

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica




TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Análisis de atrasos en proyectos de construcción de túneles para
reducir los sobrecostos operacionales**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.


Elaborado por

Jaime Wilfredo Santaria Arruela

 0009-0007-5730-2260

Asesor

MG. Elvis William Valencia Chavez

 0000-0003-4981-995X

LIMA – PERÚ

2024

Citar/How to cite	Santaria Arruela [1]
Referencia/Reference	[1] J. Santaria Arruela, “ <i>Análisis de atrasos en proyectos de construcción de túneles para reducir los sobrecostos operacionales</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Santaria, 2024)
Referencia/Reference	Santaria, J. (2024). <i>Análisis de atrasos en proyectos de construcción de túneles para reducir los sobrecostos operacionales</i> . [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A la mujer que, con su impulso me motivo a culminar
este trabajo, a ti mi querida esposa.*

*A mis hijos, para decirles que todo lo que se inicia se
culmina.*

*Y por último y el más importante a nuestro Creador
Dios, por enseñarme que en cada cálculo matemático
siempre hay algo de sabiduría divina.*

Resumen

En la actualidad una de las situaciones más recurrentes que se presentan en los proyectos de construcción es el incumplimiento del cronograma propuesto y/o contractual, por consiguiente, esto implica un aumento en los costos. Esta situación evidencia una planificación deficiente al inicio del proyecto, pero no lo es todo, en la etapa de seguimiento y control también ocurre una inadecuada gestión del cronograma.

La presente investigación, se desarrolla en el Proyecto “Construcción de galería de drenaje”, ejecutada por la Cía. Subterránea Drilling S.A.C., situado en el departamento de Huánuco a una altitud de 2,370 msnm.

Este proyecto de construcción de túnel se realiza en condiciones geológicas de alta incertidumbre, debido que solo cuenta con estudios preliminares y sumado a la urgencia de su ejecución por parte del cliente crean un escenario en donde, si no se tiene definido adecuadamente el alcance, acompañado de un cronograma correctamente estructurado, se podría llegar a incumplimientos de los entregables y sobrecostos asumidos por el constructor.

Por lo tanto, en la presente investigación se pone a prueba las técnicas de análisis forense de cronogramas y su aplicabilidad en el control y seguimiento del presente proyecto y a su vez se correlaciona con los indicadores de valor ganado y cronograma ganado. Estas técnicas de análisis y métricas permitirán al constructor tener una idea clara de cómo se está ejecutando el proyecto y permitirán un análisis objetivo en la toma de decisiones, cuando se presenten situaciones de retrasos y/o sobrecostos.

La técnica de análisis forense de cronogramas y demás técnicas aplicadas en el presente estudio de investigación no alcanzan a cubrir todos los factores que afectan de manera negativa a la ejecución del proyecto en cuanto a tiempo y costo, pero si nos permiten con cierta confiabilidad reducir los riesgos e impactos desfavorables.

Palabras claves — Cronograma, análisis forense, sobrecostos, valor ganado

Abstract

Currently, one of the most recurrent situations that occur in construction projects is non-compliance with the proposed and/or contractual schedule, therefore, this implies an increase in costs. This situation shows poor planning at the beginning of the project, but it is not everything, in the monitoring and control stage there is also inadequate management of the schedule.

The present investigation is developed in the Project "Construction of drainage tunnel", executed by the Cía. Subterránea Drilling S.A.C., located in the department of Huánuco at an altitude of 2,370 meters above sea level.

This tunnel construction project is carried out under geological conditions of high uncertainty, since it only has preliminary studies and added to the urgency of its execution by the owner, they create a scenario where, if the scope is not adequately defined, accompanied of a correctly structured schedule, it could lead to non-compliance with the deliverables and cost overruns assumed by the constructor.

Therefore, in the present investigation, the techniques of forensic analysis of schedules and their applicability in the control and monitoring of this project are approved and, in turn, it is correlated with the indicators of earned value and earned schedule. These analysis techniques and metrics will allow the builder to have a clear idea of how the project is being executed and will allow an objective analysis in decision making, when situations of delays and/or cost overruns arise.

The technique of forensic analysis of schedules and other techniques applied in the present research study do not cover all the factors that negatively affect the execution of the project in terms of time and cost, but they do allow us with certain reliability to reduce the risks and adverse impacts.

