una serie de restricciones. Aunque esta razón es tan simple y lógica, conlleva a una serie de repercusiones decisivas que revolucionan las estrategias actuales de gestión empresarial.

El caudal se puede definir como la utilidad generada en un tiempo determinado. Entre más rápido pasan los productos o servicios a través del sistema de una empresa, mayores son las utilidades generadas por la misma.

En la práctica las restricciones existentes siempre limitan el caudal en un sistema. Puesto que reducen el potencial de utilidades, las restricciones constituyen el problema central de cada empresa.

La meta ideal para cualquier cadena de suministros es lograr un flujo equilibrado desde los proveedores hasta el mercado a través de los sistemas de producción, utilizando los recursos de forma óptima.

Por lo tanto, la prioridad más importante de una cadena de suministros es aumentar el flujo a través del sistema hasta alcanzar el punto de máxima utilidad. Para conseguirlo, las restricciones deben reducirse o eliminarse hasta obtener un grado máximo de sincronización del caudal. (Verhoef, 2013)

2.6. Método de Cadena Crítica

2.6.1. Introducción

La Cadena Crítica es un método de gestión de proyectos conocida como CCPM por sus siglas en inglés (Critical Chain Project Management), esta se basa en los fundamentos de la Teoría de las Restricciones (TOC – Theory of Constraints), la idea de CCPM fue introducida en 1997 en el libro “Cadena Crítica” por el físico Eliyahu M. Goldratt, su conocimiento le permitió desarrollar los algoritmos necesarios para garantizar proyectos finalizados en la mitad del tiempo y en ocasiones con un 50% menos de recursos utilizados.

La aplicación de los fundamentos de la Teoría de las Restricciones pertenece principalmente al ámbito de la gestión de producción industrial los cuales se han adaptado al ámbito de la gestión de proyectos. Entre sus principales características destacan la sencillez del método y la búsqueda de un mejor flujo del proyecto. Abarca la problemática de la gestión de proyectos individuales así como la gestión de proyectos simultáneos que comparte recursos, salvando el problema de la necesaria conexión entre ambas en base a un enfoque sistémico (Goldratt, 1997).

En el sector de la construcción la incertidumbre y los retrasos de las tareas se han convertido en una práctica común, la inusual aplicación de técnicas adecuadas de gestión que permitan manejar los riesgos incumplimiento de fechas de entrega es un tema que origina discusión.

La presión generada por el mercado obliga a las empresas a trabajar más, comprimir cronogramas y disponer de menores recursos para cumplir con los proyectos que se les asignan.

La aplicación del método de Cadena Crítica se presenta como una alternativa de solución en el avance y mejora de la planificación, del seguimiento y control de las obras de construcción, permitiendo eliminar ciertos defectos indeseables principalmente basados en el comportamiento humano.

2.6.2. Conceptos de Cadena Crítica

Buffer: Actividad ficticia con duración mayor a cero, que no requiere recursos y tiene como propósito proteger la fecha de entrega del proyecto.

Teorema del límite central: Este teorema indica que, la suma de n variables aleatoriamente independientes se aproxima a una distribución normal o también llamada Gaussiana, el teorema asegura que esto ocurre cuando la suma de estas variables aleatorias e independientes es lo suficientemente grande.

2.6.3. Descripción del método de Cadena Crítica

La primera etapa consiste en la planificación y programación del proyecto, detallando las tareas y su secuencia, reducir la duración de las actividades eliminando los márgenes de seguridad y reinsertarlos en un sistema de buffers y/o amortiguadores, identificar la cadena crítica, explorar la limitación, subordinar las cadenas de tareas críticas mediante buffers de alimentación.

La segunda etapa es el control del avance de las tareas del proyecto y la gestión de buffers principalmente, la función del buffer es absorber las variaciones de duración de las tareas que la preceden, el buffer del proyecto absorbe las variaciones en las tareas de la Cadena crítica (Leach, 2000).

2.6.4. Criterio de reducción de estimación de duraciones de actividades

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

Este criterio trabaja con duraciones de actividades reducidas al 50% de duración de las estimaciones pesimistas. 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 método 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 (Tenera, 2008).

2.6.5. Origen de los retrasos en los proyectos

Considerando los problemas del comportamiento humano en la ejecución de proyectos, tenemos los siguientes.

2.6.5.1. El síndrome del estudiante

Plantea que las personas se empiezan a dedicar seriamente a una tarea que se les fue encomendada solo cuando se acerca la fecha de entrega. De esta forma se realiza un tercio del trabajo durante los dos primeros tercios del tiempo asignado, acelerando y finalizando los dos tercios restantes en el último tercio disponible (Utomo, 2009).

2.6.5.2. Ley de Parkinson

Afirma que el trabajo se expande hasta llenar el tiempo disponible para terminarlo. Aplicando esto a la gestión de proyecto se puede decir que cuanto más tiempo se disponga para cumplir con la Tarea, más tiempo se tardará en completarla, ya que la duración de cada una de las Tareas de un proyecto será la estimada, ocupando todo el espacio disponible para su realización, incluido el tiempo de protección (Parkinson, 1957).

2.6.5.3. Ley de Murphy

Explica los infortunios en todo tipo de ámbitos que a grandes rasgos, se basa en el adagio siguiente: “Si algo puede salir mal, saldrá mal”. Las formas en que Murphy puede aparecer en nuestro proyecto son diversas, sin embargo, si comenzamos a trabajar en momentos cercanos a la fecha programada de fin de la Tarea no dispondremos de tiempo para poder gestionar los problemas que puedan surgir (Verhoef, 2013).

2.6.5.4. La Multitarea

El pensamiento común de que la multitarea permite mejorar y aprovechar la eficiencia y capacidad de los recursos es un error, ya que en la realidad esto implica caminos continuos en el trabajo provocando constantes conflictos de prioridades de las Tareas, lo que se traduce en una amenaza para la mejora global del proyecto (Leach, 2000).

2.6.6. Gestión de Buffers

Los Buffers o amortiguadores representan el colchón de tiempo de protección, que son trasladados al final de las tareas, para aquellas que requieren más del tiempo estipulado y estos se contraen automáticamente, absorbiendo de este modo de demoras ocasionadas por las tareas para así no afectar a la fecha de culminación del proyecto (Tenera, 2008).

El método de la Cadena Crítica se sustenta en la adecuada distribución y uso de los amortiguadores. Gestionar estos Buffers conducirá al éxito del proyecto en términos de optimización de recursos y en la entrega a tiempo.

La duración del proyecto debe tener en cuenta los riesgos acumulativos a lo largo de la Cadena Crítica. Una forma de estimar la longitud de los Buffers es tomar en cuenta el tiempo de protección quitado a cada actividad y tomar el 50% de este tiempo como Buffer.

2.6.7. Tipos de Buffer

Los amortiguadores se sitúan en puntos estratégicos al final de las actividades y según su ubicación se pueden clasificar en 3 tipos:

2.6.7.1. Buffer de Proyecto:

Se ubica después de la última tarea del proyecto, su objetivo es proteger el plazo de entrega del proyecto frente a las desviaciones que pueden producirse en actividades pertenecientes a la cadena crítica.

En este Buffer se ubica una parte del tiempo del margen de seguridad que se había excluido de cada estimación de las tareas que forman la Cadena Crítica formando una Buffer combinado.

El Buffer del proyecto se inserta entre la tarea final programada y la fecha de término del proyecto. La Cadena Crítica empieza al inicio del proyecto y finaliza al comienzo del Buffer del proyecto, no al fin del proyecto. Se agrega o se resta tiempo del Buffer del proyecto a medida que el tiempo real requerido para completar cada tarea cambia.

2.6.7.2. Buffer de Alimentación:

Representa la extensión de protección de la Cadena Crítica ante la incertidumbre que proviene de la conexión con cadenas no críticas intervinientes en el proyecto.

2.6.7.3. Buffer de Recursos:

Es una tarea virtual que afecta a aquellas actividades de la Cadena Crítica pues se trata de una reserva de capacidad de la misma para garantizar que el recurso estará disponible cuando la Cadena Crítica la requiera. Es un aviso que se envía a los recursos críticos para garantizar que tengan tiempo para completar sus tareas actuales y comenzar a prepararse para la próxima tarea.

2.6.8. Ventajas de la gestión de Buffers

Las principales ventajas son:

- Permite programar de forma agresiva los tiempos de duración de la tareas, minimizando el impacto de la Ley de Parkinson.
- Permite enfocarse en la gestión de los recursos y aportan un enfoque global al proyecto, aumentando la eficiencia y disminuyendo el tiempo total del proyecto.
- Ayuda a permanecer atento a aquellos recursos escasos, que al estar ocupados en otras tareas pueden poner en peligro el avance del proyecto.

2.7. Diferencias entre los métodos de Camino Crítico y Cadena Crítica

A continuación se mencionan y comparan las diferencias más resaltantes entre las metodologías CPM y CCPM.

1. Camino Crítico: Establece la secuencia de Tareas que definen la duración total del proyecto, la fecha de término del proyecto se protege con los márgenes de

seguridad en las duraciones de cada Tarea. La atención se centra en terminar las Tareas críticas y no críticas en las fechas programadas con la finalidad de cumplir la fecha de fin de proyecto.

Cadena Crítica: Crea una secuencia de las Tareas críticas teniendo como criterio principal la dependencia de recursos (restricciones) y la gestión de Buffers, la fecha que requiere atención es la del final del proyecto para eso se centra en el progreso de la Cadena Crítica y del consumo del Project Buffer.

2. Camino Crítico: Cada Tarea tiene un margen de seguridad estimado y este varía dependiendo de la criticidad de cada Tarea, este margen también es aplicado a las Tareas que no son críticas.

Cadena Crítica: Propone que el margen de seguridad de cada Tarea de la Cadena Crítica se agrupen en el Project Buffer, de esta manera el riesgo se gestiona directamente en los Buffers.

3. Camino Crítico: No considera los problemas del comportamiento humano (conflictos, motivación, curva de aprendizaje) por lo tanto solo se aplica un mayor margen de seguridad en las duraciones de las actividades.

Cadena Crítica: Intenta evitar el origen de los conflictos humanos que surgen durante un proyecto, es por eso que se menciona el síndrome del estudiante y la ley de Parkinson en relación al comportamiento humano.

4. Camino Crítico: Su programación se realiza estableciendo secuencias de Tareas considerando las relaciones lógicas de precedencia, con esto se calcula la secuencia de Tareas sin holguras.

Cadena Crítica: Utiliza como base la red usada por el Camino Crítico, con algunas modificaciones manteniendo las relaciones lógicas de precedencia, Trabaja con duraciones que tiene el %0% de probabilidad de cumplimiento de las Tareas y con un sistema de Buffers para asegurar su cumplimiento.

5. Camino Crítico: El seguimiento al cumplimiento del cronograma se hace controlando las fechas de inicio y de fin de las Tareas frente a la línea base y los hitos del cronograma.

Cadena Crítica: Se controla el consumo del buffer y se compara el buffer disponible con el mínimo requerido para cumplir con la fecha de término del proyecto.

2.8. Importancia y prácticas de la Cadena Crítica

A continuación se detalla como la metodología de CCPM afecta el entorno de los proyectos.

2.8.1. Adopción de CCPM

Los autores Millhiser and Szmerekovsky (2012) o identifican ningún estudio científico que evalúe el rendimiento de proyectos controlados con CCPM versus proyectos controlados con metodologías tradicionales, sin embargo tienen informes y testimonios donde expresan mejoras en el ahorro de tiempo, rentabilidad, satisfacción del cliente y mayor entusiasmo del trabajador. Los autores también destacan la gran adopción de la CCPM por parte del Ministerio de Infraestructura y Transporte del Japón, donde consideran que dicha metodología debería ser usada en todos los proyectos.

Los autores Millhiser and Szmerekovsky consideran que la CCPM es suficientemente apropiada, ya que promueven su enseñanza en clases de gestión de proyectos (Verhoef, 2013).

2.8.2. El cambio de paradigma de CCPM

Dentro las principales preocupaciones que resaltan por la aplicación de la metodología CCPM, es la simplificación o reducción excesiva de la duraciones de las tareas como la regla del 50% la cual debe ser adecuada a la realidad particular de cada proyecto y no implementarla como una regla absoluta (Verhoef, 2013).

Otra preocupación se refiere a la necesidad del flujo de caja desde el punto de vista de la contabilidad. CCPM rechaza que las tareas del cronograma se inicien lo antes posible lo cual puede oponerse a la necesidad de ejecutar diferentes tareas que generen flujo de caja especialmente en proyectos de gran capital.

También se cuestiona si el concepto de CCPM podrá reemplazar el concepto a CPM como paradigma principal de la gestión de proyectos, ya que parece difícil cambiar prácticas de gestión de larga data, por los procedimientos de CCPM como la disminución de los márgenes de seguridad de las tareas, el control de la multitarea y la gestión de los buffers.

Adoptar la metodología de CCPM incluirá la necesidad de cambiar la cultura de la organización, ya que se tendrá que considerar un tiempo de duración por las incertidumbres, la disponibilidad de los recursos, el escalonamiento de las tareas y el enfoque en las tareas clave.

Algunos investigadores no parecen estar muy convencidos de los efectos sostenibles a largo plazo de CCPM, sin embargo CCPM es una metodología cuya visión que puede

resultar beneficiosa a una organización que carece de procesos de gestión de proyectos eficaces y donde se sufre el rebasamiento de plazos de entrega (Leach, 2000).

2.9. Paradigmas en la gestión de proyectos

La metodología de CCPM incluye un cambio de paradigma en la gestión de proyectos.

Las herramientas tradicionales de gestión de proyectos, se refieren a estructuras de desglose de trabajo (WBS), análisis de red como la técnica de evaluación y revisión de programas (PERT) y el método de ruta crítica (CPM). Estas herramientas y técnicas se consideran eficaces en situaciones simples y estables, pero menos útiles en situaciones caóticas. Las herramientas y técnicas hacen hincapié en el control centralizado sobre objetivos determinados pero falta la participación en la toma de decisiones. La realidad demuestra que las metas y los planes cambiarán mientras avanzamos, por lo tanto los responsables de la gestión del proyecto deben estar dispuestos a adaptarse a la incertidumbre como proceso continuo (Leach, 2000).

Comúnmente las herramientas y técnicas se utilizan simplemente debido a su popularidad en lugar de ser evaluadas por algún beneficio conocido. Estas se pueden utilizar en ciertas fases del proyecto para contribuir a su éxito.

Una herramienta bien conocida y popular en la gestión de proyectos es el diagrama de Gantt. El origen de este diagrama se remonta a más de un siglo y se utilizan para mostrar horarios, para involucrar a las personas en la programación y facilitar la comunicación ya que tiene un papel importante en proveer una interfaz interactiva útil para que los usuarios definan, comprendan y acepten soluciones.

A pesar del uso de las herramientas tradicionales de gestión como CPM, PERT y Gantt, los excesos en los proyectos se consideran la norma. El diagrama de Gantt es una

herramienta útil para representar la información del tiempo de los planes, ya sea para predecir tiempos futuros o para representar desastres pasados. Su fuerza es la representación gráfica y visualizadora. La parte débil de esta herramienta es que es poco probable que el personal que controla la gestión del proyecto desafiara la credibilidad del cronograma, más bien dejan la responsabilidad de su cumplimiento a los miembros del equipo. CCPM tiene un enfoque diferente, ya que tiene en cuenta la incertidumbre, y anticipa la naturaleza del retraso y el proteccionismo en los tiempos de holgura de cada tarea (Verhoef, 2013).

Dentro del análisis se puede discutir acerca del papel de las imágenes en la gestión de proyectos, las imágenes desempeñan un papel importante para visualizar y comunicar las actividades del proyecto. Las imágenes tradicionales como Gantt o los diagramas de red, fácilmente se vuelven demasiado complejos. Actualizar y mantener los diagramas de red o de Gantt pueden ser abrumadores para proyectos cambiantes. Cuando los diagramas son cada vez más grandes pierden utilidad, el uso de imágenes alternativas que mejor se adapten a la gestión de proyectos como los mapas mentales pueden ser una opción de mejora.

Cuando se trata de paradigmas, es más importante entender que la fuerza del trabajo está cambiando. La naturaleza de la próxima generación de profesionales en la gestión de proyectos, esta generación son profesionales que están más conectados con el mundo construyendo comunidades, están orientados a equipos y están menos orientados a alinearse con las necesidades de los empleadores (Leach, 2000).

Esta nueva generación busca más oportunidades de aprender por lo tanto, el lugar de trabajo tendrá que adaptarse creando entornos atractivos, inspiradores y motivadores. El enfoque predeterminado de los métodos de arriba abajo y de mando y control ya no será

efectivo. El trabajo de gestionar un proyecto sería más como reunir a la gente para compartir y desafiar una misión inspiradora. Herramientas como el pensamiento de escenarios serán más valiosas que la linealidad y el control de herramientas como Gantt o PERT (Verhoef, 2013).



3. CAPITULO III – CASO DE ESTUDIO

3.1. Distribución del área en la Planta Concentradora

La Planta Concentradora está dividida en diferentes sectores, esto con la finalidad de tener un orden y que sea de fácil conocimiento y ubicación de los diferentes lugares de trabajo dentro de la Planta Concentradora.

En el siguiente cuadro se muestran los diferentes sectores y nombre de las principales áreas de distribución en la Planta Concentradora.

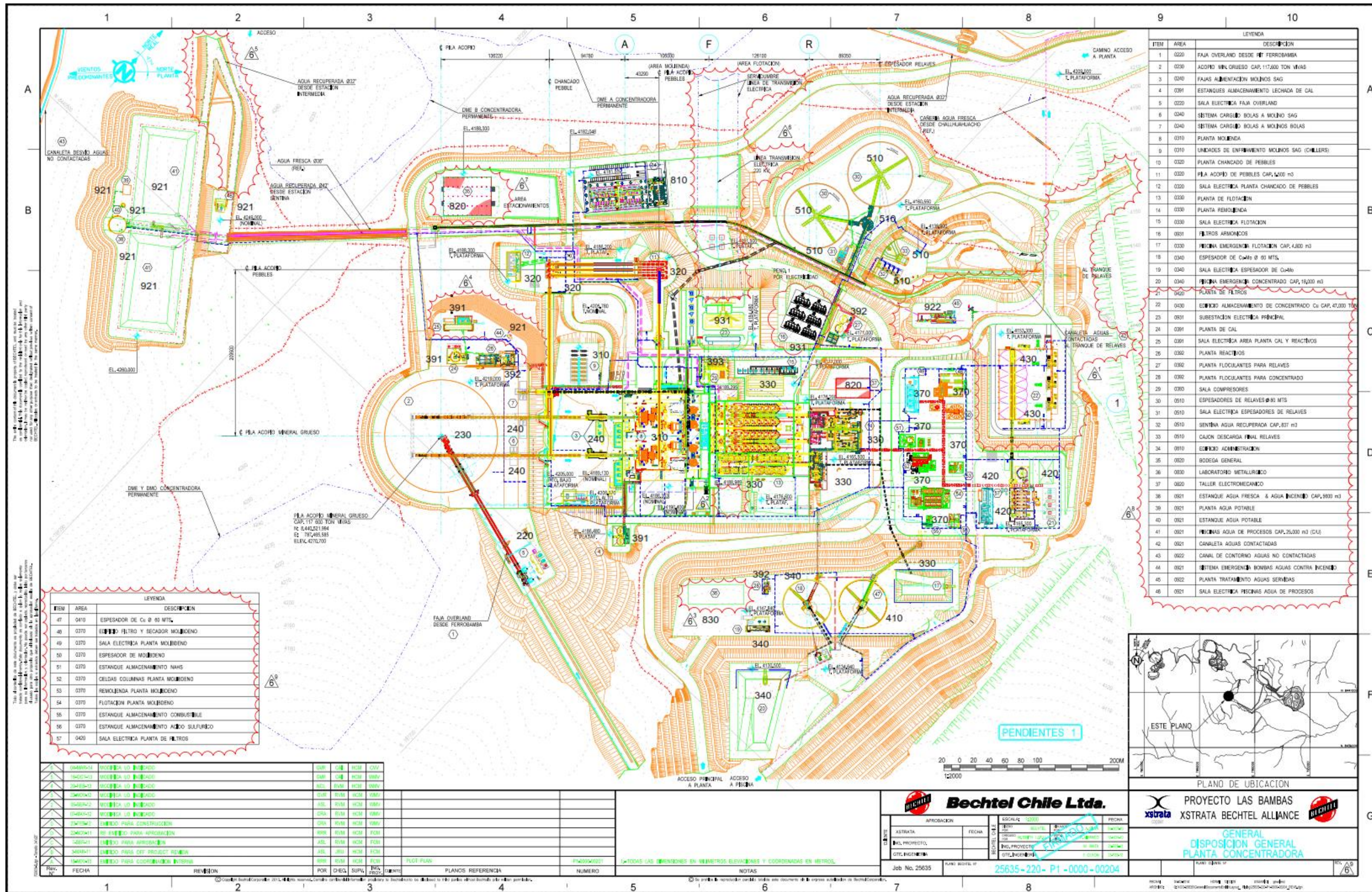
Tabla 1 Áreas de la Planta Concentradora

Sector	Nombre
Área 3 0230	Stacker
Área 3 0240	Túnel de Recuperación
Área 3 0310	Molienda
Área 3 0320	Chancadora Pebbles
Área 4 0330	Flotación y Remolienda
Área 5 0340	Espesador de Cobre - Molibdeno
Área 4 0370	Molibdeno
Área 3 0391	Planta de Cal
Área 3 0392	Planta de Reactivos
Área 4 0393	Sala de Compresores
Área 5 0410	Espesador de Cobre
Área 6 0420	Planta de Filtros
Área 6 0430	Almacén de Concentrado
Área 5 0510	Espesador de Relaves

3.2. Plano de distribución general de la Planta Concentradora

Plano de la disposición general de la Planta Concentradora

Fuente: Las Bambas



LEYES		DESCRIPCION	
ITEM	AREA	DESCRIPCION	DESCRIPCION
1	0220	FAJA OVERLAND DESDE FT FERROBAMBA	
2	0230	ACOPPO MIN GRUESO CAP. 117.000 TON VIVAS	
3	0240	FAJAS ALIMENTACION MOLINOS SAG	
4	0391	ESTANQUES ALMACENAMIENTO LECHADA DE CAL	
5	0220	SALA ELECTRICA FAJA OVERLAND	
6	0240	SISTEMA CARGA BOLAS A MOLINO SAG	
7	0240	SISTEMA CARGA BOLAS A MOLINO BOLAS	
8	0310	PLANTA MOLENDA	
9	0310	UNIDADES DE ENFRIAMIENTO MOLINOS SAG (CHILLERS)	
10	0320	PLANTA CHANCADO DE PEBBLES	
11	0320	PIA ACOPIO DE PEBBLES CAP. 6200 m3	
12	0320	SALA ELECTRICA PLANTA CHANCADO DE PEBBLES	
13	0330	PLANTA DE FLOTACION	
14	0330	PLANTA REMOLENDA	
15	0330	SALA ELECTRICA FLOTACION	
16	0531	FILTROS ARMONICOS	
17	0330	RESONANCIA EMERGENCIA FLOTACION CAP. 4200 m3	
18	0340	ESPESADOR DE CILINDROS 80 MTS	
19	0340	SALA ELECTRICA ESPESADOR DE CILINDROS	
20	0340	RESONANCIA EMERGENCIA CONCENTRADO CAP. 16200 m3	
21	0400	PLANTA DE FILTROS	
22	0430	ESTANQUE ALMACENAMIENTO DE CONCENTRADO CAP. 47.000 m3	
23	0531	SUBESTACION ELECTRICA PRINCIPAL	
24	0391	PLANTA DE CAL	
25	0391	SALA ELECTRICA AREA PLANTA CAL Y REACTIVOS	
26	0392	PLANTA REACTIVOS	
27	0392	PLANTA FLOCULANTES PARA RELAVES	
28	0392	PLANTA FLOCULANTES PARA CONCENTRADO	
29	0393	SALA COMPRESORES	
30	0510	ESPESADORES DE RELAVES 80 MTS	
31	0510	SALA ELECTRICA ESPESADORES DE RELAVES	
32	0510	SERVINA AGUA RECUPERADA CAP. 837 m3	
33	0510	CAJON DESCARGA FINAL RELAVES	
34	0810	EDIFICIO ADMINISTRACION	
35	0520	BOVEDA GENERAL	
36	0530	LABORATORIO METALURGICO	
37	0520	TALLER ELECTROMECANICO	
38	0521	ESTANQUE AGUA FRESCA & AGUA INCENDIO CAP. 9933 m3	
39	0521	PLANTA AGUA POTABLE	
40	0521	ESTANQUE AGUA POTABLE	
41	0521	RESONANCIA AGUA DE PROCESOS CAP. 25300 m3 (CV)	
42	0521	CANALETAS AGUAS CONTACTADAS	
43	0522	CANAL DE CONTORNO AGUAS NO CONTACTADAS	
44	0521	SISTEMA EMERGENCIA BOMBAS AGUAS CONTRA INCENDIO	
45	0522	PLANTA TRATAMIENTO AGUAS SERVIDAS	
46	0521	SALA ELECTRICA PISCINAS AGUA DE PROCESOS	

LEYES		
ITEM	AREA	DESCRIPCION
47	0410	ESPESADOR DE CILINDROS 80 MTS
48	0370	FILTRO Y SECADOR MOLENDO
49	0370	SALA ELECTRICA PLANTA MOLENDO
50	0370	ESPESADOR DE MOLENDO
51	0370	ESTANQUE ALMACENAMIENTO NAHS
52	0370	CELDA COLUMNAS PLANTA MOLENDO
53	0370	REMOLENDA PLANTA MOLENDO
54	0370	FLOTACION PLANTA MOLENDO
55	0370	ESTANQUE ALMACENAMIENTO COMBUSTIBLE
56	0370	ESTANQUE ALMACENAMIENTO ACIDO SULFURICO
57	0400	SALA ELECTRICA PLANTA DE FILTROS

REV. N°	FECHA	REVISION	POR	CHG.	SUPN.	TRX	COMENT.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Bechtel Chile Ltda.

APROBACION: [] FECHA: []

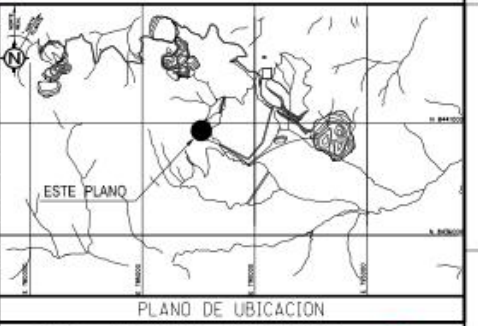
TRABAJO: []

PROYECTO: []

OTRO: []

Job No. 25635

PLANO: 25635-220-P1-0000-00204



PROYECTO LAS BAMBAS

XSTRATA BECHTEL ALLIANCE

GENERAL DISPOSICION GENERAL PLANTA CONCENTRADORA

3.3. Proceso productivo de Las Bambas

Las Bambas está diseñada para tratar un promedio de 140,000 toneladas de mineral por día a fin de producir concentrados de cobre y molibdeno.

Figura 3 Planta Concentradora



Fuente: Las Bambas

Figura 4 Planta Concentradora

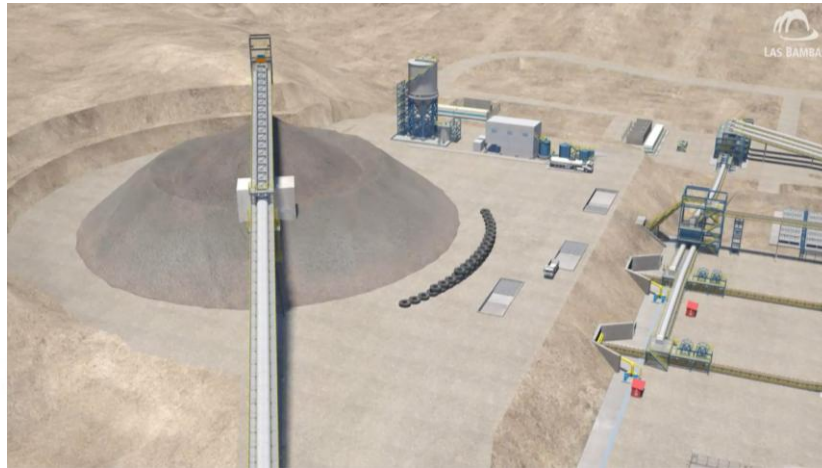


Fuente: Las Bambas

El mineral mina proveniente del yacimiento Ferrobamba es transportado en camiones y es alimentado a las dos chancadoras giratorias las cuales reducen el mineral hasta un tamaño de partículas de -150 mm , luego en material triturado se descarga por medio de

alimentadores de placas hacia la faja de sacrificio la que a su vez descarga sobre las fajas transportadoras número 1 y número 2 para finalmente enviarlo a la pila de almacenamiento (stock pile) de mineral grueso.

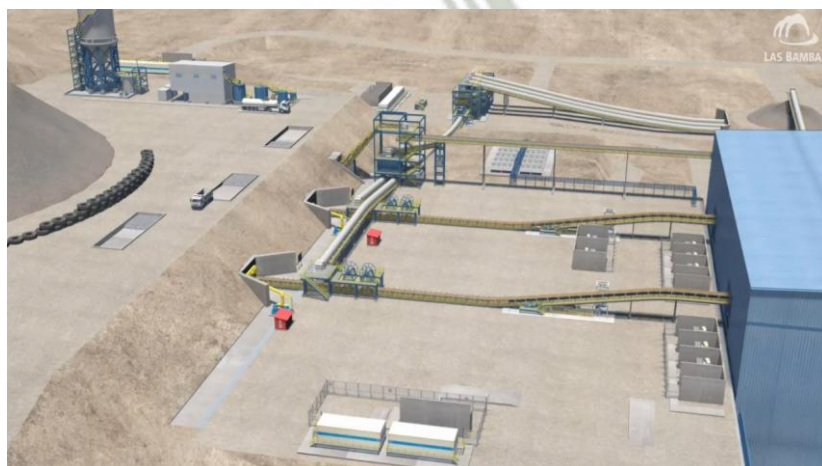
Figura 5 Área - 0230 Stacker



Fuente: Las Bambas

La pila de almacenamiento tiene una capacidad viva de 105,000 toneladas, el mineral es extraído de la pila por medio de 8 alimentadores de placas (4 por línea) hacia las fajas de alimentación a los molinos SAG número 1 y numero 2 donde se agregan bolas de molienda de 5 pulgadas y material proveniente de las fajas de retorno del chancadora pebbles.

Figura 6 Área - 0240 Túnel de recuperación



Fuente: Las Bambas

Los molinos SAG miden 40 por 22 pies, en la descarga de cada molino se tiene un tonel corto para la clasificación del producto molido, el sobre tamaño es enviado a las zarandas vibratorias y el bajo tamaño (-13 mm) es alimentado al cajón de alimentación de los nidos de ciclones, cada cajón alimenta 2 líneas de nidos de ciclones donde la descarga es alimentada a los molinos de bolas que miden 26 por 40 pies y el bajo tamaño es enviado al proceso de flotación y remolienda con una granulometría de 240 μm y un 38% de sólidos.

Figura 7 Área - 0330 Flotación y Remolienda



Fuente: Las Bambas

El sobre tamaño de las zarandas vibratorias se descarga en la faja colectora 1 cual transporta los pebbles hacia la faja de alimentación de la pila de almacenamiento, de aquí son extraídos por medio de 3 fajas en paralelo que alimentan a 3 chancadoras de pebbles para obtener un tamaño de partículas de -13 mm, el producto de las 3 chancadoras es colectado en una única faja que descarga los pebbles chancados sobre las fajas de retorno.

Figura 8 Área - 0310 Molienda



Fuente: Las Bambas

Figura 9 Área - 0320 Chancadora Pebbles



Fuente: Las Bambas

Figura 10 Área - 0320 Chancadora Pebbles



Las etapas de flotación están instaladas en 4 filas de 7 celdas cada una, los concentrados de alta y baja ley de cobre son colectados independientemente y enviados a remolienda, el producto de la remolienda es alimentado a la etapa de limpieza la que se realiza en 4 partes, el concentrado producido de la tercera limpieza es enviado al proceso de espesamiento de concentrado mientras que el relave final de la flotación y de la limpieza es enviado al proceso de espesamiento de relave.

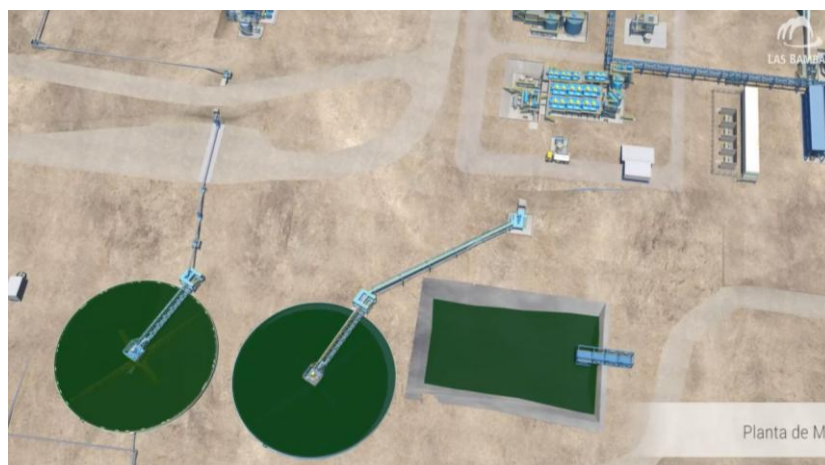
Figura 11 Área - 0330 Flotación y Remolienda



Fuente: Las Bambas

El concentrado de cobre – molibdeno fluye de manera gravitacional al espesador de concentrado colectivo donde es espesado hasta un 62% de sólidos para luego ser enviado a la planta de molibdeno.

Figura 12 Área - 0340 Espesador de Cobre - Molibdeno y 0410 Espesador de Cobre



Fuente: Las Bambas

El concentrado colectivo espesado se alimenta a la etapa de flotación donde se da la separación del cobre y el molibdeno, el concentrado de molibdeno se envía a las etapas de limpieza para luego pasar por las etapas de remolienda y espesamiento, una vez espesado el concentrado es filtrado y secado para finalmente ser puesto en sacos para su distribución.

Figura 13 Área - 0370 Molibdeno



Fuente: Las Bambas

Figura 14 Área - 0370 Molibdeno



Fuente: Las Bambas

Las colas cobre producto de la flotación y limpieza se envía al proceso de recepción de concentrado, las colas de la planta de molibdeno se alimentan al espesador de concentrado cobre donde la pulpa se espesa hasta un 65% de sólidos para luego ser enviada a la planta de filtros, en la planta de filtros se tiene instalados 3 filtros prensa donde se reduce la humedad del concentrado a un 9%, de aquí el concentrado filtrado que es descargado sobre 3 fajas a su vez descargan en la faja de alimentación la cual deposita el concentrado en la pila de almacenamiento. De la pila el concentrado de cobre es extraído por medio de cargadores frontales los cuales cargan el concentrado en camiones para su posterior transporte al puerto de Matarani.

Figura 15 Área - 0420 Planta de Filtros



Fuente: Las Bambas

Figura 16 Área - 0430 Almacén de Concentrado



Fuente: Las Bambas

Los relaves provenientes de la flotación y limpieza son enviados de manera gravitacional a los espesadores de relaves, aquí el relave es espesado a un 62% de sólidos y se descarga hasta el cajón colector desde donde se descarga de forma gravitacional hacia la presa de relaves ubicada en el sector noroeste de la planta concentradora.

Figura 17 Área - 0510 y 0530 Espesador de Relaves



Fuente: Las Bambas

Los reactivos se preparan en distintos puntos de la planta para su posterior dosificación en el proceso. Comprenden, colector primario, colector secundario y espumante; lechada de cal; floculante tanto para los espesadores de concentrado como para los espesadores de relaves; colector de molibdeno; ácido sulfúrico y sulfhidrato de sodio.

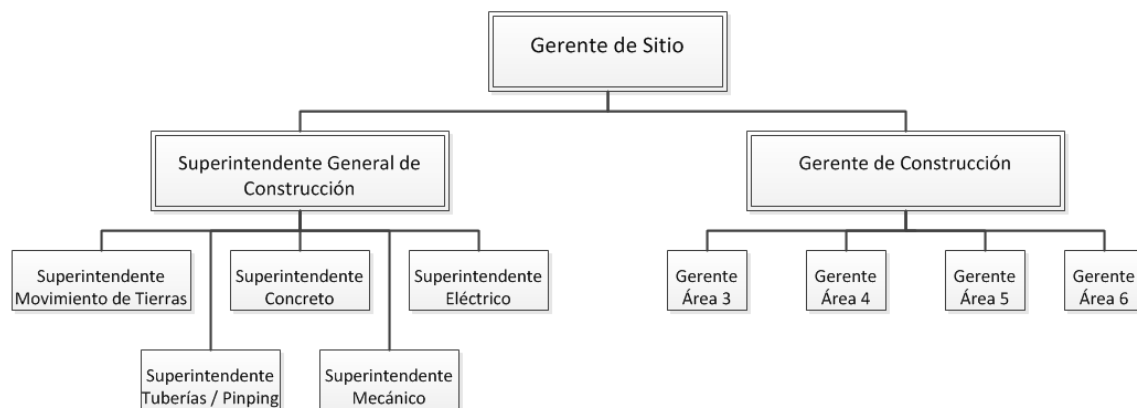
El agua es recuperada de la presa de relaves y de la poza de sedimentación para ser enviada a las pozas de agua de procesos por medio de bombas dispuestas en diferentes estaciones de balsas, reelevadora, booster1 y booster 2.

El agua fresca es captada del río Chalhuanhuacho por medio de una bocatoma y es impulsada por medio de 3 estaciones de bombas hasta la presa Chuspiri desde donde se distribuye a los puntos de consumo en la planta concentradora.

3.4. Organización

En el siguiente organigrama se detalla la línea de mando responsable del proyecto, solo figuran los responsables de las áreas y las disciplinas que interactúan directamente con el área de Movimiento de Tierras.

Figura 18 Organigrama



Fuente: Elaboración Propia

3.5. Solicitud para el servicio de Movimiento de Tierras

El equipo de Movimiento de Tierras es una área de servicio, es decir que actúa según la solicitudes de trabajo de las diferentes disciplinas que forman parte del equipo de construcción, los responsables de definir la prioridades o la criticidad de cada Tarea es la Gerencia de sitio y las diferentes Gerencias de cada Área que son soportados por la oficina de control de proyectos.

Con la finalidad de mejorar nuestros procesos y la calidad del servicio, se hizo una retroalimentación junto con los supervisores de las diferentes disciplinas usuarias y gerentes de área, de cómo sería el procedimiento adecuado para la solicitar los trabajos de Movimiento de Tierras a fin de cumplir sus solicitudes de la manera eficiente.

La secuencia se detalla a continuación.

1. Siempre anteponer nuestro valor de la Seguridad, cumpliendo el principal objetivo de cuidar la integridad física de todos nuestros colaboradores.
2. La disciplina usuaria (concreto, mecánico, tuberías o eléctrico) solicita el servicio de acuerdo a las prioridades de su cronograma de trabajo.
3. En el caso de una excavación, el usuario debe tramitar el permiso de excavación correspondiente que autoriza el trabajo de Movimiento de Tierras.

El permiso consta de las siguientes partes y características.

- Descripción del tipo de excavación solicitada.
 - Ubicación y planos del área de trabajo.
 - Firmas de los responsables de todas las disciplinas que tienen influencia dentro de esta área y que autorizan el trabajo.
 - Recomendaciones del área de ingeniería para un adecuado control de taludes durante la excavación.
 - Numero de solicitud para el servicio de trazos y/o replanteo en terreno por parte de topografía.
 - Puntos de precaución durante la excavación como por ejemplo instalaciones ocultas enterradas (tuberías y/o eléctricas).
4. Debe hacer una coordinación previa entre la disciplina usuaria y el gerente de área para facilitar el ingreso de Movimiento de Tierras al área de trabajo y así evitar interferencias por la interacción con otras disciplinas y/o si el área de trabajo no se encuentra completamente liberada.
 5. En el caso de los rellenos que deben hacer una vez completados los trabajos de las disciplina usuaria, la oficina de Movimiento de Tierras tramitara dicho permiso que tiene las mismas partes que un permiso de excavación.

6. Una vez terminados los trabajos de Movimiento de Tierras se informara al usuario la entrega del área de trabajo para su ingreso.
7. De haber alguna inconformidad de calidad durante la entrega de la excavación y/o relleno debido al cambio de las condiciones del terreno o del material a utilizar para los rellenos, el área de Ingeniería dará la alternativa de solución para levantar la observación.
8. En el caso que la interacción entre diferentes disciplinas en la misma área de trabajo retrase o interrumpa las actividades de Movimiento Tierras, el gerente de área deberá decidir quién tiene la prioridad para trabajar en esa área.

3.6. Análisis de riesgos

Para el análisis de riesgos, se emplearon los siguientes recursos de análisis cualitativo de riesgos y herramientas de gestión, que se han establecido como puntos de agendas en las reuniones de coordinación en obra:

- Identificar los posibles riesgos asociados a cada tarea considerando su ubicación y el entorno donde se va a desarrollar.
- Comparar alternativas de solución ante algún evento que pueda generar retraso en la entrega de cada tarea.
- Las coordinaciones y toma de decisiones se efectuaran con el gerente de cada área de la planta concentradora.
- Se evitara el cambio de prioridades o el cambio de ubicación de los recursos ya destinados para las tareas programadas.

A continuación se detallan los riesgos identificados para los trabajos de excavación y relleno.

Tabla 2 Principales riesgos identificados

1	Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST
2	Extensión de la duración del almuerzo
3	Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica
4	Cambio en las condiciones del terreno
5	Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural
6	Interferencia con otras disciplinas
7	Equipos paralizados por falta de combustible
8	Control de compactación no satisfactorio
9	Equipos inoperativos
10	Ocurrencia de incidente (seguridad)
11	Trabajos sobre instalaciones enterradas
12	Retraso en los ciclo de los volquetes
13	Equipos paralizados por mantenimiento
14	Retraso en la liberación del área de trabajo
15	Excavación manual
16	Cambio en el alcance de la tarea
17	Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación
18	Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación
19	Retraso o errores en la emisión del permiso de relleno

Estos resultados son una fuente de información importante para hacer simulación debido a que representa la opinión de profesionales del área de la planificación de proyectos que han trabajado en proyectos y conocen las fallas o potenciales riesgos en los proyectos del rubro. De esta forma es posible preparar un matriz de probabilidad e impacto como la que muestra a continuación, en que se multiplica la probabilidad de ocurrencia de un evento de riesgo con el impacto que pueda tener en el cronograma. Hecho esto es posible identificar en la matriz, el rango de valores para cierto evento de riesgo.

En la siguiente tabla se presenta un ejemplo de cómo podría quedar una matriz “Probabilidad x Impacto” en donde el color nos permite tomarlas siguientes acciones

- Verde: Leve-Ignorar
- Amarillo: Medio-Mitigar
- Rojo : Alto-Evitar

Tabla 3 Matriz Probabilidad e Impacto

		Impacto					
		1	2	3	4	5	
Probabilidad	Nivel	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto	
	5	Muy alta	5	10	15	20	25
	4	Alta	4	8	12	16	20
	3	Media	3	6	9	12	15
	2	Baja	2	4	6	8	10
	1	Muy baja	1	2	3	4	5

Nivel	Valoración	% Retraso
Muy baja	1 - 5	5.00%
Baja	6 - 8	10.00%
Media	9 - 10	20.00%
Alta	12 - 16	30.00%
Muy alta	20 - 25	40.00%

Con los datos obtenidos de la identificación de riesgos y aplicando la matriz de la tabla anterior se pueden ordenar los eventos de riesgos según la importancia que ellos tienen.

En las reuniones de obra realizadas con anterioridad se tomaron decisiones en cuanto a la gestión de riesgos identificados, ya sea para mitigarlos, transferirlos, adoptarlos o aceptarlos.

A continuación, se presenta una lista de algunos de los riesgos de mayor importancia identificados en la planificación de la construcción de la cúpula, y las decisiones que se tomaron para gestionarlos:

Tabla 4 Respuestas a los riesgos

RIESGOS	RESPUESTA (ACCION TOMADA)
Cuadrilla no cumple con el rendimiento esperado	<p>Motivación continua al personal que participa en la tarea, asignándoles responsabilidades específicas, así comprenden el papel que cumple su participación durante el trabajo.</p> <p>No sobre cargar de tareas, asignar metas claras de cumplimiento diarias, esto permite controlar de manera eficiente los recursos asignados.</p> <p>Comunicación directa y rápida entre el personal y la supervisión a fin de obtener una respuesta rápida ante situaciones que</p>

	<p>puedan generar incertidumbre y esta a su vez retraso en el cumplimiento de la tarea.</p> <p>Supervisión permanente.</p>
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	<p>Se estandarizaron los temas a tratar en la charla de inicio de jornada, y se capacito al personal en el conocimiento de los procedimientos escritos de trabajo con la finalidad que esa información los ayude en la elaboración más rápida de los análisis de seguridad en el trabajo (AST).</p> <p>Se decidió que el personal de movimiento de tierras almuerce una hora distinta a la del resto de disciplinas a fin de evitar la saturación en los comedores, donde sumando el tiempo de atención y descanso correspondiente al personal en ocasiones excedía las 2 horas, disminuyendo las horas de producción.</p>
Retraso en la emisión del permiso de excavación	Se establecieron reuniones y comunicación directa con los responsables de las diferentes disciplinas usuarias antes de la fecha del inicio de la tarea a fin de estar informados como va avanzando el trámite de los permisos de excavación.
Retraso en la emisión del permiso de relleno	La solicitud del permiso la hará personal de movimiento de tierras con 5 días de anticipación al inicio de la tarea.
Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	Con un día de anticipación al inicio de la tarea se coordina con el área de topografía para hacer el trazo en el sitio de trabajo según los datos del permiso de excavación donde adicional se pueden mencionar posibles interferencias enterradas. Esto también facilita la absolución de consultas por parte del personal de movimiento de tierras de ser necesario.
Retraso en marcar los niveles topográficos para el relleno	Con un día de anticipación al inicio de la tarea se coordina con el área de topografía para hacer el trazo en el sitio de trabajo según los datos del permiso de relleno. Esto también facilita la absolución de consultas por parte del personal de movimiento de tierras de ser necesario.
Trabajos sobre interferencias enterradas	<p>Solicitar el trazo topográfico de las interferencias.</p> <p>Dependiendo de la profundidad donde se encuentre enterrada la interferencia se podrá excavar con equipo, después se continuara con la excavación de forma manual a fin de evitar daños materiales y retrabajos.</p>
Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otras disciplinas	Coordinar directamente con el Gerente de Área a fin de que el inicio y secuencia de los trabajos programados estén previamente coordinados, anteponiendo nuestro valor de la seguridad evitando incidentes con daño personal y/o material así como interrupciones y retrasos entre las diferentes disciplinas que trabajan en la misma área.
Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	<p>Se coordinó con el responsable del Área de Mantenimiento los siguientes puntos:</p> <p>Ante la situación de que el equipo quede inoperativo durante la jornada de trabajo se enviaran los mecánicos a la brevedad posible para evaluar la situación y/o reparar el equipo. Por su parte, el supervisor de movimiento de tierras evaluara la posibilidad de traer otro equipo como reemplazo de ser necesario de algún frente no considerado crítico ante la</p>

	<p>posibilidad que la reparación tome demasiado tiempo.</p> <p>El mantenimiento preventivo de los equipos serán informados a la supervisión de movimiento de tierras para gestionar la ubicación de los equipos dependiendo de la criticidad de los trabajos a ejecutar.</p> <p>Los operadores de los equipos reportaran el reabastecimiento de combustible cuando el marcador señale medio tanque lleno, esto como medida preventiva ante el muy posible caso que la cisterna de combustible demore en acercarse para el reabastecimiento. Por su parte el Área de Mantenimiento ayudara con el pronto envío de la cisterna.</p>
<p>Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural</p>	<p>Se tendrá comunicación directa con la cantera que entrega el material seleccionado a fin prever el avance diario de acuerdo al despacho de material.</p> <p>Se dará prioridad para el despacho de material a las tareas consideradas críticas.</p>
<p>Cambio de las condiciones de terreno</p>	<p>Si durante la excavación se presentan cambios desfavorables en las condiciones de terreno, como un cambio a un estrato rocoso o también es posible el afloramiento de agua que dificultara la entrega de la excavación para alguna fundación estructural, estos casos se reportaran al Área de Ingeniería a fin de que a la brevedad brinden alguna alternativa de solución, la cual se evaluara si requiere o no alguna variación en el plazo de entrega.</p> <p>Se tendrá como medida de contingencia la posibilidad de contar con equipo adicional específico para excavaciones en roca como equipos con martillos hidráulicos, perforadoras o buldócer con ripper a fin de debilitar o retirar el estrato rocoso.</p>
<p>Control de compactación no satisfactorio</p>	<p>El material de relleno debe ser protegido de las lluvias tanto en la cantera con el sitio de trabajo con mantas impermeables.</p> <p>No se realizaran los trabajos de relleno con material que se encuentre con un nivel de saturación elevada.</p> <p>Al presenciar acolchonamiento del material de relleno durante la compactación se suspenderá el relleno y el material tendrá que ser disturbado para que pierda humedad a temperatura ambiente.</p> <p>Los rellenos ya terminados también deben ser protegidos de las lluvias con mantas impermeables.</p>
<p>Ocurrencia de incidente (seguridad)</p>	<p>A todo el personal nuevo se le realizara una inducción específica del área acerca de los procedimientos, documentación y de los riesgos comunes asociados a las actividades de movimiento de tierras.</p> <p>Se cumplirán con todos los procedimientos y normas de seguridad ya establecidos a fin de mitigar actos y condiciones que perjudique la salud del trabajador como prioridad así como a los bienes materiales.</p> <p>Antes de realizar cualquier trabajo se debe hacer un AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) donde participen todos los involucrados, el documento debe estar con todas las firmas antes del inicio de la tarea.</p>

	Se capacitara al personal con los cursos de vigías, herramientas de poder, trabajos en altura y espacios confinados según las responsabilidades que se asigne a cada uno.
Cambio en el alcance de la tarea	Si durante la ejecución de los trabajos se presenta algún cambio de alcance este se evaluara para confirmar si altera o no la fecha de entrega la cual será reportada a la Gerencia.
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	En el caso de tormentas eléctricas o lluvia intensa las tareas serán paralizadas anteponiendo nuestro valor de la seguridad, las horas de trabajo suspendido no serán consideradas dentro del plazo de entrega. La hora de inicio de los trabajos se adelantó a las 6:00 am ya que por la estación las tormentas se reportaban con mayor frecuencia en horas de la tarde.

3.7. Proceso implementación del método de Cadena Crítica

En el caso de Movimiento de Tierras durante la semana en diferentes áreas de la Planta se encuentran tareas críticas que son de cumplimiento obligatorio para no perjudicar el avance de otras disciplinas (concreto, piping, mecánicos o eléctricos) y así evitar retrasos en el plazos de entrega del proyecto.

- Reducir la estimación de duración de las Tareas en un 50% o menos dependiendo de la experiencia de trabajos anteriores y las particularidades de cada frente de trabajo, La duración de la Tarea son estimaciones que tienen un tiempo de seguridad excesiva (la protección que se corta de las tareas individuales se agregan como Buffers en el proyecto).

La reducción de las estimaciones pueden ser menores al 50% dependiendo de la opinión del supervisor responsable considerando la dificultad de la tarea, su ubicación y el entorno donde se desarrolla, esto con la finalidad de dar estimaciones acertadas.

- Insertar el Buffer al final del tiempo total de la Cadena Crítica (considerar el 50% de la longitud de la Cadena Crítica).

- Proteger la Cadena Crítica de la falta de disponibilidad de recursos con los Buffers de recursos.
- Proporcionar los recursos hasta completar la duración de la actividad, evitando de esta forma la multitarea.
- Asegurar que los recursos ofrezcan el rendimiento esperado.
- Utilizar el consumo de los Buffers como indicadores de cumplimiento y para tomar las medidas correctivas con anticipación.

3.8. Seguimiento del proyecto mediante el consumo del Buffer

La Cadena Crítica plantea dos indicadores para el seguimiento y control durante la ejecución de un proyecto.

- El Porcentaje de avance en la Cadena Crítica, este indicador corresponde a la relación entre la duración prevista del trabajo realmente ejecutado y la duración total de la Tarea.
- Porcentaje de consumo del Buffer de la Tarea, este indicador corresponde a la relación entre la duración consumida del Buffer y la duración total del Buffer.

Estos indicadores se basan en el hecho que a cada tarea se le registra tiempo real solo hasta la duración planteada y, si se ha consumido más de este tiempo, el exceso se registra en el consumo de Buffer.

Otro indicador se obtiene al calcular la relación entre el porcentaje de avance en la Cadena Crítica y el porcentaje de consumo del Buffer de la Tarea. En donde un valor mayor a 1 significa que la Tarea posee un rendimiento mayor al planeado; un valor igual a 1 significa que el rendimiento de la Tarea es igual a lo planeado y un valor menor a 1 significa que el proyecto posee un rendimiento menor del planeado.

Hay que tener en cuenta que los Buffers no son holguras del proyecto, sino elementos básicos de la programación, por lo que su función es gastarlos. La principal característica en el uso de Buffers es que la realización de las actividades de la Cadena avance a un ritmo mayor que el del consumo de los Buffers.

El control basado en este tipo de tablas potencia que el equipo enfoque sus esfuerzos en los casos en los que existe un peligro real de no terminar a tiempo, evitando reaccionar ante falsas alarmas ocasionadas por pequeñas variaciones en las estimaciones del calendario.

3.9. Supuestos

- Las Tareas Críticas son identificadas y definidas por el área de Control de Proyectos.
- La reducción de las duraciones de cada tarea se hará utilizando el criterio del 50%, es decir si un tarea dura 8 días se asume que en promedio se completa en 4 días. Si existe la certeza de que la tarea debe tener una reducción menor se tomara en cuenta la experiencia y particularidades de cada frente de trabajo.
- Para la construcción de las Planta Concentradora se trabajaron varios frentes que no están considerados en el análisis de resultados ya que no son tareas críticas.
- Los días laborables son de lunes a domingo por jornales de 10 horas cada día
- El análisis solo corresponde a las tareas críticas definidas por el área de control de proyectos y que fueron solicitadas a ejecutar por la Gerencia.

3.10. Análisis de los casos de estudio

En el presente capítulo se desarrollara el estudio de las tareas ejecutadas en las diferentes área de la planta concentradora donde se identificaran diferentes riesgos dependiendo del tipo de tarea así como del lugar donde se ejecutan. De igual manera se implementaran medidas de respuesta para hacer factible la aplicación de la metodología de Cadena Crítica y poder reducir los tiempos de entrega.

3.10.1. Análisis N°1: Área 0230 Stacker

3.10.1.1. Tareas críticas programadas

Los trabajos programados son los siguientes:

- Área 0230 – Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile

La cantidad de excavación proyectada es de 7,734.00 m³

3.10.1.2. Identificación y valoración de riesgos

A continuación se muestran la lista de riesgos identificados propios de esta tarea y del área donde se desarrolla así como los resultados de su valoración según la matriz de Probabilidad – Impacto.

Los valores resaltados de rojo y amarillo merecen un plan de respuesta preventiva ya que su ocurrencia podría generar algún retraso en el plazo de entrega de los trabajos.

Tabla 5 Probabilidad – Impacto del Área 0230

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	4	4	16
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	3	3	9
3. Retraso en los ciclo de los volquetes	3	3	9
4. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	1	1	1
5. Trabajos sobre instalaciones enterradas	1	2	2

6.	Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	2	4	8
7.	Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	3	3	9
8.	Cambio en las condiciones del terreno	4	4	16
9.	Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
10.	Cambio en el alcance de la tarea	1	3	3
11.	Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	4	4	16

Estos resultados, nos ayudaran para identificar los riesgos que pudieran ocurrir durante la ejecución de cada tarea, así como la posibilidad de poder estimar la Duración Pesimista y poder realizar un análisis bajo la simulación de Monte Carlo.

Para el cálculo de la Duración Pesimista se considerará el porcentaje de retraso según la máxima valoración del riesgo obtenido de la matriz Probabilidad – Impacto.

Nivel	Valoración	% Retraso
Muy baja	1 - 5	5.00%
Baja	6 - 8	10.00%
Media	9 - 10	20.00%
Alta	12 - 16	30.00%
Muy alta	20 - 25	40.00%

3.10.1.3. Duraciones proyectadas de ejecución

A continuación se detallaran los criterios para establecer las duraciones de los tiempos esperado, optimista y pesimista que serán utilizados para la simulación Monte Carlo

1. **Duración Esperada:** Se calcula dividiendo el valor del metrado (Item 3.11.1) entre el rendimiento del análisis de costos unitarios (Item 3.11.2), el valor del resultado es redondeado al valor entero superior.
 - a. Análisis de costos unitarios: (Item 3.11.2)

Partida	01.01 EXCAVACION PARA LA PLATAFORMA DEL STACKER Y DEL STOCKPILE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 400.0000	EQ: 400.0000	Costo unitario directo por: M3			7.35
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0250	9.42	0.24	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0250	8.56	0.21	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.0500	7.47	0.37	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0250	6.90	0.17	
1.00							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	1.00	0.03	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	4.0000	0.1000	40.23	4.02	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0250	92.11	2.30	
6.36							

b. Calculo de la Duración Esperada: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion Esperada = \frac{Cantidad (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Esperada
0230	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	7,734.00	400.00	20.00
Total		7,734.00		20.00

2. **Duración Optimista:** El valor de la duración optimista es asumido considerando la opinión, conocimiento y experiencia de los supervisores de campo, evaluando la tarea y el entorno donde se desarrolla, se considerará una variación de los recursos y del rendimiento en el análisis de costos unitarios con la finalidad de poder asumir teóricamente una duración menor de término de la tarea.

a. Análisis de costos unitarios:

Partida	01.01 EXCAVACION PARA LA PLATAFORMA DEL STACKER Y DEL STOCKPILE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 440.0000	EQ: 440.0000	Costo unitario directo por: M3			7.60
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0227	9.42	0.21	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0227	8.56	0.19	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.0455	7.47	0.34	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0227	6.90	0.16	
0.91							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	0.91	0.03	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	5.0000	0.1136	40.23	4.57	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0227	92.11	2.09	
6.69							

- b.** Calculo de la Duración Optimista: Considerando la variación en la estimación de los recursos y el rendimiento en el análisis de costos unitarios, el resultado se obtiene según la formula.

$$Duracion\ Optimista = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Optimista
0230	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	20.00	7,734.00	440.00	18.00

- 3. Duración Pesimista:** Se calcula considerando el valor de la duración esperada, la máxima valoración obtenida de la Tabla de Probabilidad – Impacto (Tabla 5) junto con el porcentaje de retraso correspondiente (Tabla 3).

- a.** Máxima Valoración Probabilidad – Impacto (Tabla 5) y Porcentaje de retraso (Tabla 3):

Área	Tarea	Máximo Valor Pxl	% Retraso
0230	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	16.00	30.00%

- b.** Calculo de la Duración Pesimista: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Pesimista = Duracion\ Esperada \times (1 + \% Retraso)$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Factor (1+%Retraso)	Duración Pesimista
0230	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	20.00	1.30	26

Como resumen de los análisis antes mostrados, se presenta la siguiente tabla de duraciones considerando los 3 posibles escenarios incluyendo el metrado.

Tabla 6 Duraciones

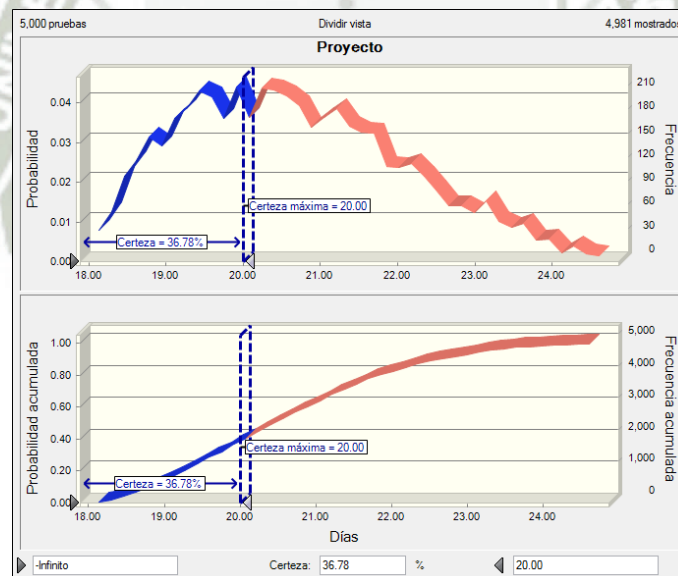
Área	Tarea	Cantidad m3	Duración Optimista	Duración Esperada	Duración Pesimista
0230	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	7,734.00	18.00	20.00	26.00

3.10.1.4. Simulación Monte Carlo

Con el apoyo del Software Crystal Ball se realiza la simulación Monte Carlo considerando las 3 posibles duraciones dadas.

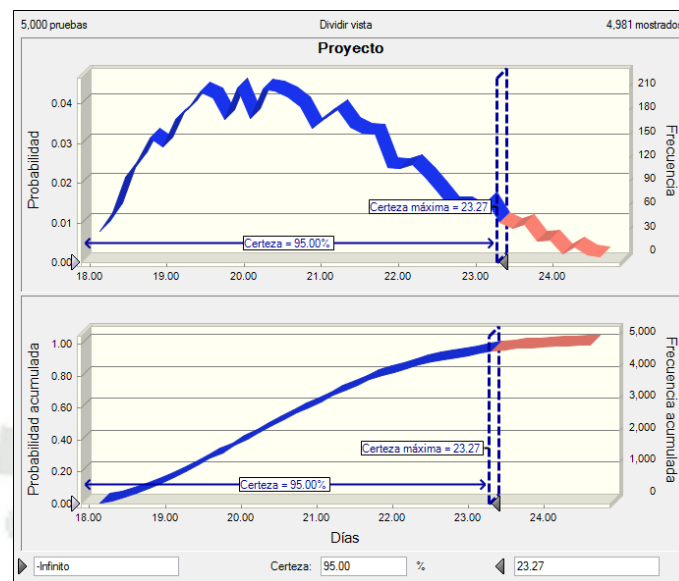
El primer resultado de la simulación, muestra que la probabilidad de cumplir con las tareas en un plazo de 20 días considerando la duración esperada, solo tiene una probabilidad del 36.78 %.

Figura 19 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada



De igual manera los resultados muestran que la duración total de la tarea con una probabilidad del 95% es de 23.27 días.

Figura 20 Probabilidad de ocurrencia al 95%



Esta simulación, permite dar tiempos de duración confiables y poder cumplir con las fechas de término comprometidas.

3.10.1.5. Programación con Cadena Crítica

Considerando los resultados de los análisis anteriores y los criterios de cadena crítica (CCPM) se estimaran las reducciones de las duraciones de las tareas, colocando los buffers donde sean necesarios y evitando proteger cada tarea de manera individual.

La simulación Monte Carlo dio como resultado una duración de 23.27 días, para este caso se redondeará la cifra a 24 días, en la siguiente tabla se muestran las nuevas duraciones a considerar en el análisis CCPM donde los valores se expresan en días.

Tabla 7 Programación CCPM

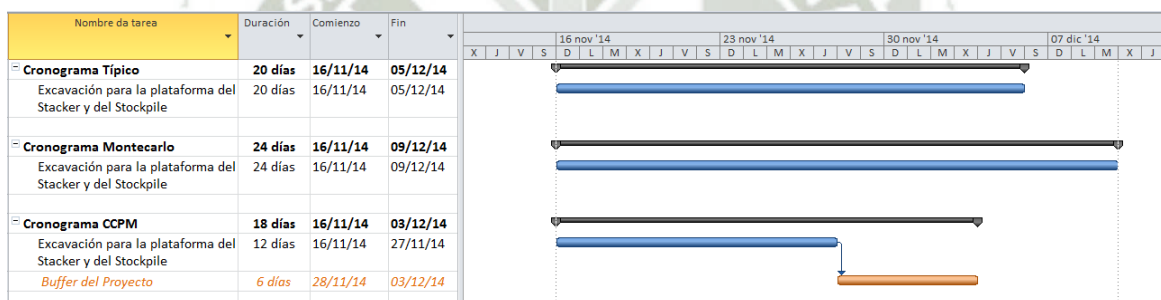
Área	Tarea	Duración Simulada	% de Reducción	Duración Reducida	Buffer de Recursos	Buffer de Proyecto	Duración CCPM
0230	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	24.00	50.00%	12.00	0.00	6.00	18.00

La duración reducida es el producto de la duración simulada y el porcentaje de reducción, este último se obtiene luego del análisis de los supervisores a cargo que consideran el tipo de tarea, su ubicación y el entorno donde se desarrolla.

El buffer del proyecto es considerado el 50% de la diferencia entre la duración simulada y la duración reducida. De igual manera el valor de la duración total es la suma de la duración reducida del buffer de recursos y del buffer del proyecto.

A continuación se muestran los cronogramas bajo la simulación Monte Carlo y el cronograma considerando la metodología de Cadena Crítica, en ambos se consideraron los valores redondeados de las diferentes duraciones.

Figura 21 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM



Comparando el cronograma simulado con Monte Carlo y el cronograma bajo CCPM, la duración de la tarea se redujo teóricamente de 24 días a 18 días es decir en un 25%, seguidamente se analizara qué medidas se tienen que tomar para poder cumplir con esta meta.

3.10.1.6. Respuesta a los riesgos

Para respaldar las acciones a tomar a fin de reducir los tiempos de entrega de las tareas según Cadena Crítica, es necesaria la evacuación y control de los riesgos identificados antes de la ejecución de cada tarea.

De la identificación y valoración de riesgos mencionado anteriormente, se considerará a los eventos no deseados resaltados en verde y rojo según la matriz de Probabilidad - Impacto para implementar medidas de control ya que estos son los que podrían tener mayor impacto negativo en el tiempo de entrega de cada tarea.

Tabla 8 Riesgos y acciones tomadas

RIESGOS	RESPUESTA (ACCION TOMADA)
<p>Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo</p>	<p>Se estandarizaron los temas a tratar en la charla de inicio de jornada, y se capacito al personal en el conocimiento de los procedimientos escritos de trabajo con la finalidad que esa información los ayude en la elaboración más rápida de los análisis de seguridad en el trabajo (AST).</p> <p>Se decidió que el personal de movimiento de tierras almuerce una hora distinta a la del resto de disciplinas a fin de evitar la saturación en los comedores, donde sumando el tiempo de atención y descanso correspondiente al personal en ocasiones excedía las 2 horas, disminuyendo las horas de producción.</p>
<p>Cuadrilla no cumple con el rendimiento esperado</p>	<p>Motivación continua al personal que participa en la tarea, asignándoles responsabilidades específicas, así comprenden el papel que cumple su participación durante el trabajo.</p> <p>No sobre cargar de tareas, asignar metas claras de cumplimiento diarias, esto permite controlar de manera eficiente los recursos asignados.</p> <p>Comunicación directa y rápida entre el personal y la supervisión a fin de obtener una respuesta rápida ante situaciones que puedan generar incertidumbre y esta a su vez retraso en el cumplimiento de la tarea.</p> <p>Supervisión permanente.</p>
<p>Retraso en la emisión del permiso de excavación</p>	<p>Se establecieron reuniones y comunicación directa con los responsables de las diferentes disciplinas usuarias antes de la fecha del inicio de la tarea a fin de estar informados como va avanzando el trámite de los permisos de excavación.</p>
<p>Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otras disciplinas</p>	<p>Coordinar directamente con el Gerente de Área a fin de que el inicio y secuencia de los trabajos programados estén previamente coordinados, anteponiendo nuestro valor de la seguridad evitando incidentes con daño personal y/o material así como interrupciones y retrasos entre las diferentes disciplinas que trabajan en la misma área.</p>
<p>Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible</p>	<p>Se coordinó con el responsable del Área de Mantenimiento los siguientes puntos:</p> <p>Ante la situación de que el equipo quede inoperativo durante la jornada de trabajo se enviaran los mecánicos a la brevedad posible para evaluar la situación y/o reparar el equipo. Por su parte, el supervisor de movimiento de tierras evaluara la posibilidad de traer otro equipo como reemplazo de ser</p>

	<p>necesario de algún frente no considerado crítico ante la posibilidad que la reparación tome demasiado tiempo.</p> <p>El mantenimiento preventivo de los equipos será informado a la supervisión de movimiento de tierras para gestionar la ubicación de los equipos dependiendo de la criticidad de los trabajos a ejecutar.</p> <p>Los operadores de los equipos reportaran el reabastecimiento de combustible cuando el marcador señale medio tanque lleno, esto como medida preventiva ante el muy posible caso que la cisterna de combustible demore en acercarse para el reabastecimiento. Por su parte el Área de Mantenimiento ayudara con el pronto envío de la cisterna.</p>
<p>Cambio de las condiciones de terreno</p>	<p>Si durante la excavación se presentan cambios desfavorables en las condiciones de terreno, como un cambio a un estrato rocoso o también es posible el afloramiento de agua que dificultara la entrega de la excavación para alguna fundación estructural, estos casos se reportaran al Área de Ingeniería a fin de que a la brevedad brinden alguna alternativa de solución, la cual se evaluara si requiere o no alguna variación en el plazo de entrega</p> <p>Se tendrá como medida de contingencia la posibilidad de contar con equipo adicional específico para excavaciones en roca como equipos con martillos hidráulicos, perforadoras o buldócer con ripper a fin de debilitar o retirar el estrato rocoso.</p>
<p>Ocurrencia de incidente (seguridad)</p>	<p>A todo el personal nuevo se le realizara una inducción específica del área acerca de los procedimientos, documentación y de los riesgos comunes asociados a las actividades de movimiento de tierras.</p> <p>Se cumplirán con todos los procedimientos y normas de seguridad ya establecidos a fin de mitigar actos y condiciones que perjudique la salud del trabajador como prioridad así como a los bienes materiales.</p> <p>Antes de realizar cualquier trabajo se debe hacer un AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) donde participen todos los involucrados, el documento debe estar con todas las firmas antes del inicio de la tarea.</p> <p>Se capacitara al personal con los cursos de vigías, herramientas de poder, trabajos en altura y espacios confinados según las responsabilidades que se asigne a cada uno.</p>
<p>Factor climático</p>	<p>En el caso de tormentas eléctricas o lluvia intensa las tareas serán paralizadas anteponiendo nuestro valor de la seguridad, las horas de trabajo suspendido no serán consideradas dentro del plazo de entrega.</p> <p>La hora de inicio de los trabajos se adelantó a las 6:00 am ya que por la estación las tormentas se reportaban con mayor frecuencia en horas de la tarde.</p>

Una vez controlados los riesgos se ejecutarán los trabajos considerando como plazo de entrega el cronograma bajo la metodología de cadena crítica.