Keywords — Schedule, forensic analysis, cost overruns, earned value

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	iv
Abstract	v
Introducción	xi
Capitulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema	2
1.3 Objetivo.....	6
1.4 Antecedentes Investigativos.....	6
1.4.1 Internacionales	6
1.4.2 Nacionales.....	11
Capitulo II. Marcos teórico y conceptual.....	13
2.1 Marco teórico	13
2.1.1 Técnicas forenses en análisis de cronogramas	13
2.1.2 Planificación	18
2.1.3 Gestión del valor ganado.....	18
2.1.4 Clasificación de los impactos al cronograma	20
2.2 Marco conceptual.....	24
Capitulo III. Desarrollo del trabajo de investigación.....	26
3.1 Tipo y diseño de la investigación.....	26
3.2 Unidad de análisis.....	27
3.3 Matriz de consistencia.....	28
3.4 Recolección de datos.....	29
3.4.1 Descripción del proyecto.....	29
3.4.2 Objetivos del proyecto	33
3.4.3 Condiciones contractuales.....	33
3.5 Procesamiento de la información	41

3.5.1	Evento de atraso 01.....	41
3.5.2	Evento de atraso 02.....	46
3.5.3	Evento de atraso 03.....	53
3.6	Análisis de la información.....	59
3.6.1	Análisis de evento de atraso 01	59
3.6.2	Análisis del evento 02.....	65
3.6.3	Análisis de evento de atraso 03.....	73
3.6.4	Acuerdo de partes cliente - contratista.....	82
	Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	89
	Conclusiones	94
	Recomendaciones	99
	Referencias bibliográficas.....	101
	Anexos	1

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Lista de causa de retrasos y clasificación relacionada	7
Tabla 2: Ranking de retrasos desde el punto de vista de encuestados	8
Tabla 3: Clasificación de Impactos.....	21
Tabla 4: Características epistemológicas de la investigación cualitativa y cuantitativa....	26
Tabla 5: Matriz de consistencia.....	28
Tabla 6: Actividades impactadas por retrasos del evento 01.....	40
Tabla 7: Hitos contractuales e inicio del evento 02	40
Tabla 8: Hitos contractuales e inicio de evento 03	41
Tabla 9: Análisis de retraso (Time Impact Analysis) del evento 01.....	42
Tabla 10: Cuadro de análisis de atrasos.....	59
Tabla 11: Métricas de desempeño del proyecto al 02/08/2022	70
Tabla 12: Métricas de desempeño del proyecto al 31/09/2022	73
Tabla 13: Métricas del desempeño del proyecto al 19/09/2022.....	77
Tabla 14: Cuadro actualizado de actividades – Nueva Ingeniería.....	78
Tabla 15: Cuadro nuevo presupuesto según CLIENTE.....	79
Tabla 16: Costos extras (Evento 02 – Cambio de Ingeniería)	79
Tabla 17: Propuesta económica - Contratista	80
Tabla 18: Determinación cuantitativa de costo por riesgo	86
Tabla 19: Costos extras por evento 02 e intensificación de cronograma.....	86
Tabla 20: Propuesta económica final conciliado	87
Tabla 21: Cuadro resumen de eventos negativos al proyecto.....	93
Tabla 22: Resumen económico de proyecto	96

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Ciclo de vida del proyecto	2
Figura 2: Porcentaje de proyectos que cumplen objetivos de Tiempo, Costo y Calidad a nivel mundial.....	4
Figura 3: Técnica Impacted As-Planned (IAP)	14
Figura 4: Técnica Collapsed As-Build (CAB).....	15
Figura 5: Técnica Windows Analysis.....	16
Figura 6: Time Impact Analysis (TIA)	17
Figura 7: Diagrama de clasificación de impactos	24
Figura 8: Vista en planta del proyecto.....	31
Figura 9: Vista isométrica del proyecto	31
Figura 10: Isométrico del sostenimiento usado en túnel (Zona Suelo)	32
Figura 11: Elementos de sostenimiento en Modulo Tipo I (Zona Suelo)	32
Figura 12: Estructura de desglose de costos	34
Figura 13: Cronograma Contractual.....	35
Figura 14: Reporte diario de producción	37
Figura 15: Clasificación de demoras en reporte de producción.....	38
Figura 16: Análisis de retraso evento 01	43
Figura 17: Cronograma incluido retraso por evento 01	45
Figura 18: Análisis de retraso evento 02.....	47
Figura 19: Cronograma incluido retraso atribuible al contratista.....	49
Figura 20: Zona de contacto Roca-Suelo.....	50
Figura 21: Cronograma de seguimiento incluido retraso por evento 02	52
Figura 22: Cronograma de seguimiento antes del cambio de ingeniería (evento 03)	54
Figura 23: Geología proyectado al iniciar el proyecto.....	55
Figura 24: Geología real después de iniciado el proyecto.....	55
Figura 25: Diseño de nueva ingeniería	56