3.10.1.7. Control de avance

Una vez planteado el nuevo cronograma se podrá hacer seguimiento al avance de cada tarea utilizando el cuadro de control, relacionando el porcentaje de avance del proyecto respecto al porcentaje de consumo del buffer del proyecto.

Tabla 9 Cuadro de control de avance diario

Tarea	N°	Día	Cantidad m3	Acumulado m3	% Tarea Completada	% Buffer Utilizado
Excavación para las fundaciones de la plataforma del Stacker y del Stockpile	1	16/11	350.00	350.00	4.53%	14.02%
	2	17/11	450.00	800.00	10.34%	18.11%
	3	18/11	400.00	1,200.00	15.52%	30.56%
	4	19/11	380.00	1,580.00	20.43%	43.77%
	5	20/11	250.00	1,830.00	23.66%	92.83%
	6	21/11	280.00	2,110.00	27.28%	104.58%
	7	22/11	260.00	2,370.00	30.64%	137.28%
	8	23/11	310.00	2,680.00	34.65%	133.12%
	9	24/11	430.00	3,110.00	40.21%	104.28%
	10	25/11	400.00	3,510.00	45.38%	122.29%
	11	26/11	380.00	3,890.00	50.30%	140.33%
	12	27/11	400.00	4,290.00	55.47%	143.50%
	13	28/11	430.00	4,720.00	61.03%	133.49%
	14	29/11	350.00	5,070.00	65.55%	160.19%
	15	30/11	520.00	5,590.00	72.28%	118.72%
	16	01/12	350.00	5,940.00	76.80%	152.10%
	17	02/12	400.00	6,340.00	81.98%	141.42%
	18	03/12	390.00	6,730.00	87.02%	142.91%
	19	04/12	410.00	7,140.00	92.32%	140.81%
	20	05/12	300.00	7,440.00	96.20%	149.67%
	21	06/12	300.00	7,740.00	100.08%	150.00%

Utilizando la metodología de Cadena Crítica y con las repuestas a los riesgos identificados, se logró disminuir el tiempo de ejecución de la Tarea de 24 días a 21 días, es decir en un 13% con un consumo total del 100% del Buffer del Proyecto.

3.10.1.8. Evaluación de pérdidas

En la siguiente tabla y grafico de Pareto se muestran los eventos identificados y su incidencia durante la ejecución de la tarea.

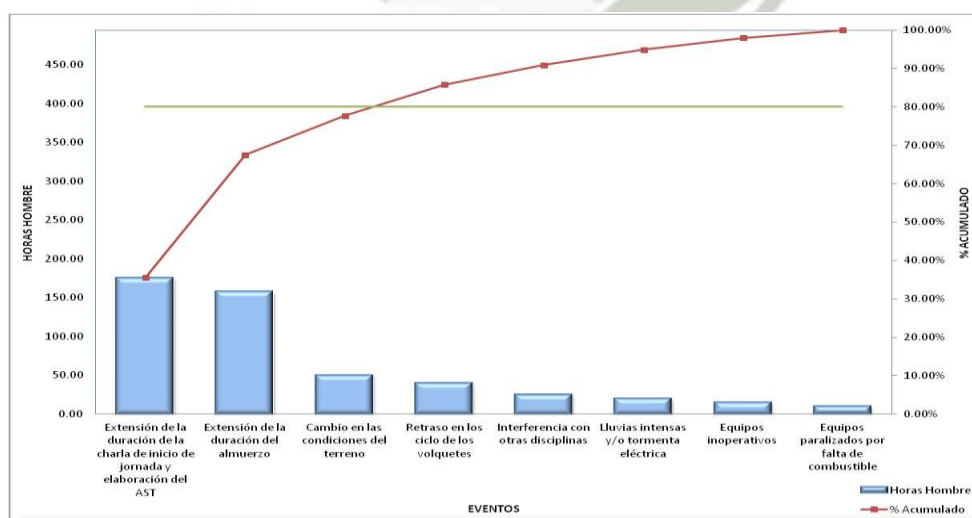
Tabla 10 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento

Eventos que afectan el cumplimiento de las duraciones estimadas	Horas Hombre	% Acumulado
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST	175.00	35.53%
Extensión de la duración del almuerzo	157.50	67.51%
Cambio en las condiciones del terreno	50.00	77.66%
Retraso en los ciclo de los volquetes	40.00	85.79%
Interferencia con otras disciplinas	25.00	90.86%
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	20.00	94.92%
Equipos inoperativos	15.00	97.97%
Equipos paralizados por falta de combustible	10.00	100.00%
Sub Total	492.50	
Total de Horas Hombre Gastadas durante la tarea	2,100.00	
Incidencia	23.45%	

La sumatoria de las horas hombre gastadas en eventos no productivos respecto al total de las horas hombre requeridas para completar las tareas en la fecha estimada, representa un 23.45%.

El diagrama de Pareto muestra las tareas con mayor incidencia en el reporte de horas hombre gastadas por la ocurrencia de eventos con causal de no cumplimiento.

Figura 22 Distribución de las causas de no cumplimiento



3.10.1.9. Productividad y rendimiento

A continuación se detallara la lista de recursos utilizada para la ejecución de la tarea, así como el análisis de productividad y rendimiento según las horas hombre gastadas considerando una jornada diaria de trabajo de 10 horas de lunes a domingo.

Tabla 11 Recursos- Excavación para la plataforma del stacker y del stockpile

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	1.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	4.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 12 Tabla de productividad y rendimiento

Tareas	Horas	Días	Cuadrilla	HH Gastadas	Promedio (m3)	Productividad (m3/hh)	Rendimiento (hh/m3)
Excavación para las fundaciones de la plataforma del Stacker y del Stockpile	10.00	21.00	10.00	2,100.00	368.57	0.18	5.70

3.10.2. Análisis N°2: Área 0330 Flotación y Remolienda, Área 0370 Molibdeno y Área 0420 Planta de Filtros

3.10.2.1. Tareas críticas programadas

Los trabajos programados son los siguientes:

- Área 0420 – Excavación para las fundaciones del edificio de filtros.

La cantidad de excavación proyectada es de 1,064.00 m3

- Área 0370 – Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones.

La cantidad de excavación proyectada es de 640.00 m3

- Área 0330 – Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda.

La cantidad de excavación proyectada es de 1,056.00 m³.

3.10.2.2. Identificación y valoración de riesgos

A continuación se muestran la lista de riesgos identificados propios de cada tarea y del área donde se desarrolla así como los resultados de su valoración según la matriz de Probabilidad – Impacto.

Los valores resaltados de rojo y amarillo merecen un plan de respuesta preventiva ya que su ocurrencia podría generar algún retraso en el plazo de entrega de los trabajos.

Tabla 13 Probabilidad – Impacto del Área 0420

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	2	3	6
3. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	2	2	4
4. Trabajos sobre instalaciones enterradas	1	2	2
5. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	2	2	4
6. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	3	4	12
7. Cambio en las condiciones del terreno	5	5	25
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	1	2	2
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	3	4	12

Tabla 14 Probabilidad – Impacto del Área 0370

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	4	4	16
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	3	3	9
3. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	2	2	4
4. Trabajos sobre instalaciones enterradas	4	3	12
5. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	4	4	16
6. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	3	3	9
7. Cambio en las condiciones del terreno	4	4	16
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8

9. Cambio en el alcance de la tarea	2	2	4
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	3	4	12

Tabla 15 Probabilidad – Impacto del Área 0330

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	2	3	6
3. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	1	2	2
4. Trabajos sobre instalaciones enterradas	4	3	12
5. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	2	2	4
6. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	3	4	12
7. Cambio en las condiciones del terreno	4	5	20
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	2	2	4
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	4	4	16

Estos resultados, nos ayudaran para identificar los riesgos que pudieran ocurrir durante la ejecución de cada tarea, así como la posibilidad de poder estimar la Duración Pesimista y poder realizar un análisis bajo la simulación de Monte Carlo.

Para el cálculo de la Duración Pesimista se considerará el porcentaje de retraso según la máxima valoración del riesgo obtenido de la matriz Probabilidad – Impacto.

Nivel	Valoración	% Retraso
Muy baja	1 - 5	5.00%
Baja	6 - 8	10.00%
Media	9 - 10	20.00%
Alta	12 - 16	30.00%
Muy alta	20 - 25	40.00%

3.10.2.3. Duraciones proyectadas de ejecución

A continuación se detallaran los criterios para establecer las duraciones de los tiempos esperado, optimista y pesimista que serán utilizados para la simulación Monte Carlo

- 1. Duración Esperada:** Se calcula dividiendo el valor del metrado (Item 3.11.1) entre el rendimiento del análisis de costos unitarios (Item 3.11.2), el valor del resultado es redondeado al valor entero superior.

a. Análisis de costos unitarios: (Item 3.11.2)

Partida 02.01 EXCAVACION PARA LAS FUNDACIONES DEL EDIFICIO DE FILTROS							
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			23.36
Código	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.1481	6.90	1.02	
							3.46
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	3.46	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
							19.90

Partida 02.02 EXCAVACION PARA LAS FUNDACIONES DE LA SALA ELECTRICA, SUBESTACION Y BUZONES							
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			23.36
Código	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.1481	6.90	1.02	
							3.46
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	3.46	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
							19.90

Partida 02.03 EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS DE CONCRETO PARA DRENAJE							
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			30.24
Código	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.1481	6.90	1.02	
							3.46
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	3.46	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.80	6.87	
							26.78

b. Cálculo de la Duración Esperada: Se obtiene según la siguiente fórmula.

$$Duracion\ Esperada = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Esperada
0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	1,064.00	135.00	8.00
0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	640.00	135.00	5.00
0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	1,056.00	135.00	8.00
Total		2,760.00		21.00

2. **Duración Optimista:** El valor de la duración optimista es asumido considerando la opinión, conocimiento y experiencia de los supervisores de campo, evaluando la tarea y el entorno donde se desarrolla, se considerará una variación de los recursos y del rendimiento en el análisis de costos unitarios con la finalidad de poder asumir teóricamente una duración menor de término de la tarea.

a. Análisis de costos unitarios:

Partida	EXCAVACION PARA LAS FUNDACIONES DEL EDIFICIO DE FILTROS						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 160.0000	EQ: 160.0000	Costo unitario directo por: M3			26.08
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0625	9.42	0.59	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0625	8.56	0.54	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1250	7.47	0.93	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.1875	6.90	1.29	
3.35							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	3.35	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1250	40.23	5.03	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0625	92.11	5.76	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	2.0000	0.1250	94.73	11.84	
22.73							

Partida	02.02 EXCAVACION PARA LAS FUNDACIONES DE LA SALA ELECTRICA, SUBESTACION Y BUZONES						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 160.0000	EQ: 160.0000	Costo unitario directo por: M3			26.08
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0625	9.42	0.59	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0625	8.56	0.54	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1250	7.47	0.93	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.1875	6.90	1.29	
							3.35
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	3.35	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1250	40.23	5.03	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0625	92.11	5.76	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	2.0000	0.1250	94.73	11.84	
							22.73

Partida	02.03 EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS DE CONCRETO PARA DRENAJE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 170.0000	EQ: 170.0000	Costo unitario directo por: M3			34.58
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0588	9.42	0.55	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0588	8.56	0.50	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1176	7.47	0.88	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.1765	6.90	1.22	
							3.15
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	3.15	0.09	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	4.0000	0.2353	40.23	9.47	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	2.0000	0.1176	92.11	10.84	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0588	94.73	5.57	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0588	92.80	5.46	
							31.43

b. Calculo de la Duración Optimista: Considerando la variación en la estimación de los recursos y el rendimiento en el análisis de costos unitarios, el resultado se obtiene según la formula.

$$Duracion\ Optimista = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Optimista
0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	8.00	1,064.00	160.00	7.00
0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	5.00	640.00	160.00	4.00
0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	8.00	1,056.00	170.00	7.00

3. Duración Pesimista: Se calcula considerando el valor de la duración esperada, la máxima valoración obtenida de la Tabla de Probabilidad – Impacto (Tablas 13, 14 y 15) junto con el porcentaje de retraso correspondiente (Tabla 3).

a. Máxima Valoración Probabilidad – Impacto (Tablas 13, 14 y 15) y Porcentaje de retraso (Tabla 3):

Área	Tarea	Máximo Valor Pxl	% Retraso
0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	25.00	40.00%
0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	16.00	30.00%
0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	20.00	40.00%

b. Calculo de la Duración Pesimista: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Pesimista = Duracion\ Esperada \times (1 + \% Retraso)$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Factor (1+%Retraso)	Duración Pesimista
0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	8.00	1.40	12.00
0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	5.00	1.30	7.00
0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	8.00	1.40	12.00

Como resumen de los análisis antes mostrados, se presenta la siguiente tabla de duraciones considerando los 3 posibles escenarios incluyendo el metrado.

Tabla 16 Duraciones

Área	Tarea	Cantidad m3	Duración Optimista	Duración Esperada	Duración Pesimista
0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	1,064.00	7.00	8.00	12.00

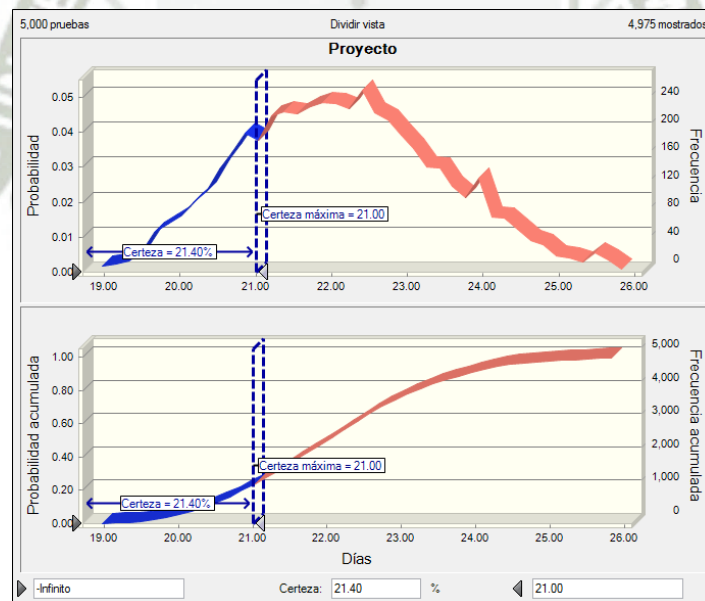
0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	640.00	4.00	5.00	7.00
0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	1,056.00	7.00	8.00	12.00

3.10.2.4. Simulación Monte Carlo

Con el apoyo del Software Crystal Ball se realiza la simulación Monte Carlo considerando las 3 duraciones dadas.

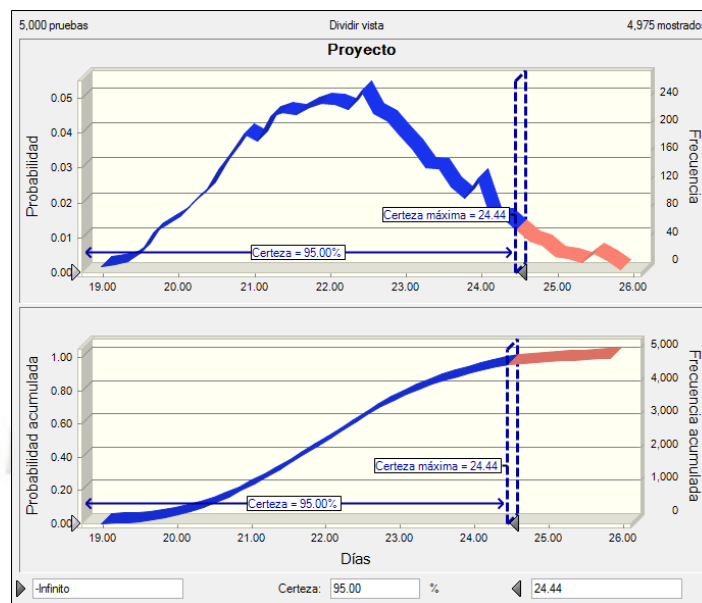
El primer resultado de la simulación muestra que la probabilidad de cumplir con las tareas en un plazo de 21 días considerando la duración esperada, solo tiene una probabilidad del 21.40 %.

Figura 23 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada



De igual manera los resultados muestran que la duración total de la tarea es de 24.44 días con una probabilidad del 95 %.

Figura 24 Probabilidad de ocurrencia al 95%



Esta simulación, permite dar tiempos de duración confiables y poder cumplir con las fechas de término comprometidas.

3.10.2.5. Programación con Cadena Crítica

Considerando los resultados de los análisis anteriores y los criterios de cadena crítica (CCPM) se estimaran las reducciones de las duraciones de las tareas, colocando los buffers donde sean necesarios y evitando proteger cada tarea de manera individual.

La simulación Monte Carlo dio como resultado una duración de 24.44 días, para este caso se redondeará la cifra a 25 días, en la siguiente tabla se muestran las nuevas duraciones a considerar en el análisis CCPM donde los valores se expresan en días.

Tabla 17 Programación CCPM

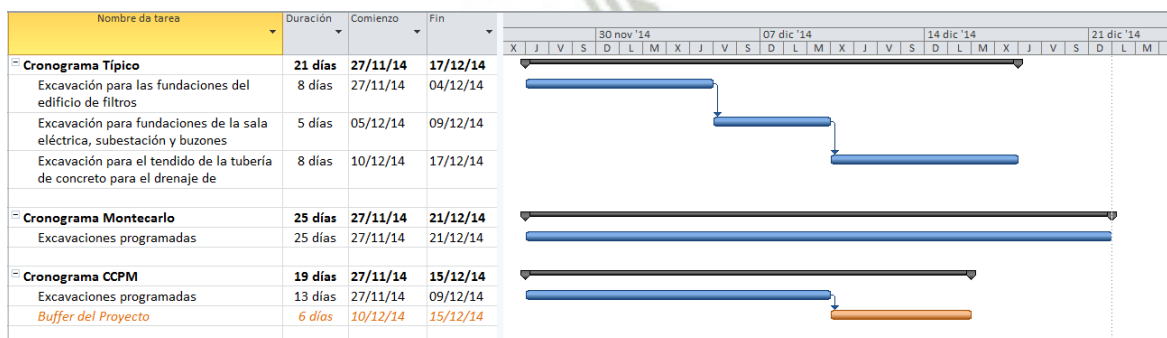
Área	Tarea	Duración Simulada	% de Reducción	Duración Reducida	Buffer de Recursos	Buffer de Proyecto	Duración CCPM
0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros						
0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	25.00	50.00%	12.50	2.00	6.25	19.00
0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda						

La duración reducida es el producto de la duración simulada y el porcentaje de reducción, este último se obtiene luego del análisis de los supervisores a cargo que consideran el tipo de tarea, su ubicación y el entorno donde se desarrolla.

El buffer del proyecto es considerado el 50% de la diferencia entre la duración simulada y la duración reducida. De igual manera el valor de la duración total es la suma de la duración reducida del buffer de recursos y del buffer del proyecto.

A continuación se muestran los cronogramas bajo la simulación Monte Carlo y el cronograma considerando la metodología de Cadena Crítica, en ambos se consideraron los valores redondeados de las diferentes duraciones.

Figura 25 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM



Comparando el cronograma simulado con Monte Carlo y el cronograma bajo CCPM, la duración de la tarea se redujo teóricamente de 25 días a 19 días es decir en un 24%, seguidamente se analizara qué medidas se tienen que tomar para poder cumplir con esta meta y se mostrara la duración real de las tareas.

3.10.2.6. Respuesta a los riesgos

Para respaldar las acciones a tomar a fin de reducir los tiempos de entrega de las tareas según Cadena Crítica, es necesaria la evacuación y control de los riesgos identificados antes de la ejecución de cada tarea.

De la identificación y valoración de riesgos mencionado anteriormente, se considerará a los eventos no deseados resaltados en verde y rojo según la matriz de Probabilidad - Impacto para implementar medidas de control ya que estos son los que podrían tener mayor impacto negativo en el tiempo de entrega de la tarea.

Tabla 18 Riesgos y acciones tomadas

RIESGOS	RESPUESTA (ACCION TOMADA)
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	<p>Se estandarizaron los temas a tratar en la charla de inicio de jornada, y se capacito al personal en el conocimiento de los procedimientos escritos de trabajo con la finalidad que esa información los ayude en la elaboración más rápida de los análisis de seguridad en el trabajo (AST).</p> <p>Se decidió que el personal de movimiento de tierras almuerce una hora distinta a la del resto de disciplinas a fin de evitar la saturación en los comedores, donde sumando el tiempo de atención y descanso correspondiente al personal en ocasiones excedía las 2 horas, disminuyendo las horas de producción.</p>
Cuadrilla no cumple con el rendimiento esperado	<p>Motivación continua al personal que participa en la tarea, asignándoles responsabilidades específicas, así comprenden el papel que cumple su participación durante el trabajo.</p> <p>No sobre cargar de tareas, asignar metas claras de cumplimiento diarias, esto permite controlar de manera eficiente los recursos asignados.</p> <p>Comunicación directa y rápida entre el personal y la supervisión a fin de obtener una respuesta rápida ante situaciones que puedan generar incertidumbre y esta a su vez retraso en el</p>

	<p>cumplimiento de la tarea.</p> <p>Supervisión permanente.</p>
Retraso en la emisión del permiso de excavación	Se establecieron reuniones y comunicación directa con los responsables de las diferentes disciplinas usuarias antes de la fecha del inicio de la tarea a fin de estar informados como va avanzando el trámite de los permisos de excavación.
Trabajos sobre interferencias enterradas	<p>Solicitar el trazo topográfico de las interferencias.</p> <p>Dependiendo de la profundidad donde se encuentre enterrada la interferencia se podrá excavar con equipo, después se continuara con la excavación de forma manual a fin de evitar daños materiales y retrabajos.</p>
Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otras disciplinas	Coordinar directamente con el Gerente de Área a fin de que el inicio y secuencia de los trabajos programados estén previamente coordinados, anteponiendo nuestro valor de la seguridad evitando incidentes con daño personal y/o material así como interrupciones y retrasos entre las diferentes disciplinas que trabajan en la misma área.
Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	<p>Se coordinó con el responsable del Área de Mantenimiento los siguientes puntos:</p> <p>Ante la situación de que el equipo quede inoperativo durante la jornada de trabajo se enviaran los mecánicos a la brevedad posible para evaluar la situación y/o reparar el equipo. Por su parte, el supervisor de movimiento de tierras evaluara la posibilidad de traer otro equipo como reemplazo de ser necesario de algún frente no considerado crítico ante la posibilidad que la reparación tome demasiado tiempo.</p> <p>El mantenimiento preventivo de los equipos será informado a la supervisión de movimiento de tierras para gestionar la ubicación de los equipos dependiendo de la criticidad de los trabajos a ejecutar.</p> <p>Los operadores de los equipos reportaran el reabastecimiento de combustible cuando el marcador señale medio tanque lleno, esto como medida preventiva ante el muy posible caso que la cisterna de combustible demore en acercarse para el reabastecimiento. Por su parte el Área de Mantenimiento ayudara con el pronto envió de la cisterna.</p>
Cambio de las condiciones de terreno	<p>Si durante la excavación se presentan cambios desfavorables en las condiciones de terreno, como un cambio a un estrato rocoso o también es posible el afloramiento de agua que dificultara la entrega de la excavación para alguna fundación estructural, estos casos se reportaran al Área de Ingeniería a fin de que a la brevedad brinden alguna alternativa de solución, la cual se evaluara si requiere o no alguna variación en el plazo de entrega.</p> <p>Se tendrá como medida de contingencia la posibilidad de contar con equipo adicional específico para excavaciones en roca como equipos con martillos hidráulicos, perforadoras o buldócer con ripper a fin de debilitar o retirar el estrato rocoso.</p>
Ocurrencia de incidente (seguridad)	A todo el personal nuevo se le realizara una inducción específica del área acerca de los procedimientos, documentación y de los

	<p>riesgos comunes asociados a las actividades de movimiento de tierras.</p> <p>Se cumplirán con todos los procedimientos y normas de seguridad ya establecidos a fin de mitigar actos y condiciones que perjudique la salud del trabajador como prioridad así como a los bienes materiales.</p> <p>Antes de realizar cualquier trabajo se debe hacer un AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) donde participen todos los involucrados, el documento debe estar con todas las firmas antes del inicio de la tarea.</p> <p>Se capacitara al personal con los cursos de vigías, herramientas de poder, trabajos en altura y espacios confinados según las responsabilidades que se asigne a cada uno.</p>
Cambio en el alcance de la tarea	Si durante la ejecución de los trabajos se presenta algún cambio de alcance este se evaluara para confirmar si altera o no la fecha de entrega la cual será reportada a la Gerencia.
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	<p>En el caso de tormentas eléctricas o lluvia intensa las tareas serán paralizadas anteponiendo nuestro valor de la seguridad, las horas de trabajo suspendido no serán consideradas dentro del plazo de entrega.</p> <p>La hora de inicio de los trabajos se adelantó a las 6:00 am ya que por la estación las tormentas se reportaban con mayor frecuencia en horas de la tarde.</p>

Una vez controlados los riesgos se ejecutaran los trabajos considerando como plazo de entrega el cronograma bajo la metodología de cadena critica.

3.10.2.7. Control de avance

Una vez planteado el nuevo cronograma se podrá hacer seguimiento al avance de las tareas utilizando el cuadro de control, relacionando el porcentaje de avance del proyecto respecto al porcentaje de consumo del buffer del proyecto.

Tabla 19 Cuadro de control de avance diario

Tarea	N°	Día	Cantidad m3	Acumulado m3	% Tarea Completada	% Buffer Utilizado
Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	1	27/11	165.00	165.00	5.98%	4.83%
	2	28/11	175.00	340.00	12.32%	8.15%
	3	29/11	188.00	528.00	19.13%	9.79%
	4	30/11	170.00	698.00	25.29%	15.02%
	5	01/12	135.00	833.00	30.18%	28.52%
	6	02/12	85.00	918.00	33.26%	45.29%

	7	03/12	75.00	993.00	35.98%	49.11%
	8	04/12	80.00	1,073.00	38.88%	50.00%
Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	9	05/12	185.00	185.00	45.58%	52.55%
	10	06/12	185.00	370.00	52.28%	55.11%
	11	07/12	60.00	430.00	54.46%	108.33%
	12	08/12	90.00	520.00	57.72%	88.89%
	13	09/12	124.00	644.00	62.21%	83.33%
Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	14	10/12	155.00	155.00	67.83%	89.38%
	15	11/12	150.00	305.00	73.26%	96.38%
	16	12/12	135.00	440.00	78.15%	107.23%
	17	13/12	120.00	560.00	82.50%	122.89%
	18	14/12	95.00	655.00	85.94%	153.68%
	19	15/12	92.00	747.00	89.28%	155.98%
	20	16/12	105.00	852.00	93.08%	149.05%
	21	17/12	112.00	964.00	97.14%	147.02%
	22	18/12	100.00	1,064.00	100.76%	150.00%

Utilizando la metodología de Cadena Crítica y las con las repuestas a los riesgos identificados, se logró disminuir el tiempo de ejecución de la Tarea de 25 días a 22 días, es decir en un 12% con un consumo total del 100% del Buffer del Proyecto.

3.10.2.8. Evaluación de pérdidas

En la siguiente tabla y grafico de Pareto se muestran los eventos identificados y su incidencia durante la ejecución de la tarea.

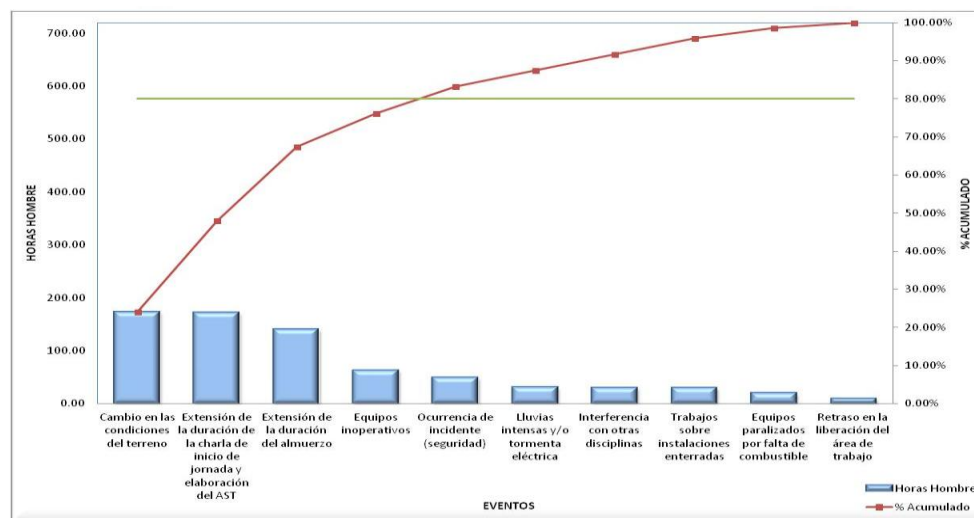
Tabla 20 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento

Eventos que afectan el cumplimiento de las duraciones estimadas	Horas		%
	Hombre	Acumulado	
Cambio en las condiciones del terreno	173.00	24.06%	
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST	171.75	47.94%	
Extensión de la duración del almuerzo	140.33	67.46%	
Equipos inoperativos	63.00	76.22%	
Ocurrencia de incidente (seguridad)	50.00	83.17%	
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	31.00	87.48%	
Interferencia con otras disciplinas	30.00	91.66%	
Trabajos sobre instalaciones enterradas	30.00	95.83%	
Equipos paralizados por falta de combustible	20.00	98.61%	
Retraso en la liberación del área de trabajo	10.00	100.00%	
Sub Total	719.08		
Total de Horas Hombre Gastadas durante la tarea	2,290.00		
Incidencia	31.40%		

La sumatoria de las horas hombre gastadas en eventos no productivos respecto al total de las horas hombre requeridas para completar las tareas en la fecha estimada, representa un 31.40%.

El diagrama de Pareto muestra las tareas con mayor incidencia en el reporte de horas hombre gastadas por la ocurrencia de eventos con causal de no cumplimiento.

Figura 26 Distribución de las causas de no cumplimiento



3.10.2.9. Productividad y rendimiento

A continuación se detallara la lista de recursos utilizada para la ejecución de la tarea, así como el análisis de productividad y rendimiento según las horas hombre gastadas considerando una jornada diaria de trabajo de 10 horas de lunes a domingo.

Tabla 21 Recursos - Excavación para las fundaciones del edificio de filtros

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	2.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	2.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 22 Recursos - Excavación para las fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	2.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	2.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 23 Recursos - Excavación para el tendido de tuberías de concreto para drenaje

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	2.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	2.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	1.0000
TRACTOR SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 24 Productividad y rendimiento

Tareas	Horas	Días	Cuadrilla	HH Gastadas	Promedio (m3)	Productividad (m3/hh)	Rendimiento (hh/m3)
Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	10.00	8.00	10.00	800.00	134.13	0.17	5.96
Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	10.00	5.00	10.00	500.00	128.80	0.26	3.88
Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	10.00	9.00	11.00	990.00	118.22	0.12	8.37

3.10.3. Análisis N°3: Área 0430 Almacén de Concentrado y Área 0310 Molienda

3.10.3.1. Tareas críticas programadas

Los trabajos programados son los siguientes:

- Área 0430 – Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado.

La cantidad de relleno proyectada es de 5,208.00 m³

- Área 0310 – Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda

La cantidad de relleno proyectada es de 546.00 m³

3.10.3.2. Identificación y valoración de riesgos

A continuación se muestran la lista de riesgos identificados propios de cada tarea y del área donde se desarrolla así como los resultados de su valoración según la matriz de Probabilidad – Impacto.

Los valores resaltados de rojo y amarillo merecen un plan de respuesta preventiva ya que su ocurrencia podría generar algún retraso en el plazo de entrega de los trabajos.

Tabla 25 Probabilidad – Impacto del Área 0430

Riesgos en rellenos	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	4	4	16
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de relleno	2	4	8
3. Retraso en los ciclo de los volquetes	2	3	6
4. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	1	3	3
5. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	2	3	6
6. Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural	3	4	12
7. Control de compactación no satisfactorio	3	3	9
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	2	2	4
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	4	4	16

Tabla 26 Probabilidad – Impacto del Área 0310

Riesgos en rellenos	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	4	4	16
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de relleno	2	4	8

3. Retraso en los ciclo de los volquetes	2	2	4
4. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	3	4	12
5. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	2	3	6
6. Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural	3	4	12
7. Control de compactación no satisfactorio	3	3	9
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	2	2	4
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	2	3	6

Estos resultados, nos ayudaran para identificar los riesgos que pudieran ocurrir durante la ejecución de cada tarea, así como la posibilidad de poder estimar la Duración Pesimista y poder realizar un análisis bajo la simulación de Monte Carlo.

Para el cálculo de la Duración Pesimista se considerará el porcentaje de retraso según la máxima valoración del riesgo obtenido de la matriz Probabilidad – Impacto.

Nivel	Valoración	% Retraso
Muy baja	1 - 5	5.00%
Baja	6 - 8	10.00%
Media	9 - 10	20.00%
Alta	12 - 16	30.00%
Muy alta	20 - 25	40.00%

3.10.3.3. Duraciones proyectadas de ejecución

A continuación se detallaran los criterios para establecer las duraciones de los tiempos esperado, optimista y pesimista que serán utilizados para la simulación Monte Carlo

- 1. Duración Esperada:** Se calcula dividiendo el valor del metrado (Item 3.11.1) entre el rendimiento del análisis de costos unitarios (Item 3.11.2), el valor del resultado es redondeado al valor entero superior.

a. Análisis de costos unitarios: (Item 3.11.2)

Partida		03.01 RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER DEL ALMACÉN DE CONCENTRADO					
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 630.0000	EQ: 630.0000	Costo unitario directo por: M3			8.08
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0159	9.42	0.15	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0159	8.56	0.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.0635	7.47	0.47	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0159	6.90	0.11	
0.87							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	0.87	0.03	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	5.0000	0.0794	40.23	3.19	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0159	60.69	0.96	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0159	65.00	1.03	
0349010009	MINICARGADOR	H-M	2.0000	0.0317	20.21	0.64	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	1.0000	0.0159	66.94	1.06	
0349041209	RODILLO BERMERO	H-M	1.0000	0.0159	18.19	0.29	
7.21							

Partida		03.02 RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER EN EL EDIFICIO DE MOLIENDA					
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 40.0000	EQ: 40.0000	Costo unitario directo por: M3			54.77
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2500	9.42	2.36	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2500	8.56	2.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	5.0000	1.2500	7.47	9.34	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.2500	6.90	1.73	
15.56							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	15.56	0.47	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.5000	40.23	20.12	
0349080009	RETROEXCAVADORA SOBRE LLANTAS	H-M	1.0000	0.2500	36.11	9.03	
0349010009	MINICARGADOR	H-M	1.0000	0.2500	20.21	5.05	
0349041209	RODILLO BERMERO	H-M	1.0000	0.2500	18.19	4.55	
39.21							

b. Calculo de la Duración Esperada: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion Esperada = \frac{Cantidad (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Esperada
0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	5,208.00	630.00	9.00
0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	546.00	40.00	14.00
Total		5,754.00		23.00

2. **Duración Optimista:** El valor de la duración optimista es asumido considerando la opinión, conocimiento y experiencia de los supervisores de campo, evaluando la tarea y el entorno donde se desarrolla, se considerará una variación de los recursos y del rendimiento en el análisis de costos unitarios con la finalidad de poder asumir teóricamente una duración menor de término de la tarea.

a. Análisis de costos unitarios:

Partida	RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER DEL ALMACÉN DE CONCENTRADO						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 660.0000	EQ: 660.0000	Costo unitario directo por: M3			8.60
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0152	9.42	0.14	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0152	8.56	0.13	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.0606	7.47	0.45	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.0303	6.90	0.21	
0.93							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	0.93	0.03	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	5.0000	0.0758	40.23	3.05	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0152	60.69	0.92	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0152	65.00	0.98	
0349010009	MINICARGADOR	H-M	2.0000	0.0303	20.21	0.61	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	1.5000	0.0227	66.94	1.52	
0349041209	RODILLO BERMERO	H-M	2.0000	0.0303	18.19	0.55	
7.67							

Partida	RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER EN EL EDIFICIO DE MOLIENDA						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 47.0000	EQ: 47.0000	Costo unitario directo por: M3			55.02
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2128	9.42	2.00	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2128	8.56	1.82	
0147030003	OFICIAL	H-H	5.0000	1.0638	7.47	7.95	
0147040004	PEÓN	H-H	4.0000	0.8511	6.90	5.87	
17.64							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	17.64	0.53	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.4255	40.23	17.12	
0349080009	RETROEXCAVADORA SOBRE LLANTAS	H-M	1.0000	0.2128	36.11	7.68	
0349010009	MINICARGADOR	H-M	1.0000	0.2128	20.21	4.30	
0349041209	RODILLO BERMERO	H-M	2.0000	0.4255	18.19	7.74	
37.37							

- b. **Calculo de la Duración Optimista:** Considerando la variación en la estimación de los recursos y el rendimiento en el análisis de costos unitarios, el resultado se obtiene según la formula.

$$Duracion\ Optimista = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Optimista
0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	9.00	5,208.00	660.00	8.00
0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	14.00	546.00	47.00	12.00

3. Duración Pesimista: Se calcula considerando el valor de la duración esperada, la máxima valoración obtenida de la Tabla de Probabilidad – Impacto (Tablas 25 y 26) junto con el porcentaje de retraso correspondiente (Tabla 3).

a. Máxima Valoración Probabilidad – Impacto (Tablas 25 y 26) y Porcentaje de retraso (Tabla 3):

Área	Tarea	Máximo Valor Pxl	% Retraso
0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	16.00	30.00%
0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	16.00	30.00%

b. Calculo de la Duración Pesimista: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Pesimista = Duracion\ Esperada \times (1 + \% Retraso)$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Factor (1+%Retraso)	Duración Pesimista
0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	9.00	1.30	12.00
0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	14.00	1.30	19.00

Como resumen de los análisis antes mostrados, se presenta la siguiente tabla de duraciones considerando los 3 posibles escenarios incluyendo el metrado.

Tabla 27 Duraciones

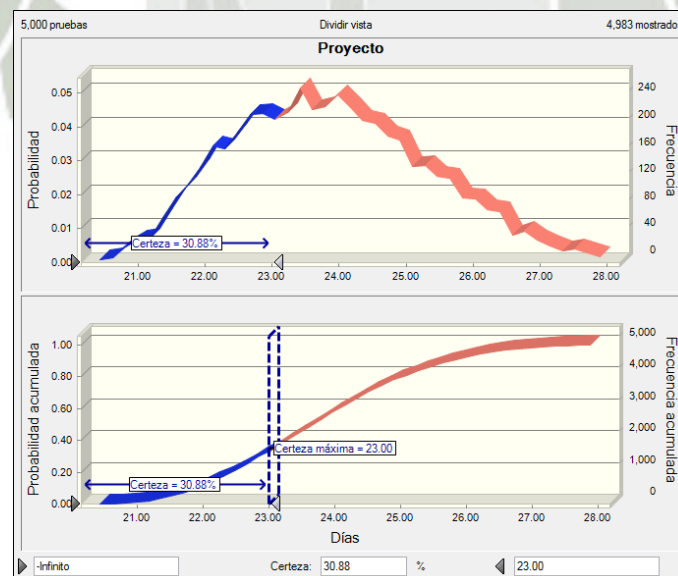
Área	Tarea	Cantidad m3	Duración Optimista	Duración Esperada	Duración Pesimista
0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	5,208.00	8.00	9.00	12.00
0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	546.00	12.00	14.00	19.00

3.10.3.4. Simulación Monte Carlo

Con el apoyo del Software Crystal Ball se realiza la simulación Monte Carlo considerando las 3 duraciones dadas.

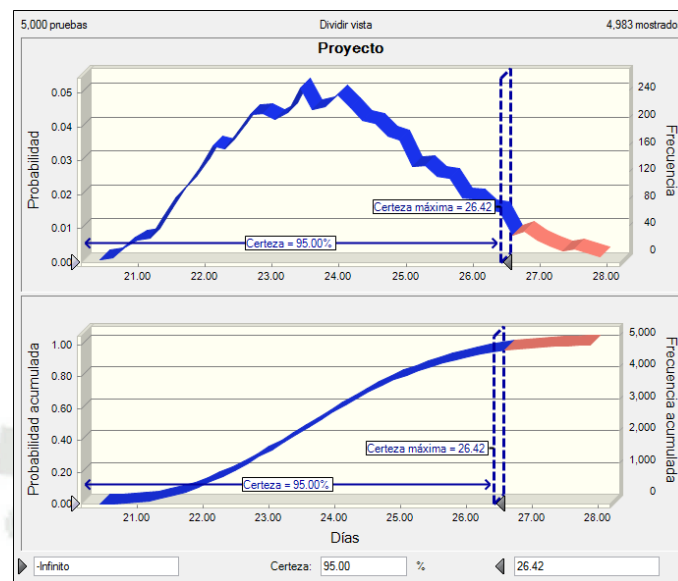
El primer resultado de la simulación muestra que la probabilidad de cumplir con las tareas en un plazo de 23 días considerando la duración esperada, solo tiene una probabilidad del 30.88 %.

Figura 27 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada



De igual manera los resultados muestran que la duración total de la tarea es de 26.42 días con una probabilidad del 95 %.

Figura 28 Probabilidad de ocurrencia al 95%



Esta simulación, permite dar tiempos de duración confiables y poder cumplir con las fechas de término comprometidas.

3.10.3.5. Programación con Cadena Crítica

Considerando los resultados de los análisis anteriores y los criterios de cadena crítica (CCPM) se estimaran las reducciones de las duraciones de las tareas, colocando los buffers donde sean necesarios y evitando proteger cada tarea de manera individual.

La simulación Monte Carlo dio como resultado una duración de 26.42 días, para este caso se redondeará la cifra a 27 días, en la siguiente tabla se muestran las nuevas duraciones a considerar en el análisis CCPM donde los valores se expresan en días.

Tabla 28 Programación CCPM

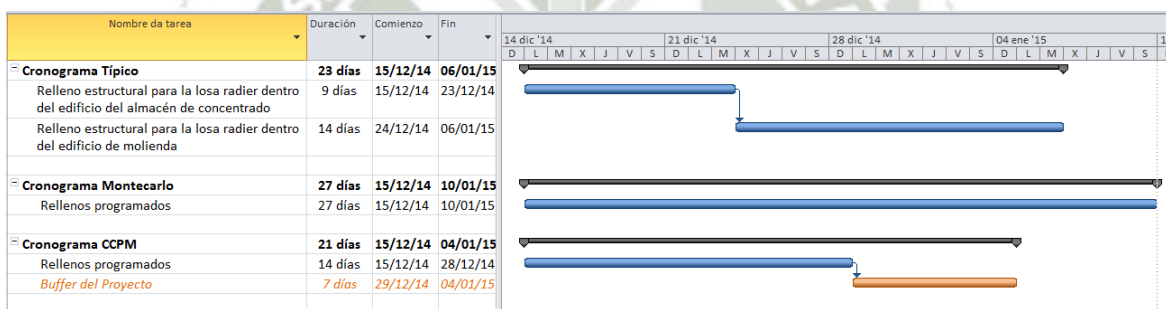
Área	Tarea	Duración Simulada	% de Reducción	Duración Reducida	Buffer de Recursos	Buffer de Proyecto	Duración CCPM
0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	27.00	50.00%	13.50	1.00	6.75	21.00
0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda						

La duración reducida es el producto de la duración simulada y el porcentaje de reducción, este último se obtiene luego del análisis de los supervisores a cargo que consideran el tipo de tarea, su ubicación y el entorno donde se desarrolla.

El buffer del proyecto es considerado el 50% de la diferencia entre la duración simulada y la duración reducida. De igual manera el valor de la duración total es la suma de la duración reducida del buffer de recursos y del buffer del proyecto.

A continuación se muestran los cronogramas bajo la simulación Monte Carlo y el cronograma considerando la metodología de Cadena Crítica, en ambos se consideraron los valores redondeados de las diferentes duraciones.

Figura 29 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM



Comparando el cronograma simulado con Monte Carlo y el cronograma bajo CCPM, la duración de la tarea se redujo teóricamente de 27 días a 21 días es decir en un 22%, seguidamente se analizara qué medidas se tienen que tomar para poder cumplir con esta meta y se mostrara la duración real de las tareas.

3.10.3.6. Respuesta a los riesgos

Para respaldar las acciones a tomar a fin de reducir los tiempos de entrega de las tareas según Cadena Crítica, es necesaria la evacuación y control de los riesgos identificados antes de la ejecución de cada tarea.

De la identificación y valoración de riesgos mencionado anteriormente, se considerará a los eventos no deseados resaltados en verde y rojo según la matriz de Probabilidad - Impacto para implementar medidas de control ya que estos son los que podrían tener mayor impacto negativo en el tiempo de entrega de la tarea.

Tabla 29 Riesgos y acciones tomadas

RIESGOS	RESPUESTA (ACCION TOMADA)
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	<p>Se estandarizaron los temas a tratar en la charla de inicio de jornada, y se capacito al personal en el conocimiento de los procedimientos escritos de trabajo con la finalidad que esa información los ayude en la elaboración más rápida de los análisis de seguridad en el trabajo (AST).</p> <p>Se decidió que el personal de movimiento de tierras almuerce una hora distinta a la del resto de disciplinas a fin de evitar la saturación en los comedores, donde sumando el tiempo de atención y descanso correspondiente al personal en ocasiones excedía las 2 horas, disminuyendo las horas de producción.</p>
Cuadrilla no cumple con el rendimiento esperado	<p>Motivación continua al personal que participa en la tarea, asignándoles responsabilidades específicas, así comprenden el papel que cumple su participación durante el trabajo.</p> <p>No sobre cargar de tareas, asignar metas claras de cumplimiento diarias, esto permite controlar de manera eficiente los recursos asignados.</p> <p>Comunicación directa y rápida entre el personal y la supervisión a fin de obtener una respuesta rápida ante situaciones que puedan generar incertidumbre y esta a su vez retraso en el cumplimiento de la tarea.</p> <p>Supervisión permanente.</p>
Retraso en la emisión del permiso de relleno	La solicitud del permiso la hará personal de movimiento de tierras con 5 días de anticipación al inicio de la tarea.
Retraso en marcar los niveles topográficos para el relleno	Con un día de anticipación al inicio de la tarea se coordina con el área de topografía para hacer el trazo en el sitio de trabajo según los datos del permiso de relleno. Esto también facilita la absolución de consultas por parte del personal de movimiento de tierras de ser necesario.
Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otras disciplinas	Coordinar directamente con el Gerente de Área a fin de que el inicio y secuencia de los trabajos programados estén previamente coordinados, anteponiendo nuestro valor de la seguridad evitando incidentes con daño personal y/o material así como interrupciones y retrasos entre las diferentes disciplinas que trabajan en la misma área.
Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	<p>Se coordinó con el responsable del Área de Mantenimiento los siguientes puntos:</p> <p>Ante la situación de que el equipo quede inoperativo durante la</p>

	<p>jornada de trabajo se enviaran los mecánicos a la brevedad posible para evaluar la situación y/o reparar el equipo. Por su parte, el supervisor de movimiento de tierras evaluara la posibilidad de traer otro equipo como reemplazo de ser necesario de algún frente no considerado critico ante la posibilidad que la reparación tome demasiado tiempo.</p> <p>El mantenimiento preventivo de los equipos será informado a la supervisión de movimiento de tierras para gestionar la ubicación de los equipos dependiendo de la criticidad de los trabajos a ejecutar.</p> <p>Los operadores de los equipos reportaran el reabastecimiento de combustible cuando el marcador señale medio tanque lleno, esto como medida preventiva ante el muy posible caso que la cisterna de combustible demore en acercarse para el reabastecimiento. Por su parte el Área de Mantenimiento ayudara con el pronto envío de la cisterna.</p>
<p>Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural</p>	<p>Se tendrá comunicación directa con la cantera que entrega el material seleccionado a fin prever el avance diario de acuerdo al despacho de material.</p> <p>Se dará prioridad para el despacho de material a las tareas consideradas críticas.</p>
<p>Control de compactación no satisfactorio</p>	<p>El material de relleno debe ser protegido de las lluvias tanto en la cantera con el sitio de trabajo con mantas impermeables.</p> <p>No se realizaran los trabajos de relleno con material que se encuentre con un nivel de saturación elevada.</p> <p>Al presenciar acolchonamiento del material de relleno durante la compactación se suspenderá el relleno y el material tendrá que ser disturbado para que pierda humedad a temperatura ambiente.</p> <p>Los rellenos ya terminados también deben ser protegidos de las lluvias con mantas impermeables.</p>
<p>Ocurrencia de incidente (seguridad)</p>	<p>A todo el personal nuevo se le realizara una inducción específica del área acerca de los procedimientos, documentación y de los riesgos comunes asociados a las actividades de movimiento de tierras.</p> <p>Se cumplirán con todos los procedimientos y normas de seguridad ya establecidos a fin de mitigar actos y condiciones que perjudique la salud del trabajador como prioridad así como a los bienes materiales.</p> <p>Antes de realizar cualquier trabajo se debe hacer un AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) donde participen todos los involucrados, el documento debe estar con todas las firmas antes del inicio de la tarea.</p> <p>Se capacitara al personal con los cursos de vigías, herramientas de poder, trabajos en altura y espacios confinados según las responsabilidades que se asigne a cada uno.</p>
<p>Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica</p>	<p>En el caso de tormentas eléctricas o lluvia intensa las tareas serán paralizadas anteponiendo nuestro valor de la seguridad, las horas de trabajo suspendido no serán consideradas dentro del</p>

	<p>plazo de entrega.</p> <p>La hora de inicio de los trabajos se adelantó a las 6:00 am ya que por la estación las tormentas se reportaban con mayor frecuencia en horas de la tarde.</p>
--	---

Una vez controlados los riesgos se ejecutarán los trabajos considerando como plazo de entrega el cronograma bajo la metodología de cadena crítica.

3.10.3.7. Control de avance

Una vez planteado el nuevo cronograma se podrá hacer seguimiento al avance de las tareas utilizando el cuadro de control, relacionando el porcentaje de avance del proyecto respecto al porcentaje de consumo del buffer del proyecto.

Tabla 30 Cuadro de control de avance diario

Tarea	N°	Día	Cantidad m ³	Acumulado m ³	% Tarea Completada	% Buffer Utilizado
Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	1	15/12	380.00	380.00	6.60%	24.87%
	2	16/12	390.00	770.00	13.38%	48.10%
	3	17/12	375.00	1,145.00	19.90%	75.42%
	4	18/12	355.00	1,500.00	26.07%	107.30%
	5	19/12	375.00	1,875.00	32.59%	126.97%
	6	20/12	485.00	2,360.00	41.01%	98.17%
	7	21/12	590.00	2,950.00	51.27%	83.24%
	8	22/12	560.00	3,510.00	61.00%	86.17%
	9	23/12	565.00	4,075.00	70.82%	85.79%
	10	24/12	580.00	4,655.00	80.90%	85.05%
	11	25/12	565.00	5,220.00	90.72%	85.71%
Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molinería	12	26/12	35.00	35.00	91.33%	96.19%
	13	27/12	30.00	65.00	91.85%	112.54%
	14	28/12	45.00	110.00	92.63%	108.57%
	15	29/12	40.00	150.00	93.33%	118.81%
	16	30/12	45.00	195.00	94.11%	120.11%
	17	31/12	55.00	250.00	95.06%	115.32%
	18	01/01	50.00	300.00	95.93%	121.33%
	19	02/01	40.00	340.00	96.63%	137.62%
	20	03/01	45.00	385.00	97.41%	136.83%
	21	04/01	25.00	410.00	97.84%	177.71%
	22	05/01	20.00	430.00	98.19%	197.14%
	23	06/01	25.00	455.00	98.63%	180.57%
	24	07/01	55.00	510.00	99.58%	152.21%
	25	08/01	40.00	550.00	100.28%	157.14%

Utilizando la metodología de Cadena Crítica y las con las repuestas a los riesgos identificados, se logró disminuir el tiempo de ejecución de la Tarea de 27 días a 25 días, es decir en un 7% con un consumo total del 100% del Buffer del Proyecto.

3.10.3.8. Evaluación de pérdidas

En la siguiente tabla y grafico de Pareto se muestran los eventos identificados y su incidencia durante la ejecución de la tarea.

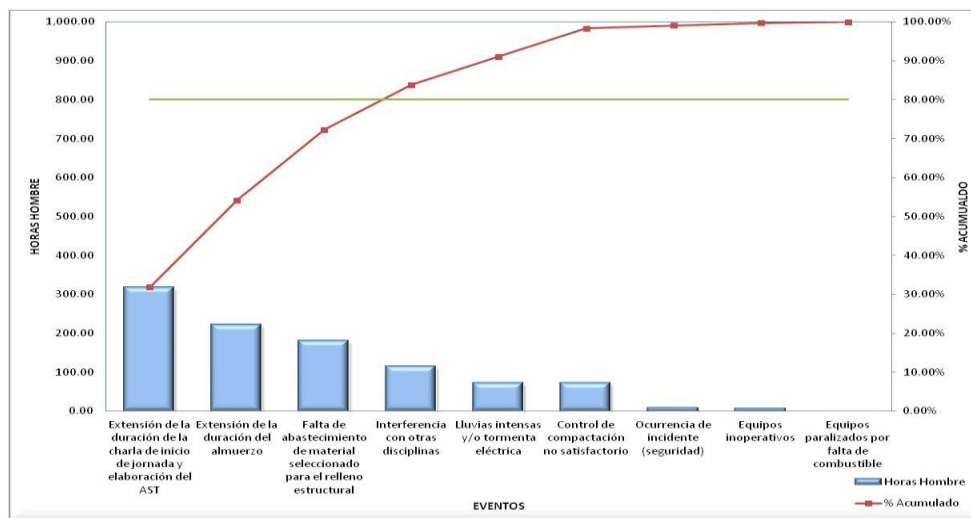
Tabla 31 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento

Eventos que afectan el cumplimiento de las duraciones estimadas	Horas	%
	Hombre	Acumulado
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST	316.67	31.88%
Extensión de la duración del almuerzo	221.67	54.19%
Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural	180.00	72.32%
Interferencia con otras disciplinas	114.00	83.79%
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	72.00	91.04%
Control de compactación no satisfactorio	72.00	98.29%
Ocurrencia de incidente (seguridad)	8.00	99.09%
Equipos inoperativos	6.00	99.70%
Equipos paralizados por falta de combustible	3.00	100.00%
Sub Total	993.33	
Total de Horas Hombre Gastadas durante la tarea	3,800.00	
Incidencia	26.14%	

La sumatoria de las horas hombre gastadas en eventos no productivos respecto al total de las horas hombre requeridas para completar las tareas en la fecha estimada, representa un 26.14%.

El diagrama de Pareto muestra las tareas con mayor incidencia en el reporte de horas hombre gastadas por la ocurrencia de eventos con causal de no cumplimiento.

Figura 30 Distribución de las causas de no cumplimiento



3.10.3.9. Productividad y rendimiento

A continuación se detallara la lista de recursos utilizada para la ejecución de la tarea, así como el análisis de productividad y rendimiento según las horas hombre gastadas considerando una jornada diaria de trabajo de 10 horas de lunes a domingo.

Tabla 32 Recursos - Relleno estructural para la losa radier del almacén de concentrado

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	4.0000
PEÓN	1.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	5.0000
CARGADOR FRONTAL	1.0000
MOTONIVELADORA	1.0000
MINICARGADOR	2.0000
RODILLO 20 TN	1.0000
RODILLO BERMERO	1.0000

Tabla 33 Recursos - Relleno estructural para la losa radier en el edificio de molienda

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	5.0000
PEÓN	1.0000
Equipos	

VOLQUETE 15 M3	2.0000
RETROEXCAVADORA SOBRE LLANTAS	1.0000
MINICARGADOR	1.0000
RODILLO BERMERO	1.0000

Tabla 34 Productividad y rendimiento

Tareas	Horas	Días	Cuadrilla	HH Gastadas	Promedio (m3)	Productividad (m3/hh)	Rendimiento (hh/m3)
Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	10.00	11.00	18.00	1,980.00	474.55	0.24	4.17
Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	10.00	14.00	13.00	1,820.00	39.29	0.02	46.33

3.10.4. Análisis N°4: Área 0510 Espesador de Relaves

3.10.4.1. Tareas críticas programadas

Los trabajos programados son los siguientes:

- Área 0510 – Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027

La cantidad de relleno proyectada es de 5,027.00 m³

- Área 0510 – Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027

La cantidad de relleno proyectada es de 1,257.00 m³

3.10.4.2. Identificación y valoración de riesgos

A continuación se muestran la lista de riesgos identificados propios de cada tarea y del área donde se desarrolla así como los resultados de su valoración según la matriz de Probabilidad – Impacto.

Los valores resaltados de rojo y amarillo merecen un plan de respuesta preventiva ya que su ocurrencia podría generar algún retraso en el plazo de entrega de los trabajos.

Tabla 35 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (relleno estructural)

Riesgos en rellenos	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de relleno	1	2	2
3. Retraso en los ciclo de los volquetes	4	3	12
4. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	1	1	1
5. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	2	3	6
6. Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural	3	4	12
7. Control de compactación no satisfactorio	3	4	12
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	1	2	2
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	4	4	16

Tabla 36 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (relleno arena)

Riesgos en rellenos	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de relleno	1	2	2
3. Retraso en los ciclo de los volquetes	3	3	9
4. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	1	1	1
5. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	2	3	6
6. Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural	2	2	4
7. Control de compactación no satisfactorio	1	1	1
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	1	2	2
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	4	3	12

Estos resultados, nos ayudaran para identificar los riesgos que pudieran ocurrir durante la ejecución de cada tarea, así como la posibilidad de poder estimar la Duración Pesimista y poder realizar un análisis bajo la simulación de Monte Carlo.

Para el cálculo de la Duración Pesimista se considerará el porcentaje de retraso según la máxima valoración del riesgo obtenido de la matriz Probabilidad – Impacto.

Nivel	Valoración	% Retraso
Muy baja	1 - 5	5.00%
Baja	6 - 8	10.00%
Media	9 - 10	20.00%
Alta	12 - 16	30.00%
Muy alta	20 - 25	40.00%

3.10.4.3. Duraciones proyectadas de ejecución

A continuación se detallaran los criterios para establecer las duraciones de los tiempos esperado, optimista y pesimista que serán utilizados para la simulación Monte Carlo

1. Duración Esperada: Se calcula dividiendo el valor del metrado (Item 3.11.1) entre el rendimiento del análisis de costos unitarios (Item 3.11.2), el valor del resultado es redondeado al valor entero superior.

a. Análisis de costos unitarios: (Item 3.11.2)

Partida	RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER DEL ESPESADOR DE RELAVES TKF 027						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 380.0000	EQ: 380.0000	Costo unitario directo por: M3			13.91
Código	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0263	9.42	0.25	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0263	8.56	0.23	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.1053	7.47	0.79	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.0789	6.90	0.54	
1.80							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	1.80	0.05	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.0526	40.23	2.12	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0263	92.11	2.42	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0263	60.69	1.60	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0263	92.80	2.44	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0263	65.00	1.71	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	1.0000	0.0263	66.94	1.76	
12.11							

Partida	04.02 RELLENO CON ARENA PARA LA LOSA RADIER DEL ESPESADOR DE RELAVES TKF 027						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 380.0000	EQ: 380.0000	Costo unitario directo por: M3			10.41
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0263	9.42	0.25	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0263	8.56	0.23	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.1053	7.47	0.79	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.0789	6.90	0.54	
1.80							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	1.80	0.05	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	1.0000	0.0263	40.23	1.06	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0263	92.11	2.42	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0263	60.69	1.60	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0263	65.00	1.71	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	1.0000	0.0263	66.94	1.76	
8.61							

b. Calculo de la Duración Esperada: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Esperada = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Esperada
0510	Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	5,027.00	380.00	14.00
0510	Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	1,257.00	380.00	4.00
Total		6,284.00		18.00

2. **Duración Optimista:** El valor de la duración optimista es asumido considerando la opinión, conocimiento y experiencia de los supervisores de campo, evaluando la tarea y el entorno donde se desarrolla, se considerará una variación de los recursos y del rendimiento en el análisis de costos unitarios con la finalidad de poder asumir teóricamente una duración menor de término de la tarea.

a. Análisis de costos unitarios:

Partida	RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER DEL ESPESADOR DE RELAVES TKF 027						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 420.0000	EQ: 420.0000	Costo unitario directo por: M3			14.18
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0238	9.42	0.22	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0238	8.56	0.20	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.0952	7.47	0.71	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.0714	6.90	0.49	
1.63							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	1.63	0.05	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.0476	40.23	1.92	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0238	92.11	2.19	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0238	60.69	1.45	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0238	92.80	2.21	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0238	65.00	1.55	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	2.0000	0.0476	66.94	3.19	
12.55							

Partida	RELLENO CON ARENA PARA LA LOSA RADIER DEL ESPESADOR DE RELAVES TKF 027						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 420.0000	EQ: 420.0000	Costo unitario directo por: M3			11.01
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0238	9.42	0.22	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0238	8.56	0.20	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.0952	7.47	0.71	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.0714	6.90	0.49	
1.63							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	1.63	0.05	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	1.0000	0.0238	40.23	0.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0238	92.11	2.19	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0238	60.69	1.45	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0238	65.00	1.55	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	2.0000	0.0476	66.94	3.19	
9.38							

b. Calculo de la Duración Optimista: Considerando la variación en la estimación de los recursos y el rendimiento en el análisis de costos unitarios, el resultado se obtiene según la formula.

$$Duracion\ Optimista = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Optimista
0510	Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	14.00	5,027.00	420.00	12.00
0510	Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	4.00	1,257.00	420.00	3.00

3. Duración Pesimista: Se calcula considerando el valor de la duración esperada, la máxima valoración obtenida de la Tabla de Probabilidad – Impacto (Tablas 35 y 36) junto con el porcentaje de retraso correspondiente (Tabla 3).

a. Máxima Valoración Probabilidad – Impacto (Tablas 35 y 36) y Porcentaje de retraso (Tabla 3):

Área	Tarea	Máximo Valor Pxl	% Retraso
0510	Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	16.00	30.00%
0510	Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	12.00	30.00%

b. Calculo de la Duración Pesimista: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Pesimista = Duracion\ Esperada \times (1 + \% Retraso)$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Factor (1+%Retraso)	Duración Pesimista
0510	Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	14.00	1.30	19.00
0510	Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	4.00	1.30	6.00

Como resumen de los análisis antes mostrados, se presenta la siguiente tabla de duraciones considerando los 3 posibles escenarios incluyendo el metrado.

Tabla 37 Duraciones

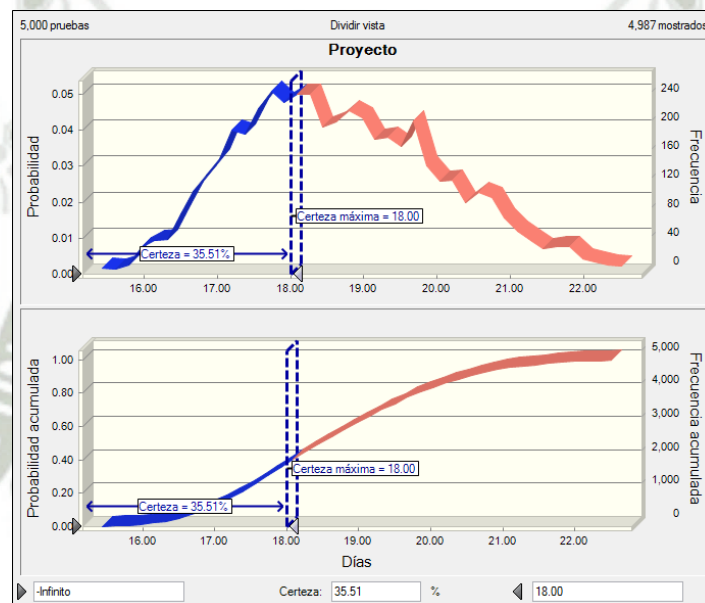
Área	Tarea	Cantidad m3	Duración Optimista	Duración Esperada	Duración Pesimista
0510	Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	5,027.00	12.00	14.00	19.00
0510	Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	1,257.00	3.00	4.00	6.00

3.10.4.4. Simulación Monte Carlo

Con el apoyo del Software Crystal Ball se realiza la simulación Monte Carlo considerando las 3 duraciones dadas.

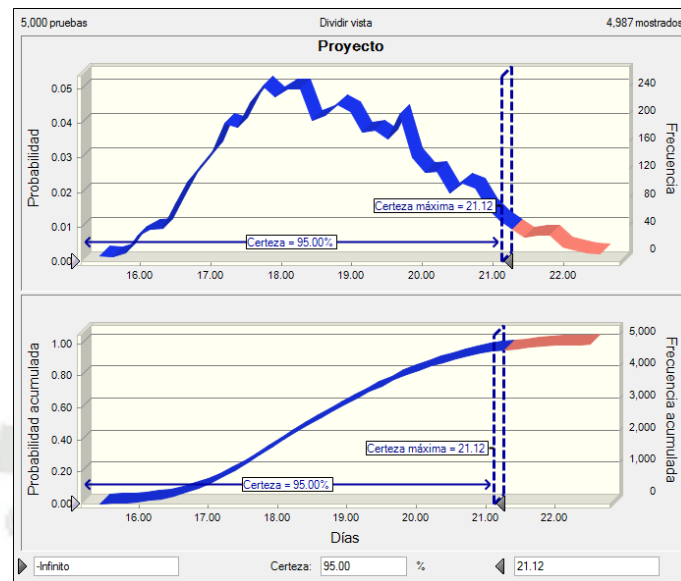
El primer resultado de la simulación muestra que la probabilidad de cumplir con las tareas en un plazo de 18 días considerando la duración esperada, solo tiene una probabilidad del 35.51 %.

Figura 31 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada



De igual manera los resultados muestran que la duración total de la tarea es de 21.12 días con una probabilidad del 95 %.

Figura 32 Probabilidad de ocurrencia al 95%



Esta simulación, permite dar tiempos de duración confiables y poder cumplir con las fechas de término comprometidas.

3.10.4.5. Programación con Cadena Crítica

Considerando los resultados de los análisis anteriores y los criterios de cadena crítica (CCPM) se estimaran las reducciones de las duraciones de las tareas, colocando los buffers donde sean necesarios y evitando proteger cada tarea de manera individual.

La simulación Monte Carlo dio como resultado una duración de 21.12 días, para este caso se redondeará la cifra a 22 días, en la siguiente tabla se muestran las nuevas duraciones a considerar en el análisis CCPM donde los valores se expresan en días.

Tabla 38 Programación CCPM

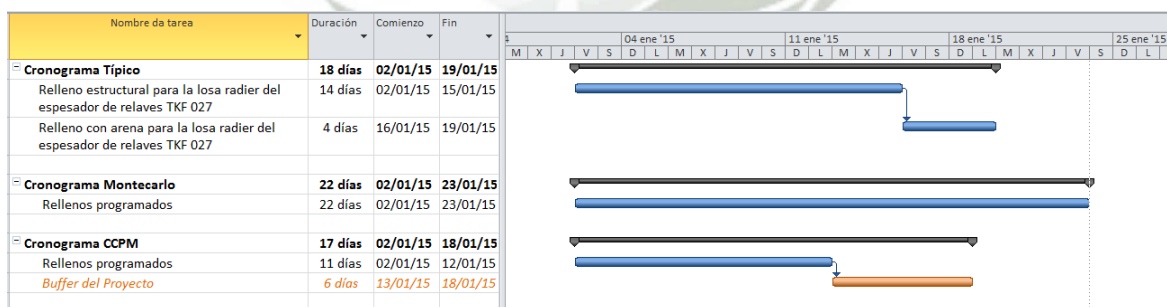
Área	Tarea	Duración Simulada	% de Reducción	Duración Reducida	Buffer de Recursos	Buffer de Proyecto	Duración CCPM
0510	Relleno estructural para la losa radier del espesor de relaves TKF 027	22.00	50.00%	11.00	1.00	5.50	17.00
0510	Relleno con arena para la losa radier del espesor de relaves TKF 027						

La duración reducida es el producto de la duración simulada y el porcentaje de reducción, este último se obtiene luego del análisis de los supervisores a cargo que consideran el tipo de tarea, su ubicación y el entorno donde se desarrolla.

El buffer del proyecto es considerado el 50% de la diferencia entre la duración simulada y la duración reducida. De igual manera el valor de la duración total es la suma de la duración reducida del buffer de recursos y del buffer del proyecto.

A continuación se muestran los cronogramas bajo la simulación Monte Carlo y el cronograma considerando la metodología de Cadena Crítica, en ambos se consideraron los valores redondeados de las diferentes duraciones.

Figura 33 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM



Comparando el cronograma simulado con Monte Carlo y el cronograma bajo CCPM, la duración de la tarea se redujo teóricamente de 22 días a 17 días es decir en un 23%,

seguidamente se analizara qué medidas se tienen que tomar para poder cumplir con esta meta y se mostrara la duración real de las tareas.

3.10.4.6. Respuesta a los riesgos

Para respaldar las acciones a tomar a fin de reducir los tiempos de entrega de las tareas según Cadena Crítica, es necesaria la evacuación y control de los riesgos identificados antes de la ejecución de cada tarea.

De la identificación y valoración de riesgos mencionado anteriormente, se considerará a los eventos no deseados resaltados en verde y rojo según la matriz de Probabilidad - Impacto para implementar medidas de control ya que estos son los que podrían tener mayor impacto negativo en el tiempo de entrega de la tarea.