Figura 26: Cronograma propuesto actualizado para nueva ingeniería	58
Figura 27: Portal de inicio del túnel, entrega del frente	60
Figura 28: Incompatibilidad de planos en inicio de excavación	61
Figura 29: Comparación cronograma Línea Base y Propuesta	62
Figura 30: Optimización de cronograma propuesto para nueva Línea Base	64
Figura 31: Cronograma de Hitos – Línea Base	66
Figura 32: Cronograma de seguimiento y control al 02/08/2022	68
Figura 33: Gestión del valor ganado al 02/08/2022	69
Figura 34: Cronograma de seguimiento y control al 31/08/2022	72
Figura 35: Gestión del valor ganado al 31/08/2022	73
Figura 36: Cronograma de seguimiento y control al 19/09/2022	75
Figura 37: Gestión del valor ganado al 19/09/2022	76
Figura 38: Cronograma actualizado de acuerdo con nueva ingeniería.....	81
Figura 39: Análisis cuantitativo de riesgo del cronograma con PRA.....	83
Figura 40: Resultado simulación con PRA	85
Figura 41: Cronograma conciliado por partes	88
Figura 42: Cronograma final de seguimiento de obra.....	98

Introducción

El siguiente trabajo de investigación, tiene como finalidad analizar todos los impactos negativos que generan atrasos en el proyecto y la implementación de técnicas que permitan mitigar los sobrecostos, para lo cual se ha estructurado el contenido del presente trabajo en seis partes; que a continuación se detallan:

Capítulo I, se titula Parte introductoria del trabajo y contiene; Generalidades, donde se precisa el alcance de la investigación, de igual manera se incluye la Descripción del Problema, donde se detalla la problemática actual de los proyectos de construcción de túneles con referencia al no cumplimiento de sus cronogramas y los impactos que estos generan en el presupuesto del proyecto. Asimismo, dentro del capítulo se establece el objetivo, la finalidad y la hipótesis a contrastar con la presente investigación. Se incluye también los antecedentes investigativos, donde se resume trabajos anteriores en base a artículos técnicos, tesis, los cuales guardan relación con la presente investigación.

Capítulo II, se titula Marcos Teórico y Conceptual, en el subcapítulo Marco Teórico se describe de manera detallada los criterios teóricos que fundamentan la investigación y se exponen tres subtítulos que son: Técnicas Forenses en Análisis de Cronogramas, Planificación y Gestión del Valor Ganado, en el Marco Conceptual se precisa de manera clara y específica los términos recurrentes usados en la presente investigación.

Capítulo III, se titula Desarrollo del trabajo de Investigación, contiene tres subtítulos donde el primer título: Tipo y Diseño de Investigación se define las características epistemológicas del presente trabajo el cual está enmarcado dentro de una investigación descriptiva no experimental. El segundo subtítulo: Unidad de Análisis se identifica las características del proyecto a investigar, su ubicación, el alcance y los entregables. El tercer subtítulo: Matriz de Consistencia donde se evalúa el grado de coherencia y conexión lógica entre el título, planteamiento del problema, objetivos, hipótesis, variables, método y diseño de investigación.

Luego se procede a desarrollar la metodología de cada uno de los procesos que se

utilizaron para la evaluación de los atrasos del proyecto que luego se usó para contrastar el impacto en los costos del proyecto y la línea base del cronograma.

Para desarrollar este punto se utilizaron los siguientes tres subcapítulos:

Recolección de Datos

Se consigna la documentación inicial del proyecto, tales como: cronograma contractual, curva S de costos, acta de constitución del proyecto.

Procesamiento de la información

Con la documentación proporcionada, se procede a procesar la información en tablas, gráficos, diagramas utilizando software apropiados para dichos trabajos como: Microsoft Excel, Primavera P6, Microsoft Project.

Análisis de la información

Donde se realiza la interpretación y validación de la data de tal manera que permita cuantificar los resultados de la investigación.