Tabla 39 Riesgos y acciones tomadas

RIESGOS	RESPUESTA (ACCION TOMADA)
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	<p>Se estandarizaron los temas a tratar en la charla de inicio de jornada, y se capacito al personal en el conocimiento de los procedimientos escritos de trabajo con la finalidad que esa información los ayude en la elaboración más rápida de los análisis de seguridad en el trabajo (AST).</p> <p>Se decidió que el personal de movimiento de tierras almuerce una hora distinta a la del resto de disciplinas a fin de evitar la saturación en los comedores, donde sumando el tiempo de atención y descanso correspondiente al personal en ocasiones excedía las 2 horas, disminuyendo las horas de producción.</p>
Cuadrilla no cumple con el rendimiento esperado	<p>Motivación continua al personal que participa en la tarea, asignándoles responsabilidades específicas, así comprenden el papel que cumple su participación durante el trabajo.</p> <p>No sobre cargar de tareas, asignar metas claras de cumplimiento diarias, esto permite controlar de manera eficiente los recursos asignados.</p> <p>Comunicación directa y rápida entre el personal y la supervisión a fin de obtener una respuesta rápida ante situaciones que puedan generar incertidumbre y esta a su vez retraso en el cumplimiento de la tarea.</p> <p>Supervisión permanente.</p>
Retraso en marcar los niveles topográficos para el relleno	Con un día de anticipación al inicio de la tarea se coordina con el área de topografía para hacer el trazo en el sitio de trabajo

	<p>según los datos del permiso de relleno. Esto también facilita la absolución de consultas por parte del personal de movimiento de tierras de ser necesario.</p>
<p>Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible</p>	<p>Se coordinó con el responsable del Área de Mantenimiento los siguientes puntos:</p> <p>Ante la situación de que el equipo quede inoperativo durante la jornada de trabajo se enviarán los mecánicos a la brevedad posible para evaluar la situación y/o reparar el equipo. Por su parte, el supervisor de movimiento de tierras evaluará la posibilidad de traer otro equipo como reemplazo de ser necesario de algún frente no considerado crítico ante la posibilidad que la reparación tome demasiado tiempo.</p> <p>El mantenimiento preventivo de los equipos será informado a la supervisión de movimiento de tierras para gestionar la ubicación de los equipos dependiendo de la criticidad de los trabajos a ejecutar.</p> <p>Los operadores de los equipos reportarán el reabastecimiento de combustible cuando el marcador señale medio tanque lleno, esto como medida preventiva ante el muy posible caso que la cisterna de combustible demore en acercarse para el reabastecimiento. Por su parte el Área de Mantenimiento ayudará con el pronto envío de la cisterna.</p>
<p>Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural</p>	<p>Se tendrá comunicación directa con la cantera que entrega el material seleccionado a fin de prever el avance diario de acuerdo al despacho de material.</p> <p>Se dará prioridad para el despacho de material a las tareas consideradas críticas.</p>
<p>Control de compactación no satisfactorio</p>	<p>El material de relleno debe ser protegido de las lluvias tanto en la cantera como en el sitio de trabajo con mantas impermeables.</p> <p>No se realizarán los trabajos de relleno con material que se encuentre con un nivel de saturación elevada.</p> <p>Al presenciar acolchonamiento del material de relleno durante la compactación se suspenderá el relleno y el material tendrá que ser disturbado para que pierda humedad a temperatura ambiente.</p> <p>Los rellenos ya terminados también deben ser protegidos de las lluvias con mantas impermeables.</p>
<p>Ocurrencia de incidente (seguridad)</p>	<p>A todo el personal nuevo se le realizará una inducción específica del área acerca de los procedimientos, documentación y de los riesgos comunes asociados a las actividades de movimiento de tierras.</p> <p>Se cumplirán con todos los procedimientos y normas de seguridad ya establecidos a fin de mitigar actos y condiciones que perjudiquen la salud del trabajador como prioridad así como a los bienes materiales.</p> <p>Antes de realizar cualquier trabajo se debe hacer un AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) donde participen todos los involucrados, el documento debe estar con todas las firmas antes del inicio de la tarea.</p>

	Se capacitara al personal con los cursos de vigías, herramientas de poder, trabajos en altura y espacios confinados según las responsabilidades que se asigne a cada uno.
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	<p>En el caso de tormentas eléctricas o lluvia intensa las tareas serán paralizadas anteponiendo nuestro valor de la seguridad, las horas de trabajo suspendido no serán consideradas dentro del plazo de entrega.</p> <p>La hora de inicio de los trabajos se adelantó a las 6:00 am ya que por la estación las tormentas se reportaban con mayor frecuencia en horas de la tarde.</p>

Una vez controlados los riesgos se ejecutaran los trabajos considerando como plazo de entrega el cronograma bajo la metodología de cadena critica.

3.10.4.7. Control de avance

Una vez planteado el nuevo cronograma se podrá hacer seguimiento al avance de las tareas utilizando el cuadro de control, relacionando el porcentaje de avance del proyecto respecto al porcentaje de consumo del buffer del proyecto.

Tabla 40 Cuadro de control de avance diario

Tarea	N°	Día	Cantidad m3	Acumulado m3	% Tarea Completada	% Buffer Utilizado
Relleno estructural para la losa radier del espesor de relaves TKF 027	1	02/01	450.00	450.00	7.16%	6.61%
	2	03/01	470.00	920.00	14.64%	11.94%
	3	04/01	430.00	1,350.00	21.48%	20.74%
	4	05/01	350.00	1,700.00	27.05%	38.74%
	5	06/01	90.00	1,790.00	28.49%	250.35%
	6	07/01	45.00	1,835.00	29.20%	716.76%
	7	08/01	455.00	2,290.00	36.44%	77.24%
	8	09/01	420.00	2,710.00	43.13%	91.94%
	9	10/01	440.00	3,150.00	50.13%	87.77%
	10	11/01	45.00	3,195.00	50.84%	711.85%
	11	12/01	465.00	3,660.00	58.24%	99.00%
	12	13/01	470.00	4,130.00	65.72%	98.48%
	13	14/01	430.00	4,560.00	72.57%	101.43%
	14	15/01	440.00	5,000.00	79.57%	101.02%
	15	16/01	60.00	5,060.00	80.52%	116.67%
Relleno con arena para la losa radier del espesor de relaves TKF 027	16	17/01	360.00	360.00	86.25%	119.40%
	17	18/01	355.00	715.00	91.90%	122.44%
	18	19/01	345.00	1,060.00	97.39%	126.18%
	19	20/01	190.00	1,250.00	100.41%	133.95%
	20	21/01	15.00	1,265.00	100.65%	150.00%

Utilizando la metodología de Cadena Crítica y las con las repuestas a los riesgos identificados, se logró disminuir el tiempo de ejecución de la Tarea de 22 días a 20 días, es decir en un 9% con un consumo total del 100% del Buffer del Proyecto.

3.10.4.8. Evaluación de pérdidas

En la siguiente tabla y grafico de Pareto se muestran los eventos identificados y su incidencia durante la ejecución de la tarea.

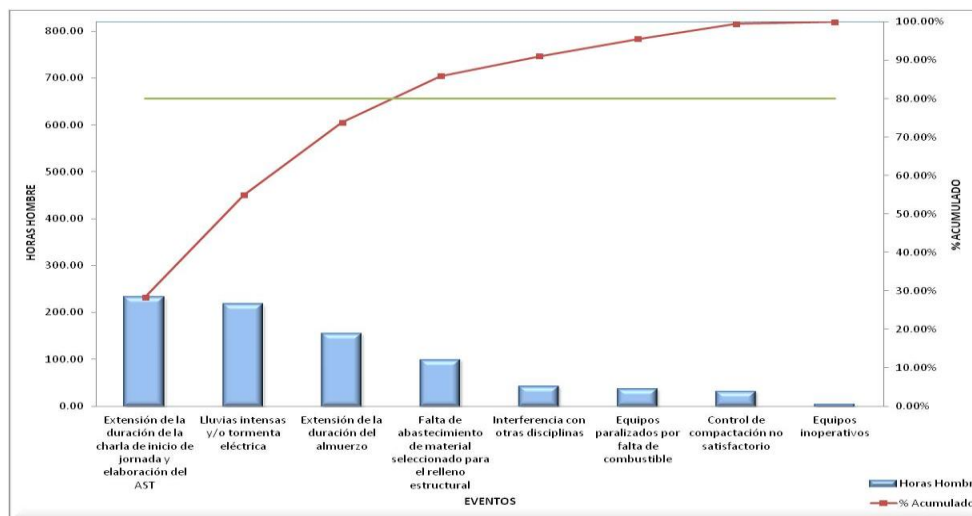
Tabla 41 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento

Eventos que afectan el cumplimiento de las duraciones estimadas	Horas	
	Hombre	% Acumulado
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST	232.50	28.39%
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	217.00	54.88%
Extensión de la duración del almuerzo	155.00	73.81%
Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural	99.00	85.90%
Interferencia con otras disciplinas	42.00	91.03%
Equipos paralizados por falta de combustible	37.00	95.54%
Control de compactación no satisfactorio	32.00	99.45%
Equipos inoperativos	4.50	100.00%
Sub Total	819.00	
Total de Horas Hombre Gastadas durante la tarea	3,100.00	
Incidencia	26.42%	

La sumatoria de las horas hombre gastadas en eventos no productivos respecto al total de las horas hombre requeridas para completar las tareas en la fecha estimada, representa un 26.42%.

El diagrama de Pareto muestra las tareas con mayor incidencia en el reporte de horas hombre gastadas por la ocurrencia de eventos con causal de no cumplimiento.

Figura 34 Distribución de las causas de no cumplimiento



3.10.4.9. Productividad y rendimiento

A continuación se detallara la lista de recursos utilizada para la ejecución de la tarea, así como el análisis de productividad y rendimiento según las horas hombre gastadas considerando una jornada diaria de trabajo de 10 horas de lunes a domingo.

Tabla 42 Recursos - Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF027

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	4.0000
PEÓN	3.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	2.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
CARGADOR FRONTAL	1.0000
TRACTOR SOBRE ORUGAS	1.0000
MOTONIVELADORA	1.0000
RODILLO 20 TN	1.0000

Tabla 43 Recursos - Relleno con arena para la losa radier del espesor de relaves
TKF027

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	4.0000
PEÓN	3.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	1.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
CARGADOR FRONTAL	1.0000
MOTONIVELADORA	1.0000
RODILLO 20 TN	1.0000

Tabla 44 Productividad y rendimiento

Tareas	Horas	Días	Cuadrilla	HH Gastadas	Promedio (m3)	Productividad (m3/hh)	Rendimiento (hh/m3)
Relleno estructural para la losa radier del espesor de relaves TKF 027	10.00	15.00	16.00	2,400.00	337.33	0.14	7.11
Relleno con arena para la losa radier del espesor de relaves TKF 027	10.00	5.00	14.00	700.00	253.00	0.36	2.77

3.10.5. Análisis N°5: Área 0410 Espesador de Cobre y Área 0340 Espesador de Cobre - Molibdeno

3.10.5.1. Tareas críticas programadas

Los trabajos programados son los siguientes:

- Área 0410 – Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje.

La cantidad de excavación proyectada es de 720.00 m3

- Área 0340 – Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios

La cantidad de excavación proyectada es de 480.00 m3

3.10.5.2. Identificación y valoración de riesgos

A continuación se muestran la lista de riesgos identificados propios de cada tarea y del área donde se desarrolla así como los resultados de su valoración según la matriz de Probabilidad – Impacto.

Los valores resaltados de rojo y amarillo merecen un plan de respuesta preventiva ya que su ocurrencia podría generar algún retraso en el plazo de entrega de los trabajos.

Tabla 45 Probabilidad – Impacto del Área 0410

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	2	3	6
3. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	2	2	4
4. Trabajos sobre instalaciones enterradas	1	2	2
5. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	3	3	9
6. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	2	3	6
7. Cambio en las condiciones del terreno	3	4	12
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	2	2	4
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	4	4	16

Tabla 46 Probabilidad – Impacto del Área 0340

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	3	3	9
3. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	1	2	2
4. Trabajos sobre instalaciones enterradas	1	2	2
5. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	2	2	4
6. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	4	4	16
7. Cambio en las condiciones del terreno	4	5	20
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	3	6
9. Cambio en el alcance de la tarea	2	2	4
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	4	4	16

Estos resultados, nos ayudaran para identificar los riesgos que pudieran ocurrir durante la ejecución de cada tarea, así como la posibilidad de poder estimar la Duración Pesimista y poder realizar un análisis bajo la simulación de Monte Carlo.

Para el cálculo de la Duración Pesimista se considerará el porcentaje de retraso según la máxima valoración del riesgo obtenido de la matriz Probabilidad – Impacto.

Nivel	Valoración	% Retraso
Muy baja	1 - 5	5.00%
Baja	6 - 8	10.00%
Media	9 - 10	20.00%
Alta	12 - 16	30.00%
Muy alta	20 - 25	40.00%

3.10.5.3. Duraciones proyectadas de ejecución

A continuación se detallaran los criterios para establecer las duraciones de los tiempos esperado, optimista y pesimista que serán utilizados para la simulación Monte Carlo

1. Duración Esperada: Se calcula dividiendo el valor del metrado (Item 3.11.1) entre el rendimiento del análisis de costos unitarios (Item 3.11.2), el valor del resultado es redondeado al valor entero superior.

a. Análisis de costos unitarios: (Item 3.11.2)

Parítda	EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS HDPE PARA DRENAJE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			22.84
Código	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0741	6.90	0.51	
							2.95
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	2.95	0.09	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
							19.89

Partida	05.02 EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS HDPE DE LA RED CONTRA INCENDIOS						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 40.0000	EQ: 40.0000	Costo unitario directo por: M3			67.02
Código	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2500	9.42	2.36	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2500	8.56	2.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.5000	7.47	3.74	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.2500	6.90	1.73	
							9.96
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	9.96	0.30	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	1.0000	0.2500	40.23	10.06	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	92.11	23.03	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	94.73	23.68	
							57.07

b. Calculo de la Duración Esperada: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Esperada = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Esperada
0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	720.00	135.00	6.00
0340	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	480.00	40.00	12.00
Total		1,200.00		18.00

2. **Duración Optimista:** El valor de la duración optimista es asumido considerando la opinión, conocimiento y experiencia de los supervisores de campo, evaluando la tarea y el entorno donde se desarrolla, se considerará una variación de los recursos y del rendimiento en el análisis de costos unitarios con la finalidad de poder asumir teóricamente una duración menor de término de la tarea.

a. Análisis de costos unitarios:

Partida	05.01 EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS HDPE PARA DRENAJE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 145.0000	EQ: 145.0000	Costo unitario directo por: M3			28.29
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0690	9.42	0.65	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0690	8.56	0.59	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1379	7.47	1.03	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.1379	6.90	0.95	
3.22							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	3.22	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1379	40.23	5.55	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0690	92.11	6.35	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	2.0000	0.1379	94.73	13.07	
25.06							

Partida	05.02 EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS HDPE DE LA RED CONTRA INCENDIOS						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 50.0000	EQ: 50.0000	Costo unitario directo por: M3			78.01
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2000	9.42	1.88	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2000	8.56	1.71	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.4000	7.47	2.99	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.4000	6.90	2.76	
9.34							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	9.34	0.28	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	1.5000	0.3000	40.23	12.07	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2000	92.11	18.42	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	2.0000	0.4000	94.73	37.89	
68.66							

b. Calculo de la Duración Optimista: Considerando la variación en la estimación de los recursos y el rendimiento en el análisis de costos unitarios, el resultado se obtiene según la formula.

$$Duracion\ Optimista = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Optimista
0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	6.00	720.00	145.00	5.00
0340	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	12.00	480.00	50.00	10.00

3. Duración Pesimista: Se calcula considerando el valor de la duración esperada, la máxima valoración obtenida de la Tabla de Probabilidad – Impacto (Tablas 45 y 46) junto con el porcentaje de retraso correspondiente (Tabla 3).

a. Máxima Valoración Probabilidad – Impacto (Tablas 45 y 46) y Porcentaje de retraso (Tabla 3):

Área	Tarea	Máximo Valor Pxl	% Retraso
0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	16.00	30.00%
0340	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	20.00	40.00%

b. Calculo de la Duración Pesimista: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Pesimista = Duracion\ Esperada \times (1 + \% Retraso)$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Factor (1+%Retraso)	Duración Pesimista
0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	6.00	1.30	8.00
0340	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	12.00	1.40	17.00

Como resumen de los análisis antes mostrados, se presenta la siguiente tabla de duraciones considerando los 3 posibles escenarios incluyendo el metrado.

Tabla 47 Duraciones

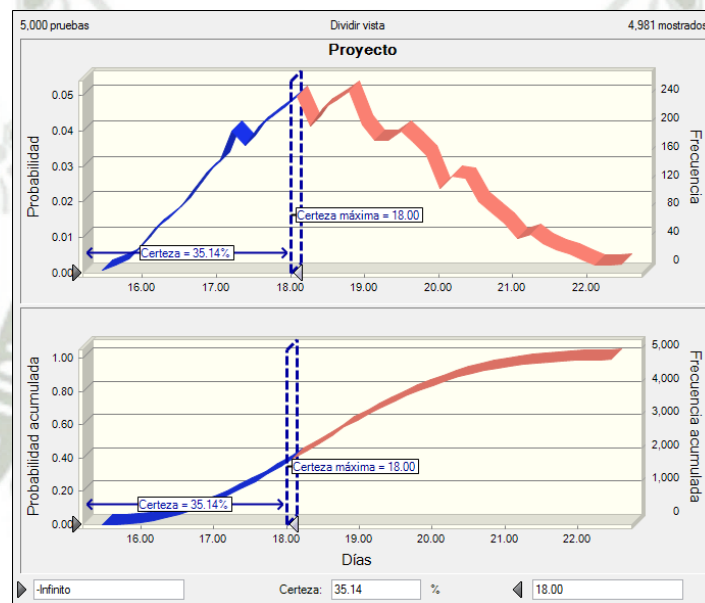
Área	Tarea	Cantidad m3	Duración Optimista	Duración Esperada	Duración Pesimista
0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	720.00	5.00	6.00	8.00
0340	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	480.00	10.00	12.00	17.00

3.10.5.4. Simulación Monte Carlo

Con el apoyo del Software Crystal Ball se realiza la simulación Monte Carlo considerando las 3 duraciones dadas.

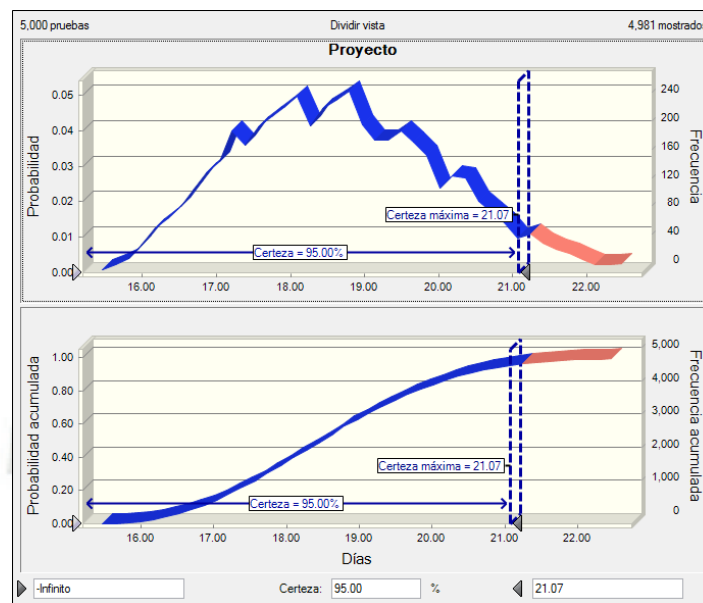
El primer resultado de la simulación muestra que la probabilidad de cumplir con las tareas en un plazo de 18 días considerando la duración esperada, solo tiene una probabilidad del 35.14 %.

Figura 35 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada



De igual manera los resultados muestran que la duración total de la tarea es de 21.07 días con una probabilidad del 95 %.

Figura 36 Probabilidad de ocurrencia al 95%



Esta simulación, permite dar tiempos de duración confiables y poder cumplir con las fechas de término comprometidas.

3.10.5.5. Programación con Cadena Crítica

Considerando los resultados de los análisis anteriores y los criterios de cadena crítica (CCPM) se estimaran las reducciones de las duraciones de las tareas, colocando los buffers donde sean necesarios y evitando proteger cada tarea de manera individual.

La simulación Monte Carlo dio como resultado una duración de 21.07 días, para este caso se redondeará la cifra a 22 días, en la siguiente tabla se muestran las nuevas duraciones a considerar en el análisis CCPM donde los valores se expresan en días.

Tabla 48 Programación CCPM

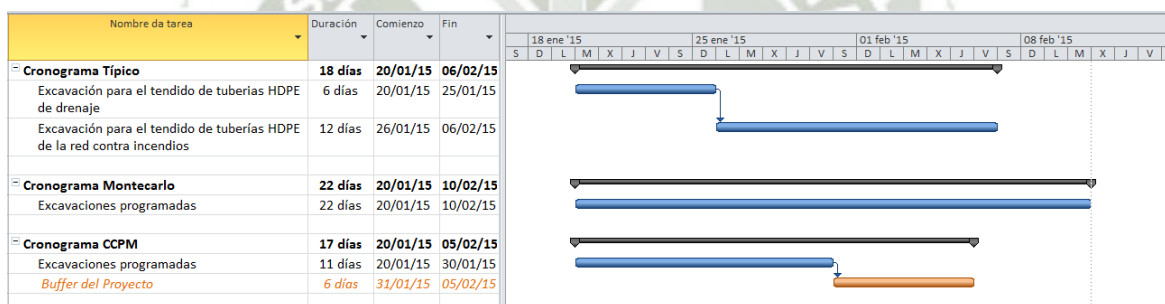
Área	Tarea	Duración Simulada	% de Reducción	Duración Reducida	Buffer de Recursos	Buffer de Proyecto	Duración CCPM
0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje						
	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	22.00	50.00%	11.00	1.00	5.50	17.00

La duración reducida es el producto de la duración simulada y el porcentaje de reducción, este último se obtiene luego del análisis de los supervisores a cargo que consideran el tipo de tarea, su ubicación y el entorno donde se desarrolla.

El buffer del proyecto es considerado el 50% de la diferencia entre la duración simulada y la duración reducida. De igual manera el valor de la duración total es la suma de la duración reducida del buffer de recursos y del buffer del proyecto.

A continuación se muestran los cronogramas bajo la simulación Monte Carlo y el cronograma considerando la metodología de Cadena Crítica, en ambos se consideraron los valores redondeados de las diferentes duraciones.

Figura 37 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM



Comparando el cronograma simulado con Monte Carlo y el cronograma bajo CCPM, la duración de la tarea se redujo teóricamente de 22 días a 17 días es decir en un 23%, seguidamente se analizara qué medidas se tienen que tomar para poder cumplir con esta meta y se mostrara la duración real de las tareas.

3.10.5.6. Respuesta a los riesgos

Para respaldar las acciones a tomar a fin de reducir los tiempos de entrega de las tareas según Cadena Crítica, es necesaria la evacuación y control de los riesgos identificados antes de la ejecución de cada tarea.

De la identificación y valoración de riesgos mencionado anteriormente, se considerará a los eventos no deseados resaltados en verde y rojo según la matriz de Probabilidad - Impacto para implementar medidas de control ya que estos son los que podrían tener mayor impacto negativo en el tiempo de entrega de la tarea.

Tabla 49 Riesgos y acciones tomadas

RIESGOS	RESPUESTA (ACCION TOMADA)
<p>Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo</p>	<p>Se estandarizaron los temas a tratar en la charla de inicio de jornada, y se capacito al personal en el conocimiento de los procedimientos escritos de trabajo con la finalidad que esa información los ayude en la elaboración más rápida de los análisis de seguridad en el trabajo (AST).</p> <p>Se decidió que el personal de movimiento de tierras almuerce una hora distinta a la del resto de disciplinas a fin de evitar la saturación en los comedores, donde sumando el tiempo de atención y descanso correspondiente al personal en ocasiones excedía las 2 horas, disminuyendo las horas de producción.</p>
<p>Cuadrilla no cumple con el rendimiento esperado</p>	<p>Motivación continua al personal que participa en la tarea, asignándoles responsabilidades específicas, así comprenden el papel que cumple su participación durante el trabajo.</p> <p>No sobre cargar de tareas, asignar metas claras de cumplimiento diarias, esto permite controlar de manera eficiente los recursos asignados.</p> <p>Comunicación directa y rápida entre el personal y la supervisión a fin de obtener una respuesta rápida ante situaciones que puedan generar incertidumbre y esta a su vez retraso en el cumplimiento de la tarea.</p> <p>Supervisión permanente.</p>
<p>Retraso en la emisión del permiso de excavación</p>	<p>Se establecieron reuniones y comunicación directa con los responsables de las diferentes disciplinas usuarias antes de la fecha del inicio de la tarea a fin de estar informados como va avanzando el trámite de los permisos de excavación.</p>
<p>Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otras disciplinas</p>	<p>Coordinar directamente con el Gerente de Área a fin de que el inicio y secuencia de los trabajos programados estén previamente coordinados, anteponiendo nuestro valor de la seguridad evitando incidentes con daño personal y/o material así como interrupciones y retrasos entre las diferentes disciplinas que trabajan en la misma área.</p>
<p>Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible</p>	<p>Se coordinó con el responsable del Área de Mantenimiento los siguientes puntos:</p> <p>Ante la situación de que el equipo quede inoperativo durante la jornada de trabajo se enviaran los mecánicos a la brevedad posible para evaluar la situación y/o reparar el equipo. Por su parte, el supervisor de movimiento de tierras evaluara la posibilidad de traer otro equipo como reemplazo de ser</p>

	<p>necesario de algún frente no considerado crítico ante la posibilidad que la reparación tome demasiado tiempo.</p> <p>El mantenimiento preventivo de los equipos será informado a la supervisión de movimiento de tierras para gestionar la ubicación de los equipos dependiendo de la criticidad de los trabajos a ejecutar.</p> <p>Los operadores de los equipos reportaran el reabastecimiento de combustible cuando el marcador señale medio tanque lleno, esto como medida preventiva ante el muy posible caso que la cisterna de combustible demore en acercarse para el reabastecimiento. Por su parte el Área de Mantenimiento ayudara con el pronto envío de la cisterna.</p>
<p>Cambio de las condiciones de terreno</p>	<p>Si durante la excavación se presentan cambios desfavorables en las condiciones de terreno, como un cambio a un estrato rocoso o también es posible el afloramiento de agua que dificultara la entrega de la excavación para alguna fundación estructural, estos casos se reportaran al Área de Ingeniería a fin de que a la brevedad brinden alguna alternativa de solución, la cual se evaluara si requiere o no alguna variación en el plazo de entrega.</p> <p>Se tendrá como medida de contingencia la posibilidad de contar con equipo adicional específico para excavaciones en roca como equipos con martillos hidráulicos, perforadoras o buldócer con ripper a fin de debilitar o retirar el estrato rocoso.</p>
<p>Ocurrencia de incidente (seguridad)</p>	<p>A todo el personal nuevo se le realizara una inducción específica del área acerca de los procedimientos, documentación y de los riesgos comunes asociados a las actividades de movimiento de tierras.</p> <p>Se cumplirán con todos los procedimientos y normas de seguridad ya establecidos a fin de mitigar actos y condiciones que perjudique la salud del trabajador como prioridad así como a los bienes materiales.</p> <p>Antes de realizar cualquier trabajo se debe hacer un AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) donde participen todos los involucrados, el documento debe estar con todas las firmas antes del inicio de la tarea.</p> <p>Se capacitara al personal con los cursos de vigías, herramientas de poder, trabajos en altura y espacios confinados según las responsabilidades que se asigne a cada uno.</p>
<p>Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica</p>	<p>En el caso de tormentas eléctricas o lluvia intensa las tareas serán paralizadas anteponiendo nuestro valor de la seguridad, las horas de trabajo suspendido no serán consideradas dentro del plazo de entrega.</p> <p>La hora de inicio de los trabajos se adelantó a las 6:00 am ya que por la estación las tormentas se reportaban con mayor frecuencia en horas de la tarde.</p>

Una vez controlados los riesgos se ejecutarán los trabajos considerando como plazo de entrega el cronograma bajo la metodología de cadena crítica.

3.10.5.7. Control de avance

Una vez planteado el nuevo cronograma se podrá hacer seguimiento al avance de las tareas utilizando el cuadro de control, relacionando el porcentaje de avance del proyecto respecto al porcentaje de consumo del buffer del proyecto.

Tabla 50 Cuadro de control de avance diario

Tarea	N°	Día	Cantidad m3	Acumulado m3	% Tarea Completada	% Buffer Utilizado
Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	1	20/01	155.00	155.00	12.92%	2.69%
	2	21/01	150.00	305.00	25.42%	6.11%
	3	22/01	60.00	365.00	30.42%	48.61%
	4	23/01	75.00	440.00	36.67%	62.22%
	5	24/01	160.00	600.00	50.00%	29.17%
	6	25/01	130.00	730.00	60.83%	33.33%
Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	7	26/01	70.00	70.00	66.67%	33.33%
	8	27/01	60.00	130.00	71.67%	35.32%
	9	28/01	60.00	190.00	76.67%	37.70%
	10	29/01	15.00	205.00	77.92%	110.32%
	11	30/01	15.00	220.00	79.17%	169.84%
	12	31/01	30.00	250.00	81.67%	123.02%
	13	01/02	65.00	315.00	87.08%	75.64%
	14	02/02	70.00	385.00	92.92%	72.62%
	15	03/02	55.00	440.00	97.50%	78.79%
	16	04/02	30.00	470.00	100.00%	88.89%
	17	05/02	15.00	485.00	101.25%	100.00%

Utilizando la metodología de Cadena Crítica y las con las repuestas a los riesgos identificados, se logró disminuir el tiempo de ejecución de la Tarea de 22 días a 17 días, es decir en un 23% con un consumo total del 100% del Buffer del Proyecto.

3.10.5.8. Evaluación de pérdidas

En la siguiente tabla y gráfico de Pareto se muestran los eventos identificados y su incidencia durante la ejecución de la tarea.

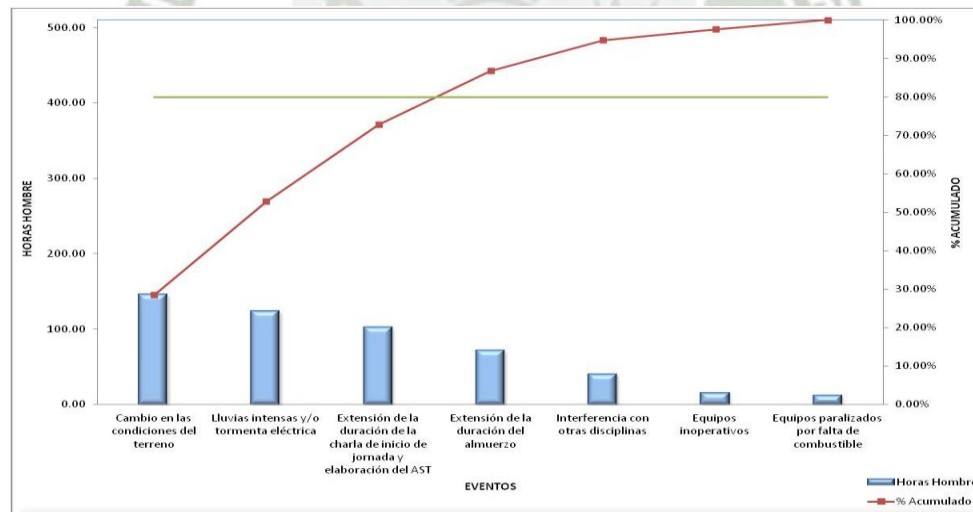
Tabla 51 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento

Eventos que afectan el cumplimiento de las duraciones estimadas	Horas	%
	Hombre	Acumulado
Cambio en las condiciones del terreno	145.00	28.54%
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	123.00	52.76%
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST	102.00	72.83%
Extensión de la duración del almuerzo	71.00	86.81%
Interferencia con otras disciplinas	40.00	94.69%
Equipos inoperativos	15.00	97.64%
Equipos paralizados por falta de combustible	12.00	100.00%
Sub Total	508.00	
Total de Horas Hombre Gastadas durante la tarea	1,420.00	
Incidencia	35.77%	

La sumatoria de las horas hombre gastadas en eventos no productivos respecto al total de las horas hombre requeridas para completar las tareas en la fecha estimada, representa un 35.77%.

El diagrama de Pareto muestra las tareas con mayor incidencia en el reporte de horas hombre gastadas por la ocurrencia de eventos con causal de no cumplimiento.

Figura 38 Distribución de las causas de no cumplimiento



3.10.5.9. Productividad y rendimiento

A continuación se detallara la lista de recursos utilizada para la ejecución de la tarea, así como el análisis de productividad y rendimiento según las horas hombre gastadas considerando una jornada diaria de trabajo de 10 horas de lunes a domingo.

Tabla 52 Recursos - Excavación para el tendido de tuberías hdpe para drenaje

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	1.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	2.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 53 Recursos - Excavación para el tendido de tuberías hdpe de la red contra incendios

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	1.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	1.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 54 Productividad y rendimiento

Tareas	Horas	Días	Cuadrilla	HH Gastadas	Promedio (m3)	Productividad (m3/hh)	Rendimiento (hh/m3)
Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	10.00	6.00	9.00	540.00	121.67	0.23	4.44
Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	10.00	11.00	8.00	880.00	44.09	0.05	19.96

3.10.6. Análisis N°6: Área 0510 Espesador de Relaves

3.10.6.1. Tareas críticas programadas

Los trabajos programados son los siguientes:

- Área 0510 – Excavación para el cajón de descarga final de los relaves.

La cantidad de excavación proyectada es de 486.00 m3

- Área 0510 – Excavación para el canal de descarga de los relaves.

La cantidad de excavación proyectada es de 432.00 m³

3.10.6.2. Identificación y valoración de riesgos

A continuación se muestran la lista de riesgos identificados propios de cada tarea y del área donde se desarrolla así como los resultados de su valoración según la matriz de Probabilidad – Impacto.

Los valores resaltados de rojo y amarillo merecen un plan de respuesta preventiva ya que su ocurrencia podría generar algún retraso en el plazo de entrega de los trabajos.

Tabla 55 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (Cajón de descarga)

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	2	3	6
3. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	2	3	6
4. Trabajos sobre instalaciones enterradas	4	4	16
5. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	3	4	12
6. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	2	2	4
7. Cambio en las condiciones del terreno	3	4	12
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	3	6
9. Cambio en el alcance de la tarea	1	1	1
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	3	4	12

Tabla 56 Probabilidad – Impacto del Área 0510 (Canal de descarga)

Riesgos en excavaciones	Probabilidad	Impacto	P x I
1. Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	3	4	12
2. Retraso o errores en la emisión del permiso de excavación	1	2	2
3. Retraso en los trazos topográficos previos a la excavación	1	2	2
4. Trabajos sobre instalaciones enterradas	1	1	1
5. Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otra disciplinas	2	2	4
6. Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible	3	3	9
7. Cambio en las condiciones del terreno	4	4	16
8. Ocurrencia de incidente (seguridad)	2	4	8
9. Cambio en el alcance de la tarea	1	1	1
10. Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	3	4	12

Estos resultados, nos ayudaran para identificar los riesgos que pudieran ocurrir durante la ejecución de cada tarea, así como la posibilidad de poder estimar la Duración Pesimista y poder realizar un análisis bajo la simulación de Monte Carlo.

Para el cálculo de la Duración Pesimista se considerará el porcentaje de retraso según la máxima valoración del riesgo obtenido de la matriz Probabilidad – Impacto.

Nivel	Valoración	% Retraso
Muy baja	1 - 5	5.00%
Baja	6 - 8	10.00%
Media	9 - 10	20.00%
Alta	12 - 16	30.00%
Muy alta	20 - 25	40.00%

3.10.6.3. Duraciones proyectadas de ejecución

A continuación se detallaran los criterios para establecer las duraciones de los tiempos esperado, optimista y pesimista que serán utilizados para la simulación Monte Carlo

1. Duración Esperada: Se calcula dividiendo el valor del metrado (Item 3.11.1) entre el rendimiento del análisis de costos unitarios (Item 3.11.2), el valor del resultado es redondeado al valor entero superior.

a. Análisis de costos unitarios: (Item 3.11.2)

Partida	06.01 EXCAVACION PARA EL CAJON DE DESCARGA FINAL DE LOS RELAVES						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			22.84
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0741	6.90	0.51	
							2.95
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	2.95	0.09	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
							19.89

Partida	06.02 EXCAVACION PARA EL CANAL DE DESCARGA DE LOS RELAVES						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 40.0000	EQ: 40.0000	Costo unitario directo por: M3			76.60
Código	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2500	9.42	2.36	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2500	8.56	2.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.5000	7.47	3.74	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.2500	6.90	1.73	
							9.96
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	% MO		3.0000	9.96	0.30	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.5000	40.23	20.12	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	92.11	23.03	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	92.80	23.20	
							66.64

b. Calculo de la Duración Esperada: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Esperada = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Esperada
0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	486.00	135.00	4.00
0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves	432.00	40.00	11.00
Total		918.00		15.00

2. **Duración Optimista:** El valor de la duración optimista es asumido considerando la opinión, conocimiento y experiencia de los supervisores de campo, evaluando la tarea y el entorno donde se desarrolla, se considerará una variación de los recursos y del rendimiento en el análisis de costos unitarios con la finalidad de poder asumir teóricamente una duración menor de término de la tarea.

a. Análisis de costos unitarios:

Partida 06.01 EXCAVACION PARA EL CAJON DE DESCARGA FINAL DE LOS RELAVES								
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 170.0000	EQ: 170.0000	Costo unitario directo por: M3			23.71	
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$		
Mano de Obra								
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0588	9.42	0.55		
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0588	8.56	0.50		
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1176	7.47	0.88		
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0588	6.90	0.41		
2.34								
Equipos								
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	2.34	0.07		
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1176	40.23	4.73		
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0588	92.11	5.42		
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	2.0000	0.1176	94.73	11.14		
21.37								

Partida 06.02 EXCAVACION PARA EL CANAL DE DESCARGA DE LOS RELAVES								
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 50.0000	EQ: 50.0000	Costo unitario directo por: M3			83.72	
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$		
Mano de Obra								
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2000	9.42	1.88		
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2000	8.56	1.71		
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.4000	7.47	2.99		
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.2000	6.90	1.38		
7.96								
Equipos								
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	7.96	0.24		
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.5000	0.5000	40.23	20.12		
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	2.0000	0.4000	92.11	36.84		
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2000	92.80	18.56		
75.76								

b. Calculo de la Duración Optimista: Considerando la variación en la estimación de los recursos y el rendimiento en el análisis de costos unitarios, el resultado se obtiene según la formula.

$$Duracion\ Optimista = \frac{Cantidad\ (m3)}{Rendimiento(m3/dia)}$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Cantidad m3	Rendimiento m3/día	Duración Optimista
0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	4.00	486.00	170.00	3.00
0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves	11.00	432.00	50.00	9.00

3. **Duración Pesimista:** Se calcula considerando el valor de la duración esperada, la máxima valoración obtenida de la Tabla de Probabilidad – Impacto (Tablas 55 y 56) junto con el porcentaje de retraso correspondiente (Tabla 3).

a. Máxima Valoración Probabilidad – Impacto (Tablas 55 y 56) y Porcentaje de retraso (Tabla 3):

Área	Tarea	Máximo Valor Pxl	% Retraso
0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	16.00	30.00%
0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves	16.00	30.00%

b. Calculo de la Duración Pesimista: Se obtiene según la siguiente formula.

$$Duracion\ Pesimista = Duracion\ Esperada \times (1 + \% Retraso)$$

Área	Tarea	Duración Esperada	Factor (1+%Retraso)	Duración Pesimista
0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	4.00	1.30	6.00
0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves	11.00	1.30	15.00

Como resumen de los análisis antes mostrados, se presenta la siguiente tabla de duraciones considerando los 3 posibles escenarios incluyendo el metrado.

Tabla 57 Duraciones

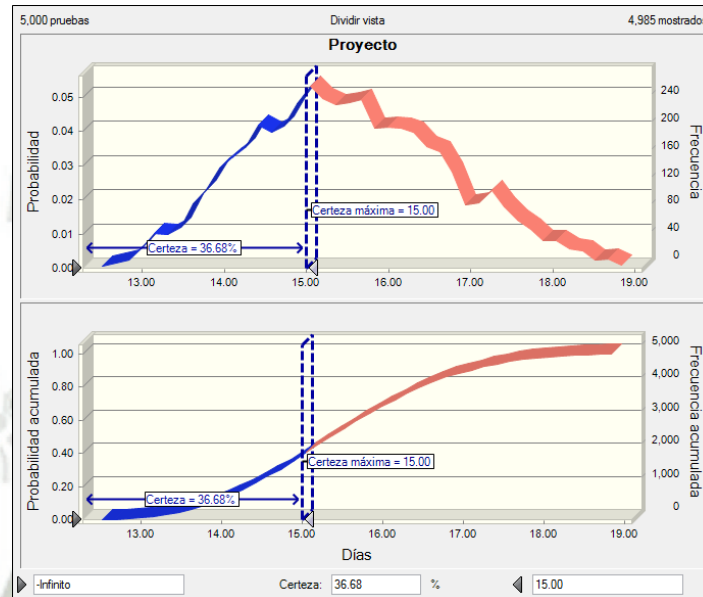
Área	Tarea	Cantidad m3	Duración Optimista	Duración Esperada	Duración Pesimista
0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	486.00	3.00	4.00	6.00
0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves	432.00	9.00	11.00	15.00

3.10.6.4. Simulación Monte Carlo

Con el apoyo del Software Crystal Ball se realiza la simulación Monte Carlo considerado las 3 duraciones dadas.

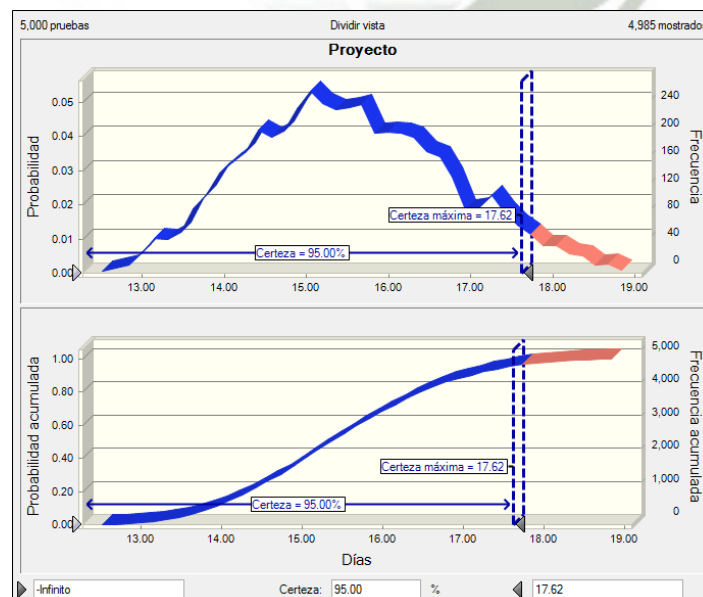
El primer resultado de la simulación muestra que la probabilidad de cumplir con las tareas en un plazo de 15 días considerando la duración esperada, solo tiene una probabilidad del 36.68 %.

Figura 39 Probabilidad de ocurrencia de la duración esperada



De igual manera los resultados muestran que la duración total de la tarea es de 17.62 días con una probabilidad del 95 %.

Figura 40 Probabilidad de ocurrencia al 95%



Esta simulación, permite dar tiempos de duración confiables y poder cumplir con las fechas de término comprometidas.

3.10.6.5. Programación con Cadena Crítica

Considerando los resultados de los análisis anteriores y los criterios de cadena crítica (CCPM) se estimaran las reducciones de las duraciones de las tareas, colocando los buffers donde sean necesarios y evitando proteger cada tarea de manera individual.

La simulación Monte Carlo dio como resultado una duración de 17.62 días, para este caso se redondeará la cifra a 18 días, en la siguiente tabla se muestran las nuevas duraciones a considerar en el análisis CCPM donde los valores se expresan en días.

Tabla 58 Programación CCPM

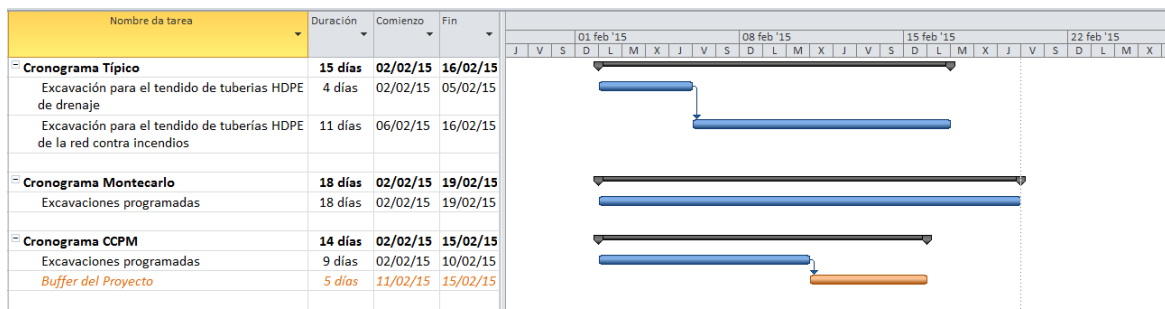
Área	Tarea	Duración Simulada	% de Reducción	Duración Reducida	Buffer de Recursos	Buffer de Proyecto	Duración CCPM
0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	18.00	50.00%	9.00	1.00	4.50	14.00
0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves						

La duración reducida es el producto de la duración simulada y el porcentaje de reducción, este último se obtiene luego del análisis de los supervisores a cargo que consideran el tipo de tarea, su ubicación y el entorno donde se desarrolla.

El buffer del proyecto es considerado el 50% de la diferencia entre la duración simulada y la duración reducida. De igual manera el valor de la duración total es la suma de la duración reducida del buffer de recursos y del buffer del proyecto.

A continuación se muestran los cronogramas bajo la simulación Monte Carlo y el cronograma considerando la metodología de Cadena Crítica, en ambos se consideraron los valores redondeados de las diferentes duraciones.

Figura 41 Cronogramas de ejecución Típico, Monte Carlo y CCPM



Comparando el cronograma simulado con Monte Carlo y el cronograma bajo CCPM, la duración de la tarea se redujo teóricamente de 18 días a 14 días es decir en un 23%, seguidamente se analizara qué medidas se tienen que tomar para poder cumplir con esta meta y se mostrara la duración real de las tareas.

3.10.6.6. Respuesta a los riesgos

Para respaldar las acciones a tomar a fin de reducir los tiempos de entrega de las tareas según Cadena Crítica, es necesaria la evacuación y control de los riesgos identificados antes de la ejecución de cada tarea.

De la identificación y valoración de riesgos mencionado anteriormente, se considerará a los eventos no deseados resaltados en verde y rojo según la matriz de Probabilidad - Impacto para implementar medidas de control ya que estos son los que podrían tener mayor impacto negativo en el tiempo de entrega de la tarea.

Tabla 59 Riesgos y acciones tomadas

RIESGOS	RESPUESTA (ACCION TOMADA)
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada, elaboración del AST y del horario del almuerzo	<p>Se estandarizaron los temas a tratar en la charla de inicio de jornada, y se capacito al personal en el conocimiento de los procedimientos escritos de trabajo con la finalidad que esa información los ayude en la elaboración más rápida de los análisis de seguridad en el trabajo (AST).</p> <p>Se decidió que el personal de movimiento de tierras almuerce una hora distinta a la del resto de disciplinas a fin de evitar la saturación en los comedores, donde sumando el tiempo de</p>

	<p>atención y descanso correspondiente al personal en ocasiones excedía las 2 horas, disminuyendo las horas de producción.</p>
<p>Cuadrilla no cumple con el rendimiento esperado</p>	<p>Motivación continua al personal que participa en la tarea, asignándoles responsabilidades específicas, así comprenden el papel que cumple su participación durante el trabajo.</p> <p>No sobre cargar de tareas, asignar metas claras de cumplimiento diarias, esto permite controlar de manera eficiente los recursos asignados.</p> <p>Comunicación directa y rápida entre el personal y la supervisión a fin de obtener una respuesta rápida ante situaciones que puedan generar incertidumbre y esta a su vez retraso en el cumplimiento de la tarea.</p> <p>Supervisión permanente.</p>
<p>Retraso en la emisión del permiso de excavación</p>	<p>Se establecieron reuniones y comunicación directa con los responsables de las diferentes disciplinas usuarias antes de la fecha del inicio de la tarea a fin de estar informados como va avanzando el trámite de los permisos de excavación.</p>
<p>Retraso en la liberación del área de trabajo y/o interferencias con otras disciplinas</p>	<p>Coordinar directamente con el Gerente de Área a fin de que el inicio y secuencia de los trabajos programados estén previamente coordinados, anteponiendo nuestro valor de la seguridad evitando incidentes con daño personal y/o material así como interrupciones y retrasos entre las diferentes disciplinas que trabajan en la misma área.</p>
<p>Equipos inoperativos, en mantenimiento preventivo y/o paralizados por falta de combustible</p>	<p>Se coordinó con el responsable del Área de Mantenimiento los siguientes puntos:</p> <p>Ante la situación de que el equipo quede inoperativo durante la jornada de trabajo se enviaran los mecánicos a la brevedad posible para evaluar la situación y/o reparar el equipo. Por su parte, el supervisor de movimiento de tierras evaluara la posibilidad de traer otro equipo como reemplazo de ser necesario de algún frente no considerado crítico ante la posibilidad que la reparación tome demasiado tiempo.</p> <p>El mantenimiento preventivo de los equipos será informado a la supervisión de movimiento de tierras para gestionar la ubicación de los equipos dependiendo de la criticidad de los trabajos a ejecutar.</p> <p>Los operadores de los equipos reportaran el reabastecimiento de combustible cuando el marcador señale medio tanque lleno, esto como medida preventiva ante el muy posible caso que la cisterna de combustible demore en acercarse para el reabastecimiento. Por su parte el Área de Mantenimiento ayudara con el pronto envío de la cisterna.</p>
<p>Cambio de las condiciones de terreno</p>	<p>Si durante la excavación se presentan cambios desfavorables en las condiciones de terreno, como un cambio a un estrato rocoso o también es posible el afloramiento de agua que dificultara la entrega de la excavación para alguna fundación estructural, estos casos se reportaran al Área de Ingeniería a fin de que a la brevedad brinden alguna alternativa de solución, la cual se evaluara si requiere o no alguna variación en el plazo de entrega.</p> <p>Se tendrá como medida de contingencia la posibilidad de contar</p>

	<p>con equipo adicional específico para excavaciones en roca como equipos con martillos hidráulicos, perforadoras o buldócer con ripper a fin de debilitar o retirar el estrato rocoso.</p>
Ocurrencia de incidente (seguridad)	<p>A todo el personal nuevo se le realizara una inducción específica del área acerca de los procedimientos, documentación y de los riesgos comunes asociados a las actividades de movimiento de tierras.</p> <p>Se cumplirán con todos los procedimientos y normas de seguridad ya establecidos a fin de mitigar actos y condiciones que perjudique la salud del trabajador como prioridad así como a los bienes materiales.</p> <p>Antes de realizar cualquier trabajo se debe hacer un AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo) donde participen todos los involucrados, el documento debe estar con todas las firmas antes del inicio de la tarea.</p> <p>Se capacitara al personal con los cursos de vigías, herramientas de poder, trabajos en altura y espacios confinados según las responsabilidades que se asigne a cada uno.</p>
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	<p>En el caso de tormentas eléctricas o lluvia intensa las tareas serán paralizadas anteponiendo nuestro valor de la seguridad, las horas de trabajo suspendido no serán consideradas dentro del plazo de entrega.</p> <p>La hora de inicio de los trabajos se adelantó a las 6:00 am ya que por la estación las tormentas se reportaban con mayor frecuencia en horas de la tarde.</p>

Una vez controlados los riesgos se ejecutaran los trabajos considerando como plazo de entrega el cronograma bajo la metodología de cadena critica.

3.10.6.7. Control de avance

Una vez planteado el nuevo cronograma se podrá hacer seguimiento al avance de las tareas utilizando el cuadro de control, relacionando el porcentaje de avance del proyecto respecto al porcentaje de consumo del buffer del proyecto.

Tabla 60 Cuadro de control de avance diario

Tarea	N°	Día	Cantidad m3	Acumulado m3	% Tarea Completada	% Buffer Utilizado
Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	1	02/02	135.00	135.00	14.71%	4.00%
	2	03/02	120.00	255.00	27.78%	11.50%
	3	04/02	135.00	390.00	42.48%	14.22%
	4	05/02	96.00	486.00	52.94%	20.00%
Excavación para el canal de descarga de los	5	06/02	60.00	60.00	59.48%	24.00%

relaves	6	07/02	55.00	115.00	65.47%	30.55%
	7	08/02	60.00	175.00	72.00%	33.67%
	8	09/02	20.00	195.00	74.18%	113.00%
	9	10/02	25.00	220.00	76.91%	132.00%
	10	11/02	30.00	250.00	80.17%	141.33%
	11	12/02	60.00	310.00	86.71%	80.67%
	12	13/02	65.00	375.00	93.79%	77.54%
	13	14/02	65.00	440.00	100.87%	80.00%

Utilizando la metodología de Cadena Crítica y las con las repuestas a los riesgos identificados, se logró disminuir el tiempo de ejecución de la Tarea de 18 días a 13 días, es decir en un 28% con un consumo total del 80% del Buffer del Proyecto.

3.10.6.8. Evaluación de pérdidas

En la siguiente tabla y grafico de Pareto se muestran los eventos identificados y su incidencia durante la ejecución de la tarea.

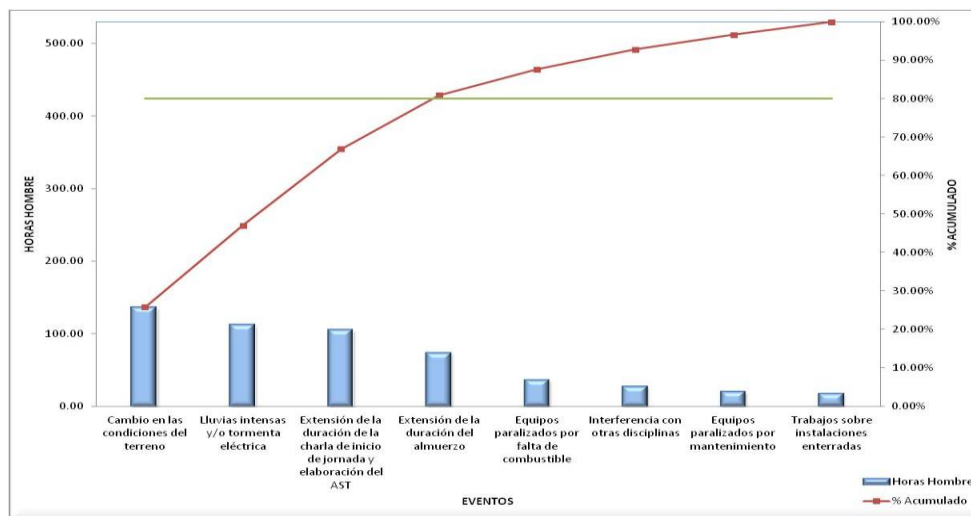
Tabla 61 Incidencia de las horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento

Eventos que afectan el cumplimiento de las duraciones estimadas	Horas	
	Hombre	% Acumulado
Cambio en las condiciones del terreno	136.00	25.78%
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	112.00	47.01%
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST	105.00	66.92%
Extensión de la duración del almuerzo	73.50	80.85%
Equipos paralizados por falta de combustible	36.00	87.68%
Interferencia con otras disciplinas	27.00	92.80%
Equipos paralizados por mantenimiento	20.00	96.59%
Trabajos sobre instalaciones enterradas	18.00	100.00%
Sub Total	527.50	
Total de Horas Hombre Gastadas durante la tarea	1,260.00	
Incidencia	41.87%	

La sumatoria de las horas hombre gastadas en eventos no productivos respecto al total de las horas hombre requeridas para completar las tareas en la fecha estimada, representa un 41.87%.

El diagrama de Pareto muestra las tareas con mayor incidencia en el reporte de horas hombre gastadas por la ocurrencia de eventos con causal de no cumplimiento.

Figura 42 Distribución de las causas de no cumplimiento



3.10.6.9. Productividad y rendimiento

A continuación se detallara la lista de recursos utilizada para la ejecución de la tarea, así como el análisis de productividad y rendimiento según las horas hombre gastadas considerando una jornada diaria de trabajo de 10 horas de lunes a domingo.

Tabla 62 Recursos - Excavación para el cajón de descarga final de los relaves

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	1.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	2.0000
EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 63 Recursos - Excavación para el canal de descarga de los relaves

Descripción Recurso	Cuadrilla
Mano de Obra	
CAPATAZ	1.0000
OPERARIO	1.0000
OFICIAL	2.0000
PEÓN	1.0000
Equipos	
VOLQUETE 15 M3	2.0000

EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	1.0000
CARGADOR FRONTAL	1.0000
MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	1.0000

Tabla 64 Productividad y rendimiento

Tareas	Horas	Días	Cuadrilla	HH Gastadas	Promedio (m3)	Productividad (m3/hh)	Rendimiento (hh/m3)
Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	10.00	4.00	9.00	360.00	121.50	0.34	2.96
Excavación para el canal de descarga de los relaves	10.00	9.00	10.00	900.00	48.89	0.05	18.41

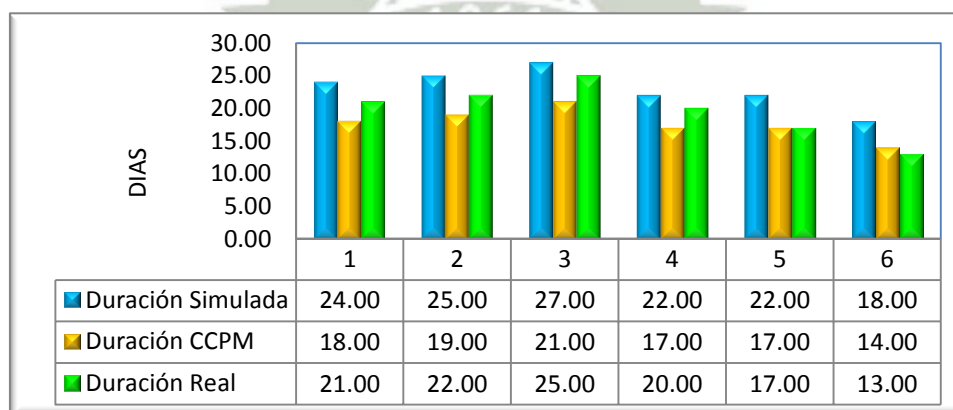
3.10.7. Análisis e interpretación general de los resultados obtenidos

En primer lugar se muestra la tabla y el grafico para el comparativo de la duración simulada (Monte Carlo), la duración según la metodología CCPM y la duración real.

Tabla 65 Valores de las 3 duraciones consideradas para el análisis

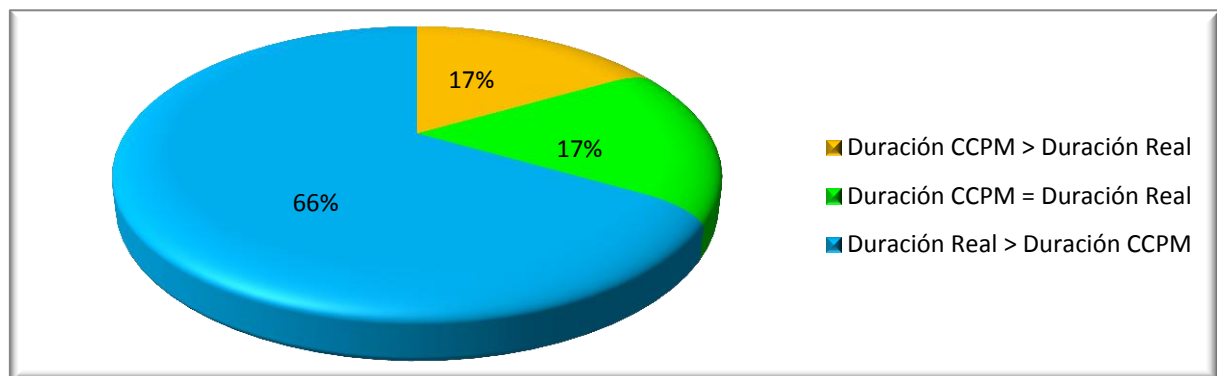
Duración Simulada	Duración CCPM	Duración Real
24.00	18.00	21.00
25.00	19.00	22.00
27.00	21.00	25.00
22.00	17.00	20.00
22.00	17.00	17.00
18.00	14.00	13.00
138.00	106.00	118.00

Figura 43 Comparativo de duraciones



- Las duraciones reales son menores a las duraciones simuladas, esto gracias a la evaluación y gestión de los riesgos identificados.
- Las duraciones reales en su mayoría fueron superiores a las duraciones consideradas bajo la metodología CCPM, los resultados de esta conclusión se detallara en el siguiente gráfico.

Figura 44 Porcentajes comparativos de las duraciones



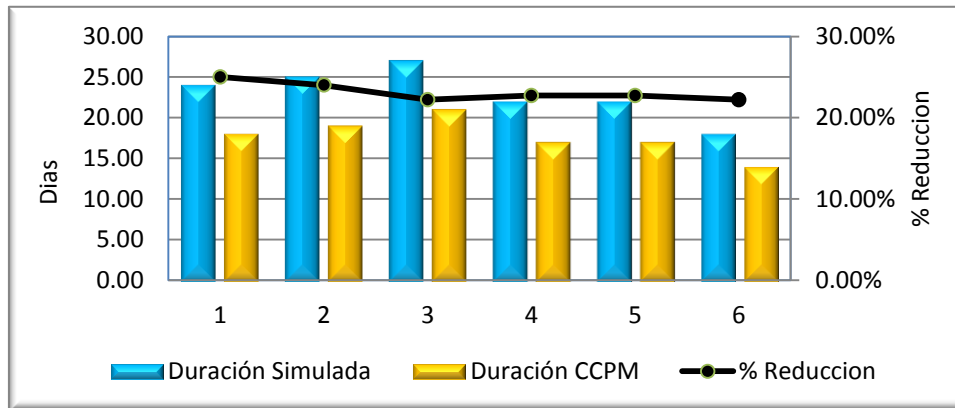
Del total de los casos estudiados se resuelve que, el 17% de las tareas se pudieron terminar en la fecha programada según la metodología CCPM, el 17% de la tareas se pudieron terminar antes de la fecha programada según la metodología CCPM y el 66% de las tareas se terminaron antes de la fechas programadas según la simulación de Monte Carlo pero después de las fecha programadas según la metodología CCPM.

En la tabla siguiente se detalla en días y porcentaje las reducciones entre las duraciones simuladas y las duraciones reales.

Tabla 66 Reducción de las duraciones simuladas y CCPM Reducción

Duración Simulada	Duración CCPM	% Reducción
24.00	18.00	25.00%
25.00	19.00	24.00%
27.00	21.00	22.22%
22.00	17.00	22.73%
22.00	17.00	22.73%
18.00	14.00	22.22%
138.00	106.00	23.19%

Figura 45 Porcentajes de reducción de las duraciones simuladas y CCPM



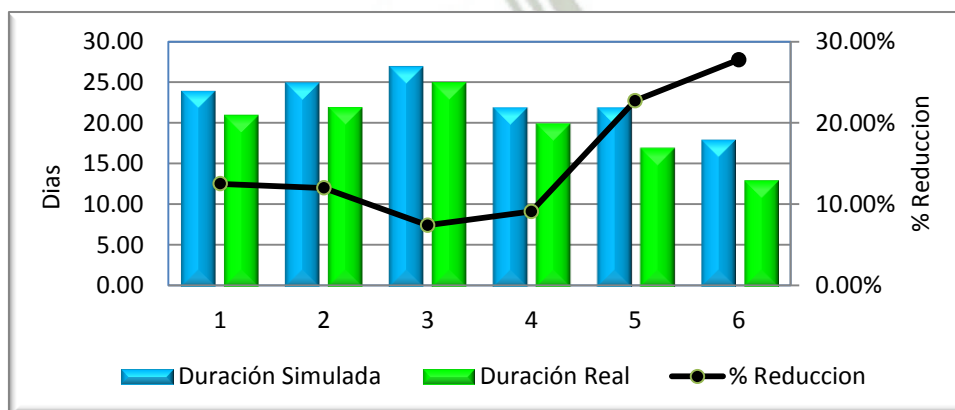
El promedio de porcentaje de reducción entre ambas duraciones es de 23.19%.

En la tabla siguiente se detalla en días y porcentaje las reducciones entre las duraciones simuladas y las duraciones reales.

Tabla 67 Reducción de las duraciones simuladas y reales

Duración Simulada	Duración Real	% Reducción
24.00	21.00	12.50%
25.00	22.00	12.00%
27.00	25.00	7.41%
22.00	20.00	9.09%
22.00	17.00	22.73%
18.00	13.00	27.78%
138.00	118.00	14.49%

Figura 46 Porcentajes de reducción de las duraciones simuladas y reales



El promedio de porcentaje de reducción entre ambas duraciones es de 14.49%.

En la siguiente tabla y grafico de Pareto se muestran los eventos identificados y su incidencia durante la ejecución de la tarea.

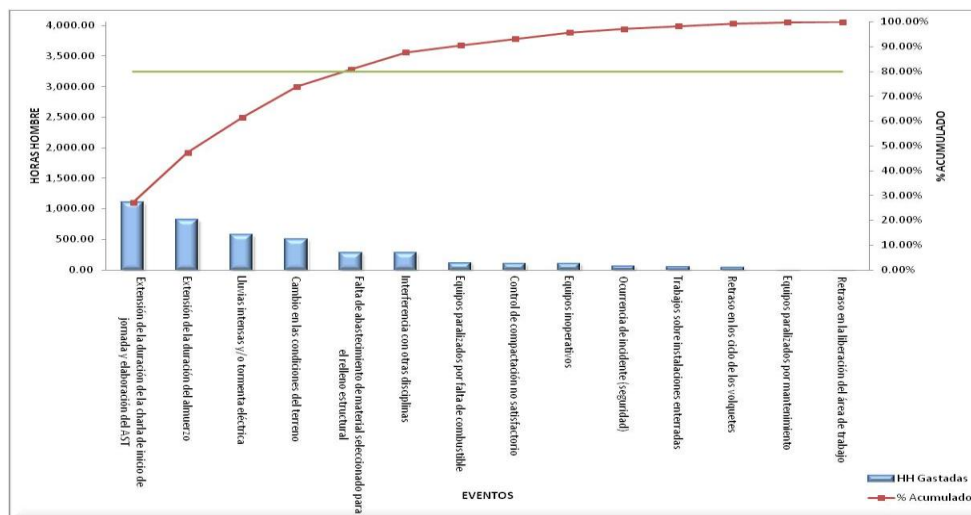
Tabla 68 Incidencia del total de horas hombre reportadas como causas de no cumplimiento

Eventos que afectan el cumplimiento de las duraciones estimadas	HH	%
	Gastadas	Acumulado
Extensión de la duración de la charla de inicio de jornada y elaboración del AST	1,102.92	27.17%
Extensión de la duración del almuerzo	819.00	47.34%
Lluvias intensas y/o tormenta eléctrica	575.00	61.51%
Cambio en las condiciones del terreno	504.00	73.92%
Falta de abastecimiento de material seleccionado para el relleno estructural	279.00	80.80%
Interferencia con otras disciplinas	278.00	87.65%
Equipos paralizados por falta de combustible	118.00	90.55%
Control de compactación no satisfactorio	104.00	93.11%
Equipos inoperativos	103.50	95.66%
Ocurrencia de incidente (seguridad)	58.00	97.09%
Trabajos sobre instalaciones enterradas	48.00	98.28%
Retraso en los ciclo de los volquetes	40.00	99.26%
Equipos paralizados por mantenimiento	20.00	99.75%
Retraso en la liberación del área de trabajo	10.00	100.00%
Sub Total	4,059.42	
Total de Horas Hombre Gastadas durante la tarea	13,970.00	
Incidencia	29.06%	

La sumatoria de las horas hombre gastadas en eventos no productivos respecto al total de las horas hombre requeridas para completar las tareas en la fecha estimada, representa un 29.06%.

El diagrama de Pareto muestra las tareas con mayor incidencia en el reporte de horas hombre gastadas por la ocurrencia de eventos con causal de no cumplimiento.