Capítulo IV, se titula Análisis y discusión de resultados, el Trabajo de Investigación, comprende: el análisis detallado de los tres eventos negativos que impactaron al proyecto tanto en tiempo como en costo y detallamos el uso de las técnicas de control y seguimiento del cronograma junto con el valor ganado para determinar las métricas de rendimiento del proyecto.

El título conclusiones es en donde se sustenta la validez de la hipótesis propuesta para la presente investigación y se muestran las propuestas para cambiar la situación de la problemática actual del proyecto.

El título recomendaciones es en donde se propone planteamientos para su aplicación futura y mejorar los resultados en tiempo y costo del proyecto.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

Los proyectos de construcción de túneles, debido a su complejidad constructiva y condiciones geológicas adversas al cual se enfrentan los constructores, requieren en su etapa de planificación el expertiz del personal involucrado, por lo que una pequeña desviación en los criterios técnicos provocaría un efecto negativo en el cumplimiento del alcance del proyecto, el cual se vería reflejado en el resultado final, afectando directamente al cronograma del proyecto y por consiguiente a los costos.

La problemática actual en el análisis de retrasos de los proyectos conlleva a tener un entendimiento correcto de las técnicas metodológicas de análisis forense de cronogramas que se utilizan a nivel mundial y una de ellas es la que presenta The Association for the Advancement of Cost Engineering (AACEi), de tal manera que al elegir cualquiera de estas técnicas de análisis, esta sea congruente con los lineamientos propuestos para la ejecución de los proyectos de excavación de túneles.

El presente trabajo investigativo toma en cuenta las mejores prácticas recomendadas de la industria de la construcción tales como:

- Project Managment Institute (PMI), a través del PMBOK
- AACE, a través de la RPs (practiclas recomendadas)
- Society of Construction Law (SCL), a través de sus protocolos.

El objetivo que plantea el presente trabajo de investigación es analizar los atrasos, para lo cual hace uso de las técnicas más usadas a nivel internacional, como sustento para cuantificar los impactos y su relación directa de estos con el presupuesto establecido, el cual permitirá cuantificar el sobre costo. A partir de estos resultados se identificará cuáles son los causales que determinaron los atrasos y quienes los generaron: el cliente, el constructor o algún evento de fuerza mayor.

Este análisis de atrasos permitirá determinar si los atrasos son: No excusables, Excusables o Concurrentes. Y, por lo tanto, reducir en la medida que sea posible el impacto

negativo en los costos del proyecto.

La metodología de investigación del presente trabajo está basada de acuerdo con las características epistemológicas, y por lo tanto se define como una investigación cuantitativa.

1.2 Descripción del problema

El siguiente proyecto de investigación explica la problemática actual en el cual se encuentran los proyectos de construcción con referencia al cumplimiento contractual del plazo pactado por las partes (cliente – contratista).

¿Por qué, estas situaciones de atrasos? Uno de los factores es comprender que los proyectos de construcción por su propia naturaleza se gestionan en diferentes etapas (inicio, planificación, ejecución, monitoreo y control y cierre), de acuerdo como se observa en la figura 1, donde en cada una de estas etapas, si no se realiza una correcta planificación se incurrirá en escenarios desfavorables que hasta podrían llegar a la cancelación temprana del proyecto.

Figura 1

Ciclo de vida del proyecto



Fuente: Elaboración Propia (2022), adaptación de la guía del PMBOK®

Además, se determina que existe una relación directa entre tiempo-costos (entiéndase por tiempo, al cronograma planificado), por lo tanto, el equipo del proyecto tendrá que estar avocado en mantener esta relación dentro de los parámetros establecidos en el inicio del proyecto (el inicio del proyecto se documenta en el project charter).

En el 2018, Rudeli, Viles, González y Santilli, señalaron:

En general la industria de la construcción suele ser inestable y las demoras son consideradas como uno de los mayores problemas que atañan a los proyectos de construcción. Los retrasos en la construcción casi siempre originan sobrecostos, disputas entre partes, abandono del proyecto e incluso, litigios legales” (p. 01).