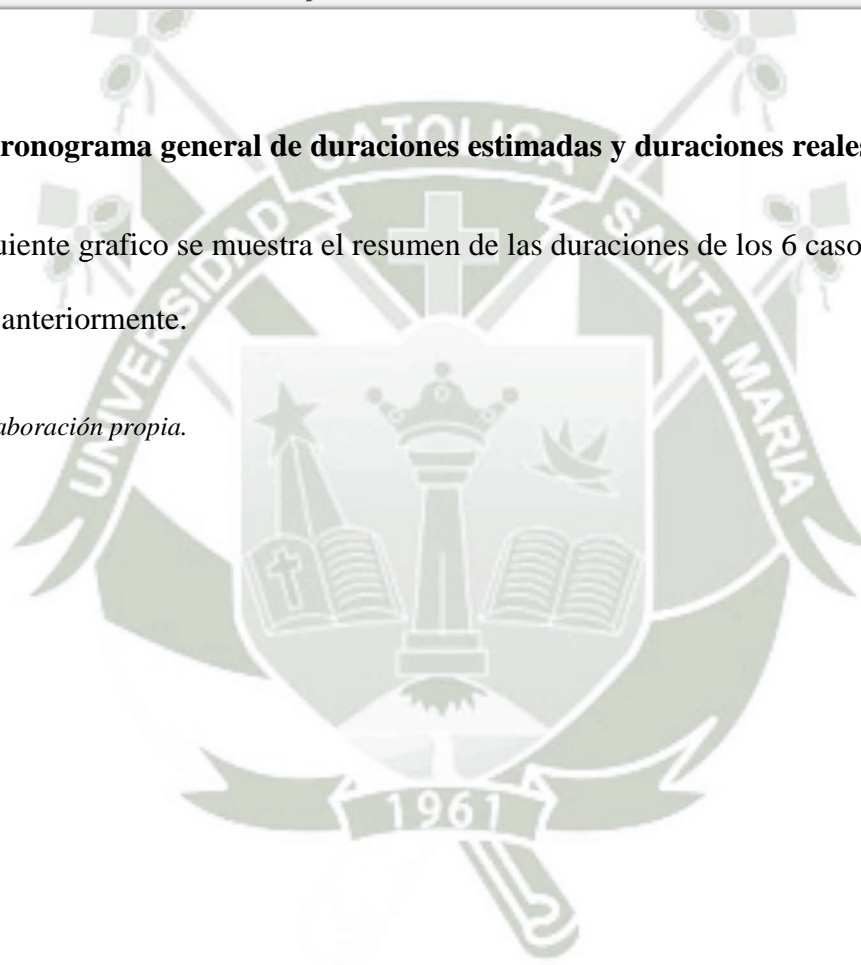
Figura 47 Distribución de las causas de no cumplimiento

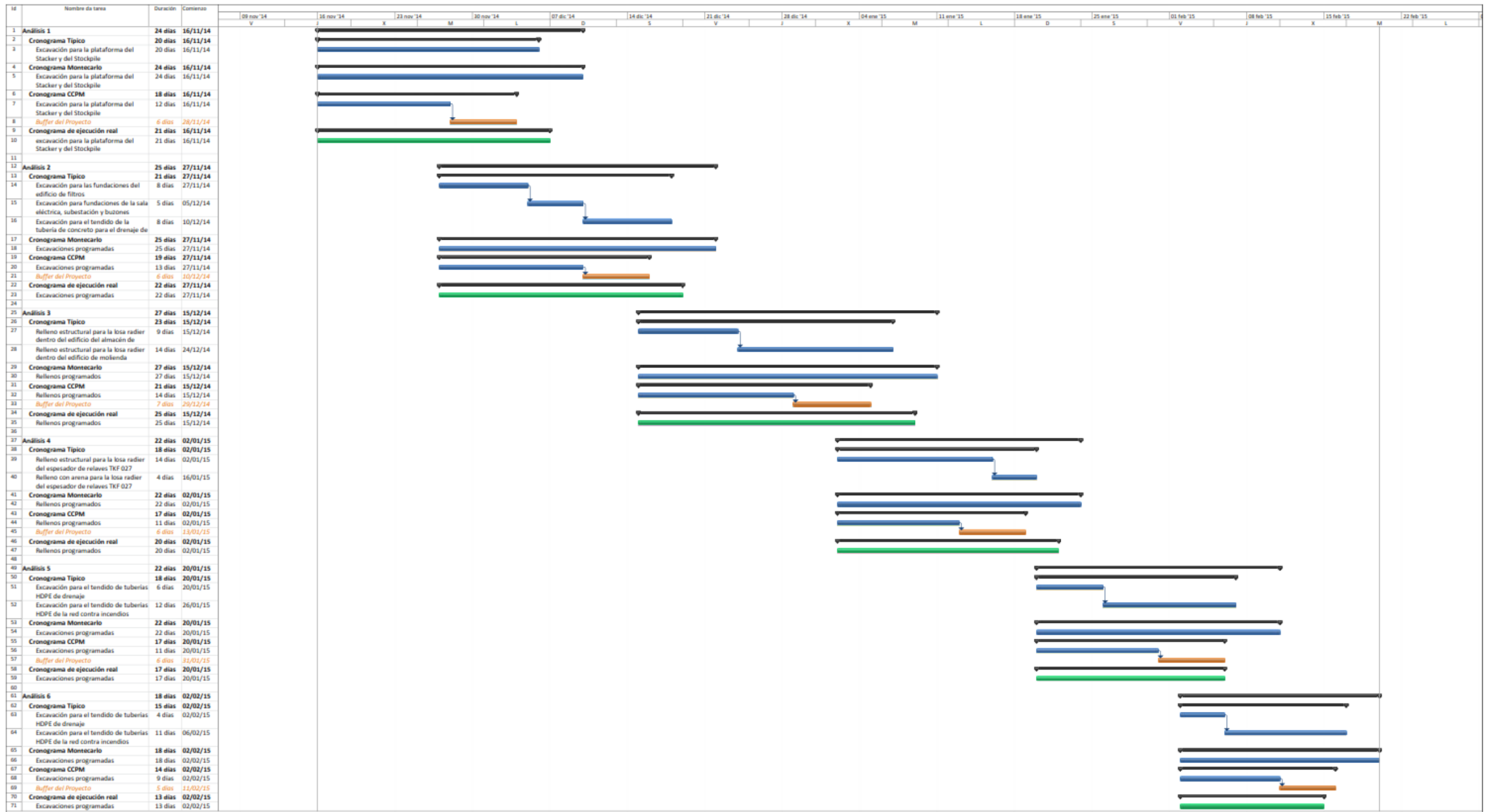


3.10.8. Cronograma general de duraciones estimadas y duraciones reales

En el siguiente gráfico se muestra el resumen de las duraciones de los 6 casos de estudio descritos anteriormente.

Fuente: Elaboración propia.





Proyecto: Proyecto1
 Fecha: 07/06/17

Tarea: Hito
 División: Resumen

Resumen del proyecto
 Tarea externa
 Tarea inactiva

Hito inactivo
 Resumen inactivo

Tarea manual
 Sólo duración

Informe de resumen manual
 Resumen manual

Sólo el comienzo
 Sólo fin

Fecha límite
 Progreso

Página 1

3.11. Análisis de costos

En el presente capítulo, se presentan, la plantilla de metrados y los análisis de costos unitarios para los trabajos de excavación y relleno en la planta concentradora.

3.11.1. Plantilla de metrados

Item	Área	Descripción	Unidad	Formula	Datos				Parcial	Subtotal
					A	B	C	D		
01.01	0240	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	m3	A x B x C	68.20	56.70	2.00		7,734.00	7,734.00
02.01	0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	m3	A x B x C	28.00	20.00	1.90		1,064.00	2,760.00
02.02	0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	m3	A x B x C	40.00	8.00	2.00		640.00	
02.03	0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	m3	A x B x C	88.00	4.00	3.00		1,056.00	
03.01	0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	m3	A x B x C	120.00	62.00	0.70		5,208.00	5,754.00
03.02	0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	m3	A x B x C	25.00	16.80	1.30		546.00	
04.01	0510	Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	m3	$\pi \times D \times D \times C$			1.00	40.00	5,027.00	6,284.00
04.02	0510	Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	m3	$\pi \times D \times D \times C$			0.25	40.00	1,257.00	
05.01	0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	m3	A x B x C	60.00	4.00	3.00		720.00	1,200.00
05.02	0340	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	m3	A x B x C	160.00	2.00	1.50		480.00	
06.01	0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	m3	A x B x C	9.00	9.00	6.00		486.00	918.00
06.02	0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves	m3	A x B x C	120.00	2.00	1.80		432.00	

TOTAL	24,650.00
--------------	------------------

3.11.2. Análisis de costos unitarios

Partida	EXCAVACION PARA LA PLATAFORMA DEL STACKER Y DEL STOCKPILE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 400.0000	EQ: 400.0000	Costo unitario directo por: M3			7.35
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0250	9.42	0.24	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0250	8.56	0.21	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.0500	7.47	0.37	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0250	6.90	0.17	
1.00							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	1.00	0.03	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	4.0000	0.1000	40.23	4.02	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0250	92.11	2.30	
6.36							

Partida	EXCAVACION PARA LAS FUNDACIONES DEL EDIFICIO DE FILTROS						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			23.36
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.1481	6.90	1.02	
3.46							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	3.46	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
19.90							

Partida	EXCAVACION PARA LAS FUNDACIONES DE LA SALA ELECTRICA, SUBESTACION Y BUZONES						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			23.36
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.1481	6.90	1.02	
3.46							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	3.46	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
19.90							

Partida	EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS DE CONCRETO PARA DRENAJE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			30.24
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	2.0000	0.1481	6.90	1.02	
3.46							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	3.46	0.10	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.80	6.87	
26.78							

Partida	RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER DEL ALMACÉN DE CONCENTRADO						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 630.0000	EQ: 630.0000	Costo unitario directo por: M3			8.08
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0159	9.42	0.15	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0159	8.56	0.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.0635	7.47	0.47	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0159	6.90	0.11	
0.87							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	0.87	0.03	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	5.0000	0.0794	40.23	3.19	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0159	60.69	0.96	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0159	65.00	1.03	
0349010009	MINICARGADOR	H-M	2.0000	0.0317	20.21	0.64	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	1.0000	0.0159	66.94	1.06	
0349041209	RODILLO BERMERO	H-M	1.0000	0.0159	18.19	0.29	
7.21							

Partida	RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER EN EL EDIFICIO DE MOLIENDA						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 40.0000	EQ: 40.0000	Costo unitario directo por: M3			54.77
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2500	9.42	2.36	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2500	8.56	2.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	5.0000	1.2500	7.47	9.34	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.2500	6.90	1.73	
15.56							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	15.56	0.47	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.5000	40.23	20.12	
0349080009	RETROEXCAVADORA SOBRE LLANTAS	H-M	1.0000	0.2500	36.11	9.03	
0349010009	MINICARGADOR	H-M	1.0000	0.2500	20.21	5.05	
0349041209	RODILLO BERMERO	H-M	1.0000	0.2500	18.19	4.55	
39.21							

Partida	04.01 RELLENO ESTRUCTURAL PARA LA LOSA RADIER DEL ESPESADOR DE RELAVES TKF 027						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 380.0000	EQ: 380.0000	Costo unitario directo por: M3			13.91
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0263	9.42	0.25	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0263	8.56	0.23	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.1053	7.47	0.79	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.0789	6.90	0.54	
1.80							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	1.80	0.05	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.0526	40.23	2.12	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0263	92.11	2.42	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0263	60.69	1.60	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0263	92.80	2.44	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0263	65.00	1.71	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	1.0000	0.0263	66.94	1.76	
12.11							

Partida	04.02 RELLENO CON ARENA PARA LA LOSA RADIER DEL ESPESADOR DE RELAVES TKF 027						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 380.0000	EQ: 380.0000	Costo unitario directo por: M3			10.41
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0263	9.42	0.25	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0263	8.56	0.23	
0147030003	OFICIAL	H-H	4.0000	0.1053	7.47	0.79	
0147040004	PEÓN	H-H	3.0000	0.0789	6.90	0.54	
1.80							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	1.80	0.05	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	1.0000	0.0263	40.23	1.06	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0263	92.11	2.42	
0349080010	CARGADOR FRONTAL	H-M	1.0000	0.0263	60.69	1.60	
0349090009	MOTONIVELADORA	H-M	1.0000	0.0263	65.00	1.71	
0349041009	RODILLO 20 TN	H-M	1.0000	0.0263	66.94	1.76	
8.61							

Partida	05.01 EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS HDPE PARA DRENAJE						
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			22.84
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0741	6.90	0.51	
2.95							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	2.95	0.09	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
19.89							

Partida 05.02 EXCAVACION PARA EL TENDIDO DE TUBERIAS HDPE DE LA RED CONTRA INCENDIOS							
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 40.0000	EQ: 40.0000	Costo unitario directo por: M3			67.02
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2500	9.42	2.36	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2500	8.56	2.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.5000	7.47	3.74	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.2500	6.90	1.73	
9.96							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	9.96	0.30	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	1.0000	0.2500	40.23	10.06	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	92.11	23.03	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	94.73	23.68	
57.07							

Partida 06.01 EXCAVACION PARA EL CAJON DE DESCARGA FINAL DE LOS RELAVES							
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 135.0000	EQ: 135.0000	Costo unitario directo por: M3			22.84
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.0741	9.42	0.70	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.0741	8.56	0.63	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.1481	7.47	1.11	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.0741	6.90	0.51	
2.95							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	2.95	0.09	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.1481	40.23	5.96	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	92.11	6.82	
0349060010	MARTILLO HIDRAULICO SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.0741	94.73	7.02	
19.89							

Partida 06.02 EXCAVACION PARA EL CANAL DE DESCARGA DE LOS RELAVES							
Rendimiento	M3/DÍA	MO: 40.0000	EQ: 40.0000	Costo unitario directo por: M3			76.60
Codigo	Descripcion Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio US\$	Parcial US\$	
Mano de Obra							
0147010001	CAPATAZ	H-H	1.0000	0.2500	9.42	2.36	
0147020002	OPERARIO	H-H	1.0000	0.2500	8.56	2.14	
0147030003	OFICIAL	H-H	2.0000	0.5000	7.47	3.74	
0147040004	PEÓN	H-H	1.0000	0.2500	6.90	1.73	
9.96							
Equipos							
0348100001	HERRAMIENTA	%MO		3.0000	9.96	0.30	
0349040009	VOLQUETE 15 M3	H-M	2.0000	0.5000	40.23	20.12	
0349060009	EXCAVADORA SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	92.11	23.03	
0349070009	TRACTOR SOBRE ORUGAS	H-M	1.0000	0.2500	92.80	23.20	
66.64							

3.11.3. Presupuesto

Item	Área	Descripción	Unidad	Metrado	Precio (US\$)	Parcial (US\$)
01.01	0240	Excavación para la plataforma del Stacker y del Stockpile	m3	7,734.00	7.35	56,853.52
01.02	0420	Excavación para las fundaciones del edificio de filtros	m3	1,064.00	23.36	24,859.89
01.03	0370	Excavación para fundaciones de la sala eléctrica, subestación y buzones	m3	640.00	23.36	14,953.32
01.04	0330	Excavación para el tendido de la tubería de concreto para el drenaje de remolienda	m3	1,056.00	30.24	31,932.00
01.05	0430	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio del almacén de concentrado	m3	5,208.00	8.08	42,060.20
01.06	0310	Relleno estructural para la losa radier dentro del edificio de molienda	m3	546.00	54.77	29,902.63
01.07	0510	Relleno estructural para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	m3	5,027.00	13.91	69,930.44
01.08	0510	Relleno con arena para la losa radier del espesador de relaves TKF 027	m3	1,257.00	10.41	13,085.59
01.09	0410	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de drenaje	m3	720.00	22.84	16,443.45
01.10	0340	Excavación para el tendido de tuberías HDPE de la red contra incendios	m3	480.00	67.02	32,170.15
01.11	0510	Excavación para el cajón de descarga final de los relaves	m3	486.00	22.84	11,099.33
01.12	0510	Excavación para el canal de descarga de los relaves	m3	432.00	76.60	33,089.54

Costo Directo (US\$)

376,380.07



4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

1. Con el método de Camino Crítico las duraciones son definidas esencialmente de forma determinísticas definiendo la duración total del proyecto con la suma de duraciones de todas las tareas sin considerar factores del comportamiento humano, en la realidad las duraciones obtenidas bajo este método son poco probables de que se cumplan con exactitud.

El método de Cadena Crítica es más realista considerando problemáticas comunes durante la ejecución de proyectos, enfocándose en la solución de cuellos de botella. Cadena Crítica es más exigente al utilizar duraciones menores comparado con Camino Crítico, a cambio incorpora buffers de duraciones siendo su porcentaje de consumo un indicador de productividad.

2. Los resultados muestran que la simulación matemática de Monte Carlo nos permite proyectar duraciones de cumplimiento real considerando la posible ocurrencia de eventos que perjudiquen el normal avance de las tareas, a esas duraciones se le aplicó la metodología de gestión basada en el uso de buffers propuesta por Cadena Crítica dando como resultado un cumplimiento del 83% del plazo de tiempo de las tareas propuestas en el estudio, de este universo el 17 % cumplió exactamente con el tiempo propuesto por Cadena Crítica y el 66% de las tareas se terminaron antes de completar el Buffer del Proyecto.
3. Consideración de problemas de comportamiento humano destacando el síndrome del estudiante (plantea que las personas se empiezan a dedicar seriamente a una tarea que se les fue encomendada solo cuando se acerca la fecha de entrega) y la ley de Parkinson (afirma que el trabajo se expande hasta llenar el tiempo disponible para terminarlo) a diferencia del método de Camino Crítico.

4. La metodología de Cadena Crítica es aplicable con resultados favorables a las tareas semanales de corta duración en la disciplina de Movimiento de Tierras.
5. El porcentaje de reducción de los plazos de entrega entre la duración simulada (Monte Carlo) y la duración real es del 14.49%.
6. Usando la metodología de Cadena Crítica se logra aumentar la productividad limitando la multitarea, ya que se tiene la idea errónea de encargar tareas paralelas con los mismos recursos a fin de evitar que estos reporten tiempo sin productividad.
7. Cadena Crítica considera que las Tareas tienen duraciones variables es decir probabilísticas, esto nos ayuda a considerar y gestionar la incertidumbre propia en este tipo de proyectos.
8. El método de Cadena Crítica se puede complementar con la filosofía del Lean Construction, esto con la finalidad de reducir pérdidas en el proceso.
9. La implementación de los conceptos de la Teoría de las Restricciones y Cadena Crítica nos permiten enfocarnos en las principales restricciones que perjudican al proceso y el buscar soluciones para superarlas, esto es un modelo eficiente de mejora continua.

4.2. Recomendaciones

1. Antes de aplicar la metodología de Cadena Crítica como un sistema de gestión de mejora continua se recomienda, tener conocimiento o información del proceso, el lugar y el entorno donde se desarrollará la actividad, esto con la finalidad de identificar los riesgos que podrían generar eventos no deseados así como los controles que debemos tomar para reducir su impacto.
2. Se debe considerar la posibilidad de que los rendimientos así como los días de trabajo proyectados para una misma actividades puedan variar semana a semana

dependiendo del cambio de las condiciones del terreno, así como por factores ajenos al control de Movimiento de Tierras como por ejemplo el trabajo conjunto con otras disciplina y/o liberación del área de trabajo.

3. Para lograr la aplicación correcta de la metodología de Cadena Crítica es recomendable contar con el apoyo de la Gerencia o Jefatura de los supervisores directos de la obra, debido a la resistencia que se puede producir al tratar de implementar una nueva metodología de mejora continua durante su aplicación.
4. El método de manejo de holguras a través de Buffers permite tener un mejor control del avance de la Tarea considerando los problemas de comportamiento humano y también nos alerta con tiempo los retrasos que se tienen para poder tomar acción sobre estos.
5. Se recomienda la implementación de la metodología de Cadena Crítica para el resto de disciplinas de construcción, ya que cada una tiene particularidades en sus procesos que podrían enriquecer la información para la aplicabilidad de este método.



5.1. ANEXO I – PANORAMA GENERAL DE UN PROYECTO:

Todo proyecto está formado de diversos procesos que dependiendo de su magnitud y complejidad, se entrelazan para generar un gran sistema. Por ello, es necesario analizar a un proyecto desde su perspectiva más amplia, indicando sus características, principales problemas y restricciones, para luego enfocarlo a la gestión de riesgos, que es objeto de este estudio.

En este capítulo se verán los siguientes puntos claves:

- El criterio de valor del cliente y los proyectos
- El ciclo de vida de un proyecto y las partes involucradas
- La etapa de ejecución y la cadena de valor de un proyecto
- La gestión del valor y la gestión de riesgos

El criterio de valor del cliente y los proyectos

Actualmente, las empresas de diferentes rubros llevan a cabo sus proyectos tomando en cuenta sus planes estratégicos, los cuales pueden ser planes corporativos si las empresas tienen varias divisiones de negocio o planes de negocio si son empresas relativamente chicas. En cualquier caso, los proyectos que surgen a nivel corporativo o de división de negocio requieren de ciertos parámetros para la fase de planeamiento estratégico y proceso de desarrollo. Estos parámetros son: tamaño del proyecto, complejidad, importancia estratégica, inversión requerida y procedimientos operativos para manejar esos proyectos. (Steven Male, 2001).

En la industria de la construcción, los clientes o inversionistas cada vez más están en búsqueda de formas innovadoras en la manera de cómo sus proyectos son planificados, diseñados y desarrollados para facilitar sus estrategias de negocio, pero sobre todo para

lograr trabajar cercanamente con la cadena de suministros para maximizar el valor y conseguir mejorar continuamente los procesos en la construcción. Por otro lado, los requerimientos del cliente para sus proyectos, junto con su historia, estrategia, políticas y cultura organizacional, conforman un conglomerado que crea su criterio de valor, el cual va influir directamente en el desarrollo de sus proyectos (Male, 2001).

Para entender el criterio de valor del cliente, es necesario definir qué es valor en el contexto de los proyectos. Con el mundo globalizado y ante el perfil de un usuario cada vez más exigente y diverso, el concepto de valor ha cambiado mucho. Bell (1994) señala que históricamente el concepto de valor ha sido aplicado desde una perspectiva económica en términos del cociente costo-beneficio, donde se establece el impacto de las decisiones en términos monetarios. Sin embargo, el valor también puede ser presentado en términos de calidad, funcionalidad, otros parámetros definidos por el cliente o productor, variables de costo como horas hombre, rendimientos, etc. Entonces, se puede concluir que el valor puede ser medido desde el punto de vista del productor o del consumidor, y que tiene la finalidad intrínseca de satisfacer alguna necesidad.

Desde este punto de vista, Male señala que el criterio de valor del cliente se compone de personas analizando y tomando decisiones sobre cómo obtener el máximo valor con el dinero a invertir y cómo obtener el mejor valor entre los parámetros de valor analizados. El criterio de valor puede ser complejo dependiendo del tamaño de la organización, que a veces por su estructura jerárquica puede crear conflictos cuando se juzga el mejor valor y el valor por el dinero.

El Instituto de la Gestión del Valor, o sus siglas en inglés IVM (The Institute of Value Management), señala que el ‘mejor valor’ constituye una filosofía donde el resultado de todos los esfuerzos sumados para la realización de un proyecto es precisamente darle el

máximo valor. Debe reflejarse en calidad, funcionalidad, durabilidad, economía y estética, y tiene los siguientes requerimientos:

- Entender las necesidades del cliente y del proyecto, así como establecer los criterios de éxito de los clientes, usuarios e inversionistas.
- Definir claramente los objetivos y la manera en que se van a conseguir
- Las habilidades necesarias para el caso particular
- Buena y efectiva comunicación en el equipo de trabajo
- La visión para evitar costos innecesarios y buscar soluciones innovadoras.

El ciclo de vida de un proyecto y las partes involucradas

Con la finalidad de facilitar la gestión, las organizaciones dividen los proyectos en fases o etapas. El conjunto de estas fases conforman el ciclo de vida del proyecto, las cuales se conectan desde su inicio hasta su fin. (PMBOK, 2004).

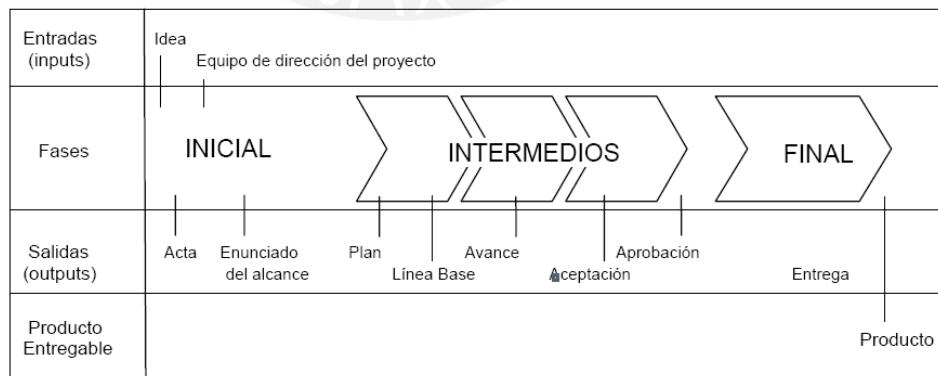
El Project Management Institute, señala que aunque los ciclos de vida de todos los proyectos pueden tener nombres similares y requieren de productos entregables similares, raramente sus ciclos de vida son idénticos. Mucho depende del grado de complejidad y tamaño del proyecto, y la cantidad de participantes involucrados.

En proyectos de construcción, las etapas usualmente son: inicio o definición, diseño, construcción, operación y mantenimiento (Smith, 2002). Esto puede variar según la perspectiva que se le da a un proyecto. Por ejemplo, una firma de arquitectos contratada para diseñar un nuevo edificio de oficinas puede participar primero en la fase de definición o iniciación del proyecto, en tanto desarrolla el diseño, y luego en la fase de implementación o del propietario, mientras da soporte al contratista encargado de ejecutar la obra. A su vez, el proyecto de diseño de la firma de arquitectos tiene sus

propias fases, desde el desarrollo conceptual, pasando por la definición e implementación, hasta llegar a la conclusión.

En términos generales, se puede graficar las etapas básicas de un proyecto de esta manera:

Fases típicas de un ciclo de vida del proyecto (PMBOK, 2004)



Las características de las fases del ciclo de vida del proyecto son:

- Las fases son secuenciales y entre ellas hay transferencias de información técnica o de productos entregables, los cuales son productos de trabajo que se pueden medir y verificar. Por ejemplo, especificaciones, diseños, estudios de viabilidad y prototipos.
- Por lo general, una fase concluye con una revisión del trabajo logrado y si se determina su aceptación, se autoriza la iniciación de la fase siguiente. El nivel de coste de gastos generales y personal es bajo al comienzo, alcanza su nivel máximo en etapas intermedias y vuelve a ser bajo cuando se acerca a su final.
- Al inicio del proyecto, el nivel de incertidumbre es el más alto, y en consecuencia el riesgo de no cumplir con los objetivos es más elevado. Entonces, la certeza de terminar con éxito aumenta gradualmente a medida que avanza el proyecto.

A lo largo del desarrollo de un proyecto los riesgos son distintos según las etapas en que se presentan. Así, Chapman y Ward han elaborado una tabla denominada key success factors, que en español significa ‘factores clave de éxito’. Esta tabla agrupa los problemas típicos más importantes que se presentan en las diversas etapas de un proyecto.

Claramente vemos que las problemáticas mencionadas son generales; de ahí se derivan los riesgos que eventualmente podrían transformarse en amenazas. Diferentes autores advierten que una causa común de riesgo en los proyectos son las fallas u omisiones que pudiera haber en las etapas de planificación y diseño. Por ejemplo, la falta de claridad o la insuficiencia de especificaciones técnicas generan dificultades en la etapa de ejecución, necesitando diseños adicionales, planificación de recursos y producción y trae consecuentemente efectos adversos en términos de costo, tiempo y calidad.

Chapman y Ward indican que cuando el proyecto usa tecnología nueva o tiene componentes de diseño y ejecución nuevos se hace muy difícil especificar por adelantado cómo se debe ejecutar; de hecho, puede resultar costoso y poco práctico hacerlo. En este caso, el gerente de proyecto no sólo debe definir hasta qué nivel de detalle práctico debe planificarse y diseñarse, sino que también debe hacer el análisis de riesgos que brinde soporte en la etapa de ejecución, pues se siempre habrá remanentes de incertidumbre que deberán afrontarse en esta etapa.

En la etapa de asignación de responsabilidades, los riesgos que usualmente derivan en problemas futuros son:

- Los participantes tienen diferentes prioridades y percepciones del riesgo,
- Falta de claridad en la especificación de responsabilidades, incluyendo a aquellos encargados de la gestión de riesgos,

- Comunicación insuficiente o ineficaz entre diferentes departamentos de la organización,
- Coordinación y control de tareas.

Incluso si el cliente y los agentes encargados del diseño, planificación y ejecución trabajan en una misma organización, estas incertidumbres pueden ser cruciales. En el caso en que los agentes y el cliente son de distintas organizaciones, los problemas mencionados pueden ser un verdadero reto.

En una situación cliente-contratista, como es lo usual, se establece un contrato entre las partes donde se definen los alcances, la suma a pagar por el servicio, la forma de cómo se va a controlar el avance, y cómo se va a proceder en caso de diversos escenarios de contingencia. Es decir, en teoría, el contrato debe minimizar la incertidumbre acerca de las responsabilidades de cada parte. Sin embargo, en la práctica existen incertidumbres sustanciales asociadas a lo siguiente:

- Inadecuada o definición ambigua de los términos (especificaciones, responsabilidad de las partes a cooperar, forma de comunicación, coordinación y supervisión),
- Inapropiada definición de términos (especificaciones de desempeño, estándares de calidad, extensiones),
- Variaciones (poderes para ordenar; términos implícitos y expresos; definición de precios y mecanismos de pago),
- Condiciones de pago (forma de pago, cronograma),
- Definición en la extensión de obligaciones.

La gestión del valor y la gestión de riesgos

La Gestión del Valor, o su similar en inglés Value Management, tiene un papel importante en la industria de la construcción por su continua mejora e innovación. Se aplica cada vez con más frecuencia para establecer un planeamiento estratégico de los proyectos con el fin de obtener un mejor resultado en términos de tiempo, dinero y satisfacción al cliente (Male, 2003).

La Gestión del Valor en la Construcción es una forma de gerenciar los proyectos de construcción desde el punto de vista del valor que se genera en ellos. Tiene la característica de ver holísticamente al proyecto desde sus inicios, pasando por el diseño y la construcción, hasta la operación y mantenimiento, teniendo siempre como objetivo buscar el máximo valor funcional, estético y económico del proyecto utilizando los recursos necesarios para llegar a dicha meta.

En esta investigación enfocará a la Gestión de Riesgos como pieza clave para asegurar el valor de los proyectos en la etapa de construcción de los proyectos de construcción, considerando lo siguiente:

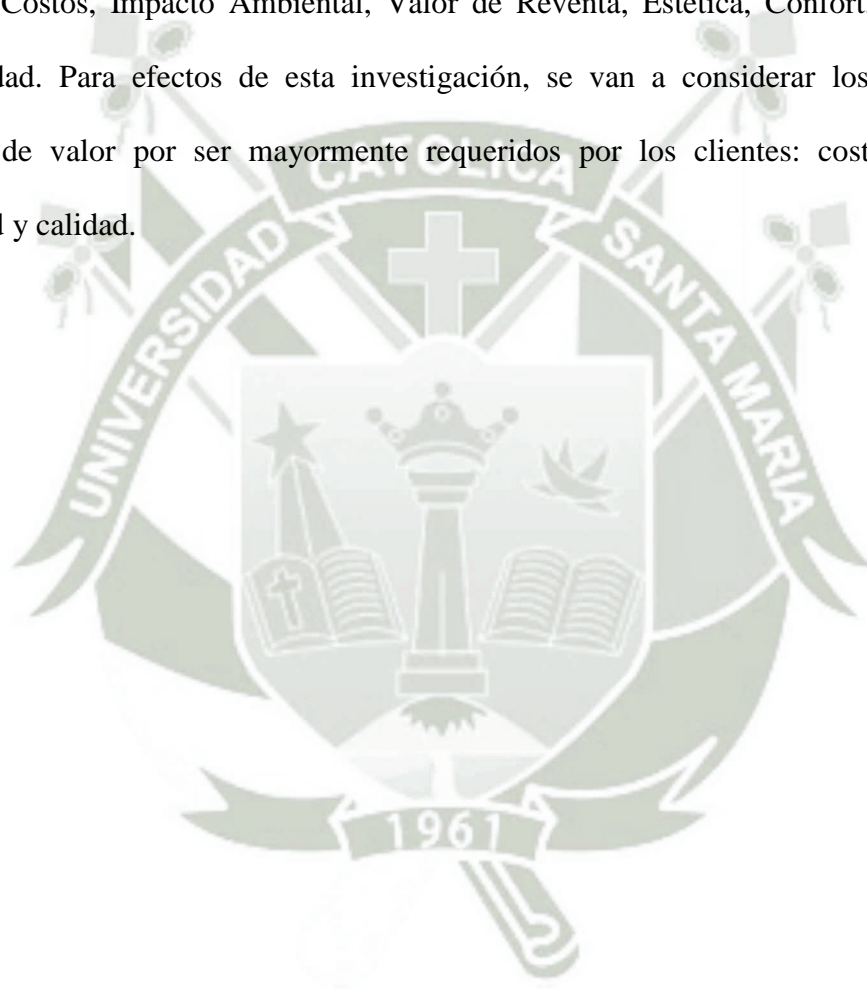
- Herramientas de Gestión de Riesgos, para erradicar, minimizar y controlar los riesgos e incertidumbres del proyecto.
- Sistemas de Retroalimentación de la Construcción, con el fin de minimizar los errores en proyectos futuros.

Metodología

Para establecer cómo debe enfocarse la gestión de riesgos para asegurar el valor, primero debe conocerse cuáles son los criterios de valor del cliente. Se ha mencionado mucho acerca del valor y los criterios de valor. Pero debemos estudiar qué son en realidad y qué representan.

El Institute of Value Management o IVM (Instituto de Gestión del Valor), señala que el valor se basa en la relación entre la satisfacción de las necesidades y los recursos empleados para satisfacerlas. Señala que cuanto menos se empleen recursos o cuanto más sea la satisfacción de las necesidades, mayor será el valor del proyecto.

Por otro lado, Kelly y Male (2004), citados por José Antonio Miranda (PUCP) en su trabajo de tesis sobre la Gestión del Valor, definen los siguientes criterios de valor: Tiempo, Costos, Impacto Ambiental, Valor de Reventa, Estética, Confort, Política y Flexibilidad. Para efectos de esta investigación, se van a considerar los siguientes criterios de valor por ser mayormente requeridos por los clientes: costos, plazos, seguridad y calidad.



5.2. ANEXO II – RIESGO E INCERTIDUMBRE

Definiciones y clasificaciones

El riesgo y la incertidumbre son inherentes en todos los proyectos sin importar de qué tamaño sean (SERC, 1992). El éxito o fracaso de cualquier proyecto depende de cómo se encararan los problemas o cómo se aprovechan las oportunidades. La industria de la construcción ha tenido una baja reputación en cuanto a cómo se enfrentan los riesgos, ya que muchos proyectos fallan principalmente en términos de costos y plazos. Como resultado, los clientes, usuarios y contratistas son los principales afectados.

Es conocido que los riesgos y las incertidumbres son característicos de cualquier proyecto de construcción. Por ejemplo, los cambios en los proyectos que se pueden originar cuando ya se han iniciado las adquisiciones o cuando se ha puesto en marcha la construcción, pueden afectar a la planificación comercial, e incluso a los alcances de un proyecto. Los principales factores de riesgos son: el tamaño de los proyectos, su complejidad, ubicación, velocidad de construcción y la familiaridad con el tipo de trabajo o métodos a aplicar (SERC, 1992).

En este capítulo se va a esclarecer qué son los riesgos y las incertidumbres, para tener un mejor entendimiento en los subsiguientes capítulos cuando se haga referencia a estos términos.

Riesgo: Definición y características

Rowe (1977) define el riesgo como el potencial de un evento o actividad para causar indeseables consecuencias negativas, mientras que Lowrance (1976) define el riesgo como una medición de la probabilidad y severidad de efectos negativos.

Wharton (1992), citado por Merna (2004), señala que el uso de la palabra riesgo ha ido cambiando con el tiempo, desde describir simplemente cualquier resultado inesperado, sea bueno o malo a partir de una decisión o una consecuencia, hasta describir los resultados indeseables y su probabilidad de ocurrencia.

Chapman y Ward (1997) definen así a los riesgos de un proyecto:

Los riesgos son las implicancias generadas por la existencia de incertidumbres significativas sobre el desarrollo adecuado del proyecto.

Asimismo, indican que la fuente de un riesgo es cualquier factor que puede afectar el desarrollo del proyecto, y cuyo impacto y ocurrencia no se sabe con certeza.

Por otro lado, The Association for Project Management (APM), en su capítulo Risk SIG (PRAM, 1997), define al riesgo como:

Un evento incierto o una serie de circunstancias que de ocurrir tiene un efecto en el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Finalmente, el PMBOK (2004), indica que:

En un proyecto, un riesgo es un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo sobre al menos un objetivo del proyecto, como tiempo, coste, alcance o calidad (es decir, cuando el objetivo de tiempo de un proyecto es cumplir con el coste acordado, etc.). Un riesgo puede tener una o más causas, y si se produce, uno o más impactos.