Y a nivel internacional también se observa situaciones de atrasos en los proyectos tal como lo explica Lozano, Patiño, Gomes-Cabrera, Torres (2017):

La literatura reporta que las desviaciones en tiempos y costos son un factor común tanto en países desarrollados como en vía de desarrollo. Por ejemplo, En India, Egipto, Turquía y Arabia Saudita se reportan excesivas desviaciones en tiempo, mientras que en Malasia se reportan sobrecostos en más del 50% de los proyectos y múltiples desviaciones en tiempo. En Indonesia se condujo una investigación sobre los factores que representaban retrasos en grandes proyectos de construcción y dentro de los resultados encontrados se obtuvo que los incrementos en tiempo son causados principalmente por cambios en los diseños, baja productividad laboral, planeación inadecuada y escases de recursos. Por su parte, países desarrollados como el Reino Unido, que cuentan con la disponibilidad de múltiples técnicas para el control de proyectos y software avanzado, reportan que muchos proyectos aún no cumplen con las expectativas respecto a tiempo y costo. Se reporta una mayor frecuencia de desviaciones en costos y tiempos en países en vía de desarrollo (p. 3).

Esta problemática que presentan los proyectos con respecto al tiempo y costos se observa en el reporte “2022 – Project Control Survey Report”, realizado por la Empresa Logikal Project Intelligence, en donde se indican porcentajes de cumplimiento en proyectos a nivel mundial teniendo como marco de referencia al tiempo, costo y calidad y se puede observar en la siguiente figura 2.

Figura 2

Porcentaje de proyectos que cumplen objetivos de Tiempo, Costo y Calidad a nivel mundial.



Fuente: Logikal Project Intelligence, (2022), 2022 Project Control Survey Report

Estos datos nos muestran que en América Latina se tiene una brecha de 45% para llegar a la excelencia en gestión de proyectos tomando como objetivos el tiempo, costo y calidad.

Nuestro país no es la excepción, a la fecha se ejecuta un proyecto emblemático: la construcción de la Línea 2 del Metro de Lima (excavación de 34.52 km de túnel) el cual aún está en ejecución, tenía un avance total del 32% al año 2021 (inicio de trabajos año 2013) y su plazo de entrega ha sido postergado un año más de acuerdo con lo establecido contractualmente, por lo tanto, se estará culminando el año 2024.

¿Porque ocurren estas actualizaciones en el plazo contractual?, ¿Cuál es el impacto que ocasiona en el costo presupuestado?

Por ello, es importante identificar la complejidad del proyecto y más aún cuando se realizan excavaciones subterráneas, donde las condiciones de trabajo están supeditadas en mayor grado a las condiciones geológicas del terreno el cual en muchos casos está marcado por la incertidumbre.

Controlar estos parámetros que generan impactos negativos en los proyectos, nos da una idea del entorno en cual nos estamos desarrollando, que vamos a definirlo como

entorno VUCA (acrónimo de Volatility (V), Uncertainty (U), Complexity (C) y Ambiguity (A)), esto significa que tendremos cambios continuos y constantes, los cuales se vinculan a situaciones imprevistas y que debido a su dificultad para manejar estos problemas no nos permiten muchas veces dar con las soluciones concretas.

Por lo tanto, la adaptación es un componente importante para incorporar a los proyectos y así cumplir con sus objetivos y lograr el éxito de este, reduciendo al mínimo las pérdidas.

Se debe entender la importancia de llevar un correcto seguimiento a la programación del proyecto tal como lo sostienen: Solís, Martínez, Gonzales (2008):

Las demoras en la ejecución de los proyectos de construcción provocan pérdidas tanto a los inversionistas como a los constructores y, además, suelen provocar disputas legales entre ellos. En muchas ocasiones las demoras son motivadas porque los administradores no invierten los recursos y el tiempo necesarios para realizar una programación que realmente represente la lógica de ejecución de los trabajos y que, posteriormente, sirva de base para efectuar un control eficaz (p. 1).

Además, las obras de construcción de túneles por su alta complejidad enfrentan diferentes retos como las condiciones geológicas desfavorables, las cuales determinaran el diseño adecuado en la conceptualización del sostenimiento para estas estructuras, este es solo una de las causas típicas que ocasionan retrasos en los proyectos, tal como sucedió durante la excavación del emblemático túnel “La Línea” en Colombia, y que en su investigación científica, Peña Hernandez, Laura (2021) lo describe de la siguiente manera: Esta obra presento un atraso elevado para su inauguración y genero grandes sobrecostos para el proyecto respecto a lo inicialmente establecido, se había proyectado una entrega total del proyecto para el 2018 según documentos presentados por invias en el cronograma de actividades del COMPES 3846 y solo hasta el 4 de septiembre de 2020, se entregó el túnel de La Línea.

De lo descrito, se llega a colegir que la problemática de los atrasos en proyectos de construcción conlleva a la siguiente pregunta:

¿Como los atrasos, durante la ejecución de un proyecto impactan de manera negativa en los costos?

1.3 Objetivo

Analizar los atrasos en proyectos de construcción de túneles para reducir los sobrecostos operacionales.

1.4 Antecedentes Investigativos

1.4.1 Internacionales

Dingbang Zhang et al. (2020), en su artículo de investigación “Causas de los retrasos en los proyectos de construcción de túneles para metros subterráneos”, realizó un estudio para identificar:

- Causas de los retrasos en proyectos de túneles para metros en China.
- Clasificar las causas graves de retraso según el punto de vista del contratista y consultor.
- Validar los acuerdos entre contratista y consultores con respecto al punto de vista de los causantes de los retrasos.

Su método de investigación consistió en realizar encuestas a los principales contratistas y consultores en excavaciones subterráneas de la región, la base de datos de los participantes, fueron obtenidas de la Chinese Contractors society.

El resumen de la presente investigación determino una lista de causas de retrasos y su relación con las áreas que lo generan.

En la tabla 1, se observa la clasificación realizada por el investigador con las causas principales de atrasos considerados por los encuestados.

Tabla 1

Lista de causa de retrasos y clasificación relacionada

CLASIFICACION PRINCIPAL	CAUSAS
Propietario	Emisión tardía de los documentos de aprobación por parte del propietario
	Órdenes de cambio por parte del propietario durante el período de construcción
	Mala comunicación entre el propietario y otras partes de la construcción
	Aplazamiento del proyecto por parte del propietario.
	Retraso en los pagos progresivos por parte del propietario
	Retrasos en la toma de decisiones por parte del propietario
	Retraso en el suministro de materiales de construcción
	Mal estado financiero del propietario.
Diseñador	Entrega tardía de la tierra al contratista por parte del propietario
	Ámbito de trabajo indefinido
	Diseño inapropiado
Contratista	Entrega tardía de diseños
	error en el diseño
	Método de construcción inadecuado
	Mala supervisión del sitio por parte del contratista.
	Retrabajos debido a errores durante la construcción
	Programación ineficaz del proyecto por parte del contratista.
Consultor	Conflicto entre el contratista y las partes
	Dificultades en la financiación del proyecto por parte del contratista
	Mala gestión de recursos
	Mala comunicación por parte del contratista con otras partes de la construcción.
	Inspectores sin experiencia e Insuficientes
Mano de obra	Mala comunicación entre el consultor y otras partes de la construcción.
	Rigidez del consultor
	Retraso en la inspección por parte del consultor
	Trabajadores insuficientes
Entorno	Conflictos personales entre trabajadores
	Bajo nivel de habilidad de los operadores de equipo
	Baja productividad de los trabajadores.
	Conflicto entre los trabajadores y el equipo directivo
	Mal estado del terreno y calidad de la roca
Equipos	Desastre natural
	Condición climática
	Pobre efecto en el sistema de drenaje.
Materiales	Condiciones geológicas complicadas
	Disponibilidad mecánica deficiente
	Escasez de maquinaria especializada
	Daños graves en el equipo.
Factores externos	Cambios en los tipos de materiales y especificaciones durante la construcción
	Escasez de material de construcción
	Pérdida material en el proceso de transporte.
	El aumento de los precios de las materias primas
	Adjudicar el proyecto al precio de oferta más bajo
	Cambio de política en los bancos para préstamos
	Área de construcción limitada
	Acceso inconveniente al sitio
Política nacional para la construcción de túneles subterráneos	
Retraso en la tecnología	
Perturbación de las actividades públicas.	

Fuente: Dingbang Zhang et al. (2020), "Causes of Delay in the Construction Projects of Subway Tunnel"

Las respuestas de consultores y contratistas sobre la tasa de retraso en los proyectos de construcción de túneles durante los últimos 5 años muestran que el 68,8% de los consultores que respondieron señalaron que la duración media de los proyectos de

túneles en los que han participado es entre un 20 % y un 30 % más largos que las duraciones planificadas del proyecto.

Mientras que el 15,6% de ellos opina que las duraciones medias son entre un 30 % y un 40 % más, mientras que el 9,4 % de ellos pensaba que el promedio de las duraciones es entre un 40 % y un 50 % más largas, y solo el 6,3 % de ellas pensó que las duraciones promedio son entre un 50 % y un 100 % más largas que la duración prevista del proyecto.