Allen (1995), citado por Merna (2004), presenta un esquema más claro de la definición del riesgo, como se indica en la figura siguiente, señalando que es compuesta por cuatro parámetros básicos: la probabilidad de ocurrencia, la severidad del impacto,

susceptibilidad del cambio y el grado de interdependencia con otros riesgos. Sin la presencia de uno de los parámetros citados, un evento o situación no puede considerarse un riesgo.

Incertidumbre. No se sabe a ciencia cierta si el evento potencial o riesgo va a ocurrir, solo se puede saber la probabilidad de que ocurra.

Pérdidas. Un riesgo siempre tiene el potencial de causar pérdidas, las cuales pueden ser medidas en términos financieros, tiempo, imagen corporativa, etc. Si el evento de riesgo no ocurre, entonces no hay pérdidas. Sobre este punto, el autor de esta investigación afirma que las únicas pérdidas que pueden existir en caso no ocurra el riesgo es el costo asociado a las medidas de contingencia tomadas para evitar el riesgo.

Tiempo. Los riesgos deben ser manejados por un intervalo de tiempo limitado, cuya duración se determina cuando el riesgo deja de existir.

Por otro lado, Kliem & Ludin (1997), indican que el riesgo es simplemente la posibilidad de ocurrencia de un evento que pudiera tener consecuencias o impactos en un proyecto, ya sean éstos positivos o negativos. Señala que los elementos del riesgo que deben ser considerados por los gerentes de proyectos son:

- La probabilidad de ocurrencia del riesgo
- La frecuencia o tiempo de retorno del evento de riesgo.
- El impacto que podría generar en caso de ocurrir.
- La importancia relativa a otros riesgos
- La vulnerabilidad o grado de exposición, que es producto del impacto y la probabilidad.

Como se puede observar, no existe un consenso en la definición exacta del riesgo. En la mayoría de sus definiciones, se pueden identificar que es asociada al menos por una o la combinación de los siguientes componentes:

- Evento deseado o no deseado
- Probabilidad de que ocurra dicho evento, y
- Las consecuencias en caso de ocurrir.

Incertidumbre

La Gestión de Riesgos puede ser muy exitosa cuando se aplican procesos consistentes en toda la organización de un proyecto debido a la cantidad de información desarrollada. El problema resulta cuando está información es desconocida, a la cual se denomina incertidumbre.

Es frecuente escuchar que el riesgo existe como consecuencia de la incertidumbre. Algunas publicaciones mencionan al riesgo y la incertidumbre indistintamente como si fueran lo mismo. Sin embargo, existe una clara diferencia entre ambos. Una decisión es tomada en condiciones de riesgo, cuando basándonos en datos históricos y experiencias anteriores, se puede estimar la probabilidad de varios resultados. Por otro lado, la incertidumbre se presenta en una situación donde no existen datos históricos o experiencias anteriores que puedan ser tomadas como guía para llegar a una decisión (Max T. Rossi, 2006).

Nigel Smith (Best Value in Construction, 2002) deja claro que el término Gestión de Riesgos engloba todos los procesos que se involucran en la gestión de un proyecto de construcción bajo condiciones que son afectadas por riesgos e incertidumbres.

La incertidumbre es usada para reflejar eventos o circunstancias que se desconocen, y que podrían acarrear consecuencias positivas o negativas en el proyecto. Esto se ve contrastado con el riesgo, el cual solo puede acarrear consecuencias negativas. En cambio, el término Oportunidad se usa para reflejar eventos con consecuencias positivas.

Bussey y Merrett and Sykes, citados por Merna (2004), distinguen riesgo e incertidumbre afirmando lo siguiente:

Una decisión es tomada bajo condiciones de riesgo cuando hay un rango de posibles resultados cuyas probabilidades de ocurrir son conocidas. En cambio, la incertidumbre existe cuando hay más de un posible resultado derivado de una acción, pero la probabilidad de cada resultado es desconocido.

Es decir, la incertidumbre existe en situaciones en las que los gerentes de proyecto carecen totalmente de información respecto a las decisiones que deben tomar y sus posibles consecuencias. Según Merna, hay dos tipos de incertidumbre:

- La incertidumbre aleatoria, la cual se presenta inesperadamente;
- Y la incertidumbre cognitiva, que se origina a partir de una situación donde el resultado depende del juicio o la intuición al tomar una decisión.

Gestión de la incertidumbre

Hoy en día la necesidad de manejar las incertidumbres son inherentes en todos los proyectos donde se requiera de una Gestión de Proyectos formal y establecida. Según Tony Merna, esto se da principalmente por la necesidad de organizar una gran variedad de recursos bajo restricciones significativas y la importancia central de los objetivos en la definición de un proyecto.

EL PMIBOK señala que los riesgos de los proyectos tienen su origen en la incertidumbre que hay en ellos. Los riesgos conocidos son aquellos que son identificados y analizados, y es posible manejarlos y controlarlos con antelación.

Por otro lado, los riesgos desconocidos (incertidumbres) no pueden gestionarse de una forma proactiva, y una respuesta prudente del equipo de proyecto puede ser asignar una contingencia general contra dichos riesgos.

Actualmente no hay referencias específicas del papel que cumple el nivel de experiencia y habilidades de los gerentes de proyectos al tomar decisiones para manejar las incertidumbres; sin embargo, es claro que cuanto mayor sea la experiencia de un gerente de proyecto, su influencia será reflejada probablemente en un mejor manejo de la incertidumbre (Merna, 2004).

Asimismo, Merna sostiene que la incertidumbre que pueda estar asociada a un evento de gran impacto representa un desconocimiento e ignorancia mayor que un riesgo cuantificado del mismo evento.

Como conclusión, Rossi señala que una de las motivaciones principales en las organizaciones que usan los principios de la Gestión de Proyectos o Project Management es la reducción de la incertidumbre.

5.3. ANEXO III – ANÁLISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS MEDIANTE LA SIMULACION DE MONTE CARLO

El presente anexo es una guía explicativa de cómo funciona el método de Monte Carlo para el análisis cuantitativo de riesgos en los proyectos de construcción en un software de simulación probabilístico.

Es importante mencionar que la simulación estadística de escenarios mediante el método de Monte Carlo está regida bajo los estándares del American Society for Testing and Materials (ASTM).

Por ello, como preámbulo a la explicación del procedimiento de simulación de Monte Carlo, va a estudiarse los parámetros y consideraciones que la ASTM ha evaluado para su correcta aplicación en la gestión de riesgos de los proyectos de construcción.

Parámetros, procedimientos y consideraciones de la ASTM para la aplicación de la simulación de Monte Carlo

El subcomité E06.81 de Economía en la Construcción de la ASTM, bajo la jurisdicción del comité E06 de Desempeño en la Construcción, es la responsable de evaluar, entre otros temas relacionados, los métodos de estimación de costos y riesgos en proyectos de edificación.

Dentro de los métodos válidos para el análisis cuantitativo de riesgos en la estimación de costos se encuentra la simulación de Monte Carlo, que ha sido evaluada y posteriormente estandarizada. Destacan dos estándares o designaciones publicadas para este fin:

- La designación E1369-02, denominada Standard Guide for Selecting Techniques for Treating Uncertainty and Risk in the Economic Evaluation of Buildings and

Building Systems (Guía estándar para la selección de técnicas para tratar incertidumbres y riesgos en la evaluación económica de edificaciones y sistemas de edificación), y

- La designación E1946-02, denominada Standard Practice for Measuring Cost Risk of Buildings and Building Systems (Práctica estándar para el cálculo de riesgos en el costo de edificaciones y sistemas de edificación).

La primera designación (E1369-02) define la técnica de simulación, y la considera como una buena técnica probabilística para determinar la exposición al riesgo de un proyecto de inversión.

Este estándar indica que para hacer una simulación, las distribuciones de probabilidad de las variables de entrada o inputs deben ser estimadas previamente. Asimismo, resume el proceso de simulación para establecer las funciones de distribución de probabilidad acumulada y la función distribución de densidad probabilística del valor de un proyecto: se dibuja o establecen valores al azar de cada variable de entrada basados en sus distribuciones probabilísticas, luego esos mismos valores se ingresan en el presupuesto para estimar el costo total del proyecto. Este proceso se repite una y otra vez hasta que se pueda obtener una gráfica de las funciones de probabilidad mencionadas. Se estima que entre 500 y 1000 simulaciones son suficientes para tener datos confiables.

5.4. ANEXO IV – ESPECIFICACIONES TECNICAS

Generalidades

Objetivos y Alcance

La presente Especificación Técnica (ET) tiene por objeto definir y establecer las exigencias generales y requisitos mínimos que regirán los trabajos de excavaciones y rellenos estructurales.

Definiciones

Ingeniero Proyectista (IP)

Representante(s) autorizado(s) por la empresa responsable del diseño de las obras.

Gerencia de Construcción (GC)

Representante autorizado, quien fiscalizará en terreno la correcta ejecución de los trabajos señalados en los Planos, ET y otros documentos del Proyecto.

Ingeniero Geotécnico (IG)

Ingeniero Geotécnico autorizado por la GC, asignado a la resolución de los problemas de mecánica de suelos, o a un Ingeniero Geotécnico representante de la empresa que desarrolle el estudio geotécnico del Proyecto, debidamente autorizado también por la GC

Subcontratista (SC)

Empresa seleccionada para realizar los trabajos cubiertos por esta ET y demás documentos del Proyecto.

Planos

Planos de diseño, las listas de materiales y/o planos de proveedores proporcionados por el IP que sean aplicables al Proyecto.

Excavaciones Estructurales

Corresponden a volúmenes reducidos, ejecutadas con equipo mecanizado o manual, según las presentes ET. En general, se presentarán en fundaciones de edificios, estructuras aisladas, obras de arte, tuberías, ductos eléctricos subterráneos, entre otros.

Rellenos Estructurales

Corresponden a rellenos de excavaciones a disponer bajo fundaciones, losas de piso (radiers), sobre ductos enterrados, junto a muros de contención o estructuras, etc., para alcanzar las cotas establecidas en los planos, ejecutados de acuerdo a la presente ET. Se ejecutan con suelo granular seleccionado tal que forme un volumen homogéneo y bien graduado.

Sello de Excavación

Se entenderá como las cotas de término de excavación indicadas en los planos de excavaciones.

Sello de Fundación

Se entenderá como sello de fundación las cotas indicadas en los planos del Proyecto.

Abreviaturas

- ASTM American Society for Testing and Materials
- OSHA Occupation, Safety and Health Administration.
- GC Gerencia de Construcción
- IP Ingeniero Proyectista

- IG Ingeniero Geotécnico
- SC Sub Contratista
- MTM Movimiento de Tierra Masivo
- ET Especificación Técnica
- PM Proctor Modificado
- DR Densidad Relativa
- DMCS Densidad Máxima Compactada Seca
- TM Tamaño Máximo
- PR Punto de Referencia

Códigos, Normas y Referencias

Códigos y Normas

Se consideran incorporadas a la presente ET las siguientes normas, códigos, reglamentos y documentos, las cuales el SC deberá conocer y aplicar en detalle.

En caso de existir algún conflicto entre documentos, prevalecerá lo señalado en la correspondiente norma ASTM.

- Manuales, normas técnicas, decretos, reglamentos, leyes, ordenanzas u otros similares o equivalentes que localmente sean exigibles y que tengan relación con las obras proyectadas. Entiéndase, pero no limitado a, seguridad, excavaciones, rellenos, suelos, empréstitos, concretos, ensayos de materiales y estructuras, asfaltos, botaderos, demoliciones, señalización, transporte, uso de vías, intervención de áreas, manejo de explosivos, manejo sanitario, asuntos ambientales, manejo de químicos, energía eléctrica, combustibles, etc.
- Normas OSHA.

- Leyes, decretos y reglamentos que regulan y protegen las condiciones del medio ambiente.
- DG-2001 Manual de diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Publicado el 12/03/2001 (RD N°143-2001-MTC/15.17). EG-2000 Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Publicado el 27/12/2000 (RD N°1146-2000-MTC/15.17).
- EM-2000 Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú. Publicado en Agosto de 2003 (RD N°028-2001- MTC/15.17).
- ASTM C131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C127 Standard Test Methods for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.
- ASTM D421 Standard Practice for Dry Preparation of Soil samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants.
- ASTM D422 Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils.
- ASTM C494 Standard Specification for Chemical Admixtures for concrete
- ASTM C535 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
- ASTM D854 Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer
- ASTM D1556 Standard Test Method for Density and Unit Weight of Soil in Place by the Sand-Cone Method.

- ASTM D1557 Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ftlb/ ft³ (2,700 kN-m/m³)).
- ASTM D1586 Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils
- ASTM D1883 Standard Test Method for CBR (California Bearing Ratio) of laboratory Compacted Soils.
- ASTM D2216 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass
- ASTM D4318 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ASTM D4253 Standard Test Methods for Maximum Index Density and Unit Weight of Soils Using a Vibratory Table.
- ASTM D4254 Standard Test Methods for Minimum Index Density and Unit Weight of Soils and Calculation of Relative Density.
- ASTM D4542 Standard Test Method for Pore Water Extraction and Determination of the Soluble Salt Content of Soils by Refractometer
- ASTM D6938 Standard Test Method for In-Place Density and Water Content of Soil and Soil-Aggregate by Nuclear Methods (Shallow Depth)

Excavaciones

General

Las excavaciones se ejecutarán de acuerdo a la geometría, los límites, cotas y pendientes indicadas en los planos.

La medición del terreno excavado se hará con perfiles topográficos efectuados una vez finalizadas las faenas de movimientos de tierra. Se adoptará como referencia el perfil

topográfico del terreno previo a las excavaciones, sea este natural o relleno. Los cálculos de volúmenes deberán ser respaldados con un software especializado y aprobado por la GC.

La medición de las sobreexcavaciones se generarán respecto de los perfiles topográficos originales del Proyecto.

Se tomarán todos los resguardos y precauciones para evitar la perturbación del suelo fuera de los límites de la excavación.

En toda actividad de excavación, sin excepción, se tomarán las medidas de seguridad necesarias para evitar daños a personas, equipos e instalaciones temporales o permanentes.

Clasificación de Materiales de Excavación

Las excavaciones se clasificarán según el tipo de terreno en: excavación en roca, excavación en roca escarificable (ripable), excavación en suelo común y excavación de material inadecuado.

En caso de dudas respecto a dicha clasificación, la GC dispondrá en terreno los profesionales capacitados para definir, junto al SC, la clasificación del material. Esto cobra especial importancia en casos intermedios, mixtos o singularidades (rocas blandas, suelos duros, capas delgadas duras, espesores blandos/duros, etc.)

En el caso de desacuerdo respecto a la clasificación del material excavado, decidirá la GC y será inapelable.

Roca

Es aquel material que no puede ser removido con el roter de un bulldozer D-10, o similar, y que, por lo tanto, para ser excavado requiere, en forma imprescindible, sistemática y permanente el uso de explosivos, materiales expansores o golpes de equipos neumáticos o hidráulicos de perforación.

Roca Escarificable (Ripable)

Se considera el material rocoso tipo fracturado, suelos cementados, o similares, y que no es roca, aquel que puede ser disgregado por un bulldozer D- 8 o similar, con un rendimiento mínimo de 80 m³ /hora (considerando trabajo con ripper y con pala)

Suelo Común

Se considera material común todos aquellos materiales que no pueden ser clasificados como roca. Se entiende que las definiciones anteriores son suficientemente claras para clasificar el tipo de excavación. También que los equipos que realizarán las clasificaciones deberán estar en buenas condiciones mecánicas. El contratista realizará las excavaciones de acuerdo a su parque de equipos, a los rendimientos de cada uno de ellos y de acuerdo al programa de trabajo.

En caso de dudas respecto a la clasificación la definición la aplicará en terreno la GC.

Material Inadecuado

Se considerará material inadecuado:

- Aquel que sea orgánico de acuerdo al criterio clasificación SUCS.
- Aquel que no cumpla con la calidad de suelo establecida en los documentos del proyecto.

- Aquel que después de compactado en sitio tenga una capacidad de soporte inferior a 3% CBR.
- Suelos con material deletéreo, basuras, escombros.
- Aquel que a juicio de la GC, de acuerdo a criterios de Ingeniería, al recibir las solicitudes a que será sometido, podría sufrir deformaciones que puedan comprometer estructuras.

Trazado y Topografía

Las mediciones se harán en el sistema métrico decimal y grados centesimales. Antes de iniciar los trabajos de despeje superficial o de excavación, se efectuará el trazado de la obra o del tramo de obra cuya construcción debe iniciarse, trazado que se someterá a aprobación de la GC.

Se marcará en terreno los PR necesarios para poder replantear los ejes del trazado, por intersección de rectas, en cualquier etapa de las obras. Estos puntos deberán quedar fuera del área de excavación y deberán ser mantenidos durante todo el desarrollo de la obra.

Se deberán colocar los PR que sean necesarios para el control de niveles. Estos puntos podrán materializarse en las estructuras vecinas o en monolitos especiales, de forma tal que sean permanentes y no sufran variaciones. Para ello se apoyarán en la red de PR y sistema de referencia del Proyecto, previa aprobación de la GC.

Se deberá velar por la conservación de los PR entregados para la ejecución de los trabajos, debiendo proceder a su reemplazo inmediato cuando éstos resulten dañados o desplazados.

Se deberá materializar en terreno, las trazas de corte, pié de talud y escarpe.

Ejecución de los Trabajos

Las excavaciones deberán llegar hasta los niveles indicados en los planos o hasta encontrar el suelo de fundación de la calidad establecida en el Proyecto.

Los procesos de excavación deberán planificarse de manera que aseguren la estabilidad de los taludes abiertos. Especial consideración tendrán aquellas áreas donde se produzcan interferencias con otros trabajos o instalaciones existentes, en estos casos, deberá estudiarse la alternativa de materializar un sistema de refuerzo tipo entibación/socalzado.

Se deberán mantener los taludes, de todas las excavaciones que permanezcan temporalmente abiertas, en condiciones seguras. Esto se refiere tanto en lo que concierne a estabilidad como a erosión, debiendo despejarse los taludes erosionados y retirar todos los derrames producto de su erosión.

Se deberán ejecutar las entibaciones y/o socalzados que sean necesarios para asegurar la estabilidad de taludes verticales o casi verticales, a medida que las excavaciones avanzan en profundidad o extensión.

Se deberán evitar daños a instalaciones enterradas existentes, debiendo repararse las estructuras o instalaciones que resulten dañadas por la ejecución de los trabajos, si así ocurriera.

En los casos en que sea necesario hacer excavaciones cerca de fundaciones existentes y tanto su profundidad como cercanía lo ameriten, estas deberán socalzarse de acuerdo a las instrucciones de la GC.

La excavación de fundaciones para edificios e instalaciones se hará aplicando la siguiente metodología general:

Se ejecutará la excavación con equipo mecánico hasta 0.20 m sobre la cota de sello de excavación indicada en los planos, con el propósito de efectuar a esa profundidad una excavación controlada más afinada y ajustar la excavación a las dimensiones indicadas en los planos mediante excavación con herramientas manuales y/o con equipo menor. Con este fin se realizará una re-nivelación de la excavación marcándose por medio de estacas la profundidad de corte faltante en cada punto. Se deberán remover todos los materiales no aptos para fundación que se encuentren a nivel de subrasante o sello de fundación, procediéndose a restituir dicho material con relleno estructural de empréstito u de concreto pobre, de acuerdo a las instrucciones del IG o ET indicadas en los planos.

Las excavaciones en zanja destinadas a instalación de cañerías o ductos eléctricos, deberán ejecutarse de acuerdo a las secciones indicadas en los planos y teniendo especial cuidado de proporcionar un apoyo sólido y parejo.

En el caso de excavaciones destinadas a fundaciones de estructuras, el sello de fundación deberá nivelarse en general con tolerancia de ± 2 cm, excepto en el caso de roca donde la tolerancia aumenta a -10 cm y la cota de fundación se alcanzará mediante el uso de concreto del mismo tipo que el de la estructura a soportar.

Sobreexcavaciones

Se tratará por todos los medios de evitar las sobreexcavaciones durante la ejecución de cualquier faena de excavación. En caso que éstas se produzcan, deberán ser rellenadas de acuerdo a lo establecido en los planos del proyecto. En caso de que éstos no lo indiquen, se procederá a rellenarlas de acuerdo a los requerimientos establecidos en Ítem 3.0 ó como lo determine el IG.

Sello de Fundación

Una vez alcanzado el sello de excavación general de fundación, este debe ser tratado de manera tal que la humedad esté cercana a la óptima definida por ensayos Proctor y se deberá compactar al 95% DMCS o al 80% DR, según corresponda. El control de la compactación se hará con el procedimiento estándar de cono de arena o con densímetro nuclear, debidamente certificado por un organismo reconocido y la frecuencia de control será cada 200 m² y como mínimo un ensayo bajo cada fundación.

Previo a la colocación del emplantillado, se deberá solicitar la autorización y recepción del sello por parte del IG o GC.

El sello de fundación deberá quedar preparado para la recepción posterior del concreto, sin necesidad de ninguna limpieza adicional. Se deben procurar medidas de protección del sello hasta la etapa del vaciado así como también para evitar/reducir la absorción de agua desde el concreto.

Taludes

Los taludes que queden expuestos en forma permanente, deberán quedar perfilados de acuerdo a proyecto y limpios de escombros o materiales extraños. El SC será responsable de que se materialicen las geometrías de los taludes indicados en planos para así asegurar la estabilidad de todos los taludes que excave, en cualquier tipo de material, sean estos definitivos o temporales.

En taludes temporales inestables, se deberá tomar las precauciones necesarias para su afianzamiento temporal. Se entenderá como afianzamiento temporal al empleo de estructuras, concreto proyectado, acañamientos de madera u otro diseño, material o procedimiento aceptado por la GC, y en general cualquier tipo de sostenimiento que permita, en el entorno de taludes, un trabajo de estándares normales y seguro. También se podrá lograr la estabilidad del talud reduciendo su pendiente.

En el caso de inestabilidad en taludes definitivos, se deberá reducir la pendiente de los taludes siguiendo las indicaciones del IG y en caso de ser necesario, se colocarán adicionalmente los sostenimientos que apruebe la GC, tales como pernos de anclaje, concreto proyectado o distintas combinaciones de ellos.

Los taludes definitivos en material común deberán ser repasados, eliminando todo material suelto susceptible de desprenderse, dejándolos estables y con las inclinaciones señaladas en los Planos del Proyecto.

Los taludes definitivos en roca, serán suavizados en todos los sectores que presenten contrapendiente, acuñados para eliminar los trozos sueltos que pudieran desprenderse, o reforzados mediante alguno de los sistemas estipulados en los planos del proyecto, previa autorización de la GC, para asegurar su estabilidad, dejándolos con las inclinaciones señaladas en los Planos de Proyecto, o las indicaciones de la GC.

En caso que se originen derrumbes, a pesar de los sostenimientos colocados, el SC deberá retirar todo el material derrumbado y reforzar la entibación, o bien tender los taludes a los valores en que estos sean estables. Todo trabajo deberá contar con la autorización de la GC.

Para excavaciones de altura por sobre 8m, se deberá consultar al IG o la GC respecto a la geometría a seguir y las protecciones a materializar.

Botaderos

Todos los materiales procedentes de las excavaciones que no sean necesarios o aptos para rellenos u otros fines, deberán llevarse a las zonas designadas como botaderos aprobadas por la GC.

No se deberá botar materiales en otras zonas, a menos que sea autorizado por escrito por la GC.

La extensión, altura y taludes de los botaderos será determinada por la GC, de modo que permitan el drenaje del lugar donde se acopien, sean estables y no alteren la estabilidad estructural de taludes y/o estructuras cercanas.

Terrenos no Aptos para Fundar

En la ejecución de las excavaciones, la GC podrá detener su ejecución si se encuentran terrenos no aptos para fundar las estructuras, o que por algún motivo requieran un estudio especializado. La definición de terreno inadecuado para fundar será realizada por el IG y la GC.

Rellenos estructurales

General

Los rellenos estructurales deberán realizarse de acuerdo a las dimensiones y ubicación indicadas en los planos del Proyecto, o en la forma que indique la GC y de acuerdo a las disposiciones de esta especificación.

Si sobre el sello de fundación donde se realizará el relleno estructural se encuentra material orgánico o material deleznable se deberá retirar todo el material inadecuado, procediéndose a restituir dicho material con relleno estructural de empréstito u de concreto pobre, de acuerdo a las instrucciones del IG.

Previo al inicio de cualquier relleno estructural, se deberá solicitar la autorización y recepción del sello de fundación por parte del IG o GC.

Control de Materiales

- Verificar que están exentos de materiales deleznable y orgánicos.
- Verificar que se cumpla la composición de los suelos en cuanto a granulometría, contenido de sales
- Verificar constantemente la homogenización de los materiales.
- Verificar que las excavaciones de empréstito no provoquen inestabilidad de taludes, especialmente en el caso de taludes en corte de caminos, torres de alta tensión, riveras o cauces naturales importantes.
- Los materiales acopiados para ser utilizados en rellenos serán muestreados cada 1 000 m³, cada vez que se cambie de empréstito y cada vez que se detecte un cambio en la composición del material.

Acopio de Material

Los siguientes aspectos deberán ser considerados:

- Verificar que los materiales de rechazo se destinen a acopios pre-establecidos y autorizados, que no interfieran con áreas en explotación o en construcción.
- Verificar que los botaderos de material de rechazo no contaminen áreas potencialmente utilizables.
- Los materiales acopiados no deberán exceder 12 m de altura salvo autorización expresa de la GC quien aprobará la metodología de acopio.
- El acopio de material de relleno tanto como el acopio de material de rechazo deberá tener taludes estables y permitir el drenaje del lugar donde se instalen.

Transporte

El transporte de los materiales desde empréstitos, excavaciones y acopios aprobados por la GC, deberá realizarse mediante sistemas de operación y equipos de transporte

adecuados para no producir efectos perjudiciales en los materiales de relleno. La GC podrá pedir cambiar los sistemas y equipos para corregir las situaciones indeseables.

Restricciones Climáticas

El SC no deberá usar materiales congelados en la ejecución de los rellenos ni deberá colocar nuevos rellenos sobre terrenos de fundación o rellenos antiguos congelados.

El SC no deberá colocar rellenos durante los períodos de lluvias, nieves u otras precipitaciones, salvo autorización de la GC.

Se deberá emparejar la superficie de los rellenos, para facilitar el drenaje, cuando la colocación de éstos deba suspenderse por lluvia o amenaza de lluvia. Antes de reiniciar los trabajos se deberá escarificar y acondicionar si es necesario, la humedad a los límites especificados.

Control de Colocación y Compactación

La colocación y compactación de rellenos estructurales deberá cumplir las siguientes disposiciones:

El sello de fundación deberá estar recibido y aprobado por el IG o quien designe la GC.

Los rellenos sobre ductos eléctricos o cañerías enterradas deberán comenzar una vez que éstos hayan sido recibidos y aprobados. Luego se colocará el relleno en capas horizontales y se compactará hasta alcanzar la densidad especificada, tomando las medidas necesarias para evitar daños en las cañerías o ductos.

Los rellenos que contengan menos de 5% de fracción fina, deberán compactarse hasta alcanzar 80% DR o mayor, según el ensayo ASTM D4253 y D4254.

Los rellenos que poseen entre un 5% y 15% de fracción fina, deberán compactarse hasta alcanzar un grado de compactación mínimo de 80% DR obtenida del ensayo ASTM D4253 y D4254 ó 95% DMCS medida según el ensayo PM ASTM D1557, aquella que sea más restrictiva.

Los rellenos que contengan más de 15% de fracción fina, deberán compactarse hasta alcanzar un grado de compactación mínimo correspondiente a 95% DMCS según el ensayo PM ASTM D1557.

La compactación de cada capa de material de relleno deberá ejecutarse en forma sistemática, ordenada y continua y en general se deberá ejecutar en paralelo a la dirección de colocación del relleno.

Los sectores donde el relleno no cumpla con la obtención de la compacidad exigida, serán recompactados o se procederá a reemplazar el material por otro que cumpla lo especificado.

Para controlar la compacidad especificada, se efectuarán determinaciones de densidad en a los menos un punto por capa por cada 100 m² compactados, con una cantidad mínima de dos controles por capa de relleno. Dicho control se realizará con densímetro nuclear o cono de arena y estará a cargo de un Laboratorio de Suelos competente autorizado por la G.C.

La ubicación de estos puntos quedará claramente identificada con sus coordenadas en planta.

Los rellenos deberán compactarse con un contenido de humedad de $\pm 2\%$ de la humedad óptima determinada por ASTM 1557, utilizando:

- a) Rodillo liso vibratorio de peso estático superior a 10 ton, cuando las estructuras de concreto armado u otro tipo se encuentren a una distancia superior o igual a 3m, en capas de espesor suelto no mayor a 0.35 m.
- b) Rodillo liso vibratorio o placa vibratoria de peso estático no superior a 0.5 ton, cuando las estructura de concreto armado u otro tipo se encuentren a una distancia superior o igual a 0.5 m, en capas de 0.25 m de espesor suelto. El paso del equipo compactador será paralelo al paramento de la estructura.
- c) Placa o pisón, en capas de 0.15 m de espesor suelto, como máximo, cuando las estructuras se encuentren a una distancia menor a 0.5 m.

Rellenos Adyacentes a Estructuras de Concreto

Los rellenos adyacentes a estructuras de concreto deberán cumplir las siguientes disposiciones:

El relleno deberá iniciarse una vez que el concreto haya desarrollado el 75% de su resistencia a los 28 días, o después de 14 días de vaciado (colocado) y una vez retirado el encofrado (moldaje), tapados los recesos dejados para los tensores, colocada la impermeabilización de fundaciones y drenajes y recibida la limpieza de las superficies.

El relleno lateral de muros se deberá realizar con equipos de compactación aprobados por la GC, de modo que no ejerzan sobrecargas excesivas a las estructuras o fundaciones.

En el caso de rellenos sobre túneles de concreto, cuando no exista indicación en los planos, deberá limitarse el nivel de relleno a compactar con equipos de bajo peso estático, no mayor de 500 kg., por lo menos 1 metro sobre la clave, o de acuerdo a lo que determine la G.C.

En todos los sectores vecinos a los muros de sostenimiento u otros cimientos, las capas se reducirán a un máximo de 0.25 m de espesor suelto.

Excavación y relleno estructural en zanja

General

Las excavaciones y rellenos en zanja destinadas a instalación de cañerías subterráneas, alcantarillas, elementos misceláneos de drenaje o ductos eléctricos, deberán ejecutarse de acuerdo a las secciones típicas indicadas en los planos.

Si en el fondo de una excavación se encuentre material blando e inestable, éste deberá ser removido en la profundidad y longitud que sean necesarias con el objeto de contar con una superficie de apoyo firme para posteriormente colocar relleno estructural.

Las superficies rocosas deberán ser excavadas hasta las profundidades mínimas indicadas en los planos y posteriormente cubiertas con relleno estructural o concreto pobre según lo indique la GC.

La tolerancia será, al fondo de la zanja de 0 a -20 mm para terreno común o ripable y de 0 a -150 mm, para excavación en roca.

Los rellenos laterales y sobre alcantarillas, ductos eléctricos, cañerías enterradas u otros deberán comenzar una vez que éstos hayan sido probados. Luego se colocará el relleno en capas horizontales sueltas, uniformes, que no excedan 15 cm de espesor, y se compactará hasta alcanzar el 95% DMCS ó al 80% de la DR, según corresponda, tomando las medidas necesarias para evitar daños en las cañerías o ductos. Pudiendo tener que llegar a colocar el relleno en forma manual o como lo indique el IG o la GC.

El relleno deberá colocarse y compactarse en igual forma a ambos lados de la cañería, alcantarilla, etc., con el fin de prevenir esfuerzos o deformaciones en las estructuras.

Inspección

Generalidades

Todas las obras involucradas en este proyecto, sean parciales o totales, estarán sujetas a inspección, controles de calidad y chequeos, cada vez que la GC lo estime conveniente.

Antes de proceder con las excavaciones, la GC deberá aprobar el replanteo de las obras.

Los sellos de excavación y de fundación expuestos durante la construcción del proyecto, deberán ser recibidos y aprobados por el IG o quien designe la GC.

Aspectos a Inspeccionar

La inspección cubrirá, entre otros, los siguientes aspectos:

- Cumplimiento de las Normas de Seguridad.
- Planificación, autocontrol y metodología de trabajo utilizada.
- Lugares para botaderos de escombros.
- Lugares para extracción de áridos.
- Entregar la información de terreno, topografía, información aclaratoria o adicional relacionada con el proyecto.
- Chequear replanteos topográficos de las instalaciones y verificar su control durante la ejecución de los trabajos.
- Aprobar o rechazar los equipos de compactación.
- Aprobar o rechazar sellos de fundación.
- Autorizar o rechazar el uso de materiales expansivos para disgregar rocas.
- Aprobar el uso, transporte, metodología de aplicación y todo lo relacionado con las operaciones de excavación con explosivos.

- Cumplimiento de tolerancias, dimensiones y geometría de las instalaciones, indicadas en las ET y planos.
- Control de calidad de los rellenos, materiales de relleno, colocación y compactación.
- Comunicar las eventuales modificaciones o adaptaciones del proyecto a las condiciones del terreno.
- Rechazar personal no idóneo para la ejecución de los trabajos.



6. CAPITULO VI BIBLIOGRAFIA

- Universidad ESAN – Diplomado gestión de calidad y procesos – 2014
- The Goal – Eliyahu M. Goldratt – 1984.
- Critical Chain – Eliyahu M. Goldratt – 1997.
- Academia GyM – Taller de gestión y control de proyectos – 2015.
- Project Management Institute (PMI) – Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®) — Quinta edición – 2013.
- Virgilio Ghio – Productividad en obras de construcción
- Impacto de la gestión en obra utilizando la programación de la cadena critica en la construcción civil – Brenda García Coronado, Erickson Ruiz Fernández
- Análisis de aplicabilidad y beneficios del método de cadena crítica (CCPM) en proyectos de ingeniería y construcción - Manuel Felipe García Gutiérrez – 2014.
- Asegurando el valor en proyectos de construcción: Un estudio de técnicas herramientas de gestión de riesgos en la etapa de construcción - Luis Fernando Altez Villanueva – 2009.
- Critical Chain Project Management – Lawrence P. Leach – 2000.
- Critical Chain Project Management – Marco Verhoef – 2013.
- Teaching Critical Chain Project Management – Millhiser, W. P., & Szmerekovsky, J. G. – 2012.
- Comparison between critical chain and critical path method in telecommunication tower construction project management. proceeding of the 11th international conference on qir (quality in research) – M. Dachyar, Utomo Dhany Saputra – 2009.

- Analysis of Resource Buffer Management in Critical Chain Scheduling – Oya Tukul and Walter Rom – 2006.
- La Ley de Parkinson – C. Northcote Parkinson – 1957.
- Critical Chain Buffer Sizing – Alexandra B. Tenera – 2008
- Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. Risk Management – Kwat. Y. H. & Ingall. L. – 2007.
- El control de proyectos en un contexto aleatorio: Aplicación del método de Monte Carlo – Juan Antonio Cañas Madueño – 1984.
- Motivación y satisfacción laboral de los obreros de construcción civil – Walter Alonso Gutierrez León – 2013.
- <http://www.ciras.iastate.edu/library/toc/toclean.asp>
- Plano de distribución de la Planta Concentradora – Cía. Bechtel.