Otro punto importante de resaltar en este trabajo de investigación es que se catalogó las causas de retraso de acuerdo a un peso establecido por cada uno de los encuestados y se logró obtener la siguiente tabla:

Estos datos comprueban a través de la experiencia de los encuestados, las causas que más impactan en un proyecto de excavación de túneles para metro.

En la siguiente tabla 2, presentada por el investigador, muestra la causa de los atrasos de acuerdo con el grado de importancia que le dan cada uno de los encuestados.

Tabla 2

Ranking de retrasos desde el punto de vista de encuestados

Ranking	CAUSA DE ATRASOS	Indice de Severidad	Clasificacion Principal
1	Condiciones geológicas complicadas	74.38	Entorno
2	Política nacional para la construcción de túneles subterráneos	73.81	Factores externos
3	Retraso en los pagos progresivos por parte del propietario	71.72	Propietario
4	Adjudicar el proyecto al precio de oferta más bajo	71.16	Factores externos
5	Escasez de maquinaria especializada	71.05	Materiales
6	Disponibilidad mecanica deficiente	69.85	Equipos
7	Escasez de maquinaria especializada	69.52	Equipos
8	Baja productividad de los trabajadores.	68.25	Mano de obra
9	Aplazamiento del proyecto por parte del propietario.	68.21	Propietario
10	Mal estado del terreno y calidad de la roca	67.55	Entorno
11	Retraso en el suministro de materiales de construcción	66.47	Propietario
12	Entrega tardía de la tierra al contratista por parte del propietario	66.25	Propietario Contratista
13	Programación ineficaz del proyecto por parte del contratista.	65.6	Contratista
14	Retraso en la tecnología	65.5	Factores externos

Fuente: Dingbang Zhang et al. (2020), "Causes of Delay in the Construction Projects of Subway Tunnel"

Como conclusión el investigador identifico que la tasa de retraso en proyectos de construcción de túneles de metro durante los últimos 5 años muestra lo siguiente:

- El 68,8% de los consultores que respondieron señalaron que la duración media durante su participación en un proyecto de tunelería es 20% a 30% más largo que el planificado para el proyecto.
- El 85,7% de los contratistas que respondieron señalaron que la duración media de los proyectos de túneles en los que participan esta entre un 20 % y un 40 % superior a la planificada para el proyecto.
- Ni los contratistas ni los consultores señalaron tasas de retraso igual al 100% del proyecto donde participaron.

Peña Hernandez, Isabel (2021), en su tesis “Identificación de causas de retrasos en la obra el túnel de la Línea - Colombia”, realiza un estudio sobre las problemáticas económicas, jurídicas y constructivas del túnel de la línea y como estas circunstancias afectaron el desarrollo del proyecto e impactaron de manera negativa en su cronograma de ejecución. El túnel de la línea tardo seis años más de lo estipulado (debía inaugurarse en el año 2014 y solo hasta el año 2020 se puso en funcionamiento, pero con obras y puntos inconclusos) y generando altos sobrecostos.

En las conclusiones de la presente tesis se evidencia puntos importantes que sirven como lección aprendida para futuros proyectos similares.

- Se evidencia un evidente incumplimiento de los estudios y diseños adecuados, los cuales no se presentaron con claridad y eficiencia.
- Se concluye que la ejecución de una obra transparente debe garantizar un trabajo mancomunado entre los ejes económicos, jurídico y constructivo, en este proyecto estos criterios no se cumplieron, por lo que se evidencia altos sobrecostos debido a fallas encontradas (insuficiente información geológica), problemas ambientales, diseños incompletos etc, que junto con procesos constructivos y materiales no adecuados; la regulación jurídica en tema de contrataciones debieron estar bien clarificados para la resolución pronta de litigios entre propietario y contratista. el

cual fue razón para otro problema en cuanto a las posiciones de las partes. Estas variables son fuente clave en la demora presentada para la entrega de la obra, debido a que no se cumplió su objetivo a cabalidad.

- Otro punto que se describe en el presente trabajo es debido a la ineficiente entrega de estudios previos, se maneja una gran incertidumbre respecto a los trabajos anteriores realizados en la obra y debido a que ya está construido dificulta su exploración; por otro lado, el comportamiento geológico no fue considerado y evaluado correctamente en los estudios, todo esto acrecentó el tiempo que se había programado para ejecutar los trabajos en el túnel La Línea.

Chrysothemis Paraskevopoulou y Georgios Boutsis (2020), en su artículo técnico “Sobrecostos en proyectos de túneles: investigación del impacto de la incertidumbre geológico y geotécnico utilizando casos de estudio”, los investigadores describen que los proyectos de túneles son los más difíciles de investigar, analizar, diseñar y construir debido al hecho de que las condiciones del suelo siguen siendo significativamente desconocidas hasta la construcción.

A partir de este concepto el artículo refiere que los proyectos de túneles siempre han tenido un alto nivel de riesgo. Esto se debe principalmente al costo creciente como resultado de las condiciones geológicas imprevistas; por ejemplo, una zona de falla, una cavidad kárstica o incluso otra unidad litológica con un comportamiento diferente que no está identificado en el modelo de tierra. Estas condiciones imprevistas requerirán la desviación del diseño original del túnel o incluso un nuevo diseño, lo que conducirá a diferentes requisitos presupuestarios y causar retrasos en el tiempo para la implementación del nuevo diseño.

Esta situación conduce a las empresas en la adquisición de préstamos a largo plazo, lo que aumenta el nivel de riesgo en proyectos de túneles. Por tal motivo concluyen que es razonable considerar que la planificación en las fases previas a la construcción es un factor crucial que reduce el costo total de los proyectos de túneles. Planificación cuidadosa, que incluye el sitio investigación, también reduce la incertidumbre encontrada

en la predicción del modelo de suelo (geológico), lo que se genera un impacto significativo en el costo.

1.4.2 Nacionales

Marroquin Liu, Diana (2010), en su tesis “Aplicabilidad de los métodos de análisis de retrasos en los proyectos de construcción nacionales”, realizó un trabajo el cual constituye una investigación exploratoria con la finalidad de conocer la aplicabilidad de los métodos de análisis de retrasos más utilizados a nivel internacional para la gestión de ampliaciones de plazo en obras de construcciones nacionales.

En el presente trabajo se detalla cada una de las técnicas de análisis forense de cronogramas orientado bajo el enfoque de AACE (Association for the Advancement of Cost Engineering).

- As-Planned vs. As-Built
- Impacted As-Planned
- Collapsed As-Built/As-Built But-For
- Time Impact Analysis-TIA/Update Impact
- Window Analysis
- Contemporaneous Period Analysis-CPA/But-For Window

En donde recomienda que los proyectos de construcción nacionales, sobre todo los del sector público, se incorpore como parte de los procedimientos a seguir para la gestión de ampliaciones de plazo y/o incumplimiento de plazo, la necesidad de realizar un análisis de retrasos y la aplicación de algún método del mismo.

También sugiere que, durante la ejecución de obra, además de presentar el cronograma de avance al inicio de obra también se presenten las actualizaciones del cronograma en cada valorización, para tener un control del trabajo realizado y determinar el progreso de la obra. Además, de utilizarse para el registro de la información diaria en la zona de trabajo, el cual es esencial para el análisis de retrasos en caso existan eventualidades que afecten el proyecto y concluye con la siguiente afirmación:

La aplicación de los diferentes métodos de análisis de retrasos dependerá de lo dispuesto en el contrato de obra o la preferencia que el analista posee por alguno de los mismos. En los proyectos de construcción peruana no parecen considerar la aplicación de algún método estipulado en el contrato de obra. No obstante, cuando existe la necesidad de una ampliación de plazo, el ingeniero de control o supervisor de obra realizan análisis de retrasos semejantes al tipo comparativo para determinar los efectos en el plazo de obra.

Jhonatan Ramiro (2018), en su tesis “Análisis de factores que influyen al cumplimiento de la línea base de costo en la construcción del proyecto MPD003 Tailing Pipeline Relocation ejecutado en Minera Chinalco Perú S. A.”, realizó la investigación y concluyó que existen mayores sobrecostos a la hora de implementar una aceleración en el cronograma e identificó que si el alcance no está bien identificado durante la etapa de licitación de un proyecto genera sobrecostos, porque en algunos casos no están totalmente identificadas todas las partidas a presupuestar.

Además, recomienda realizar un correcto plan de gestión de riesgos, donde el objetivo es identificar todos aquellos eventos que impactan de manera negativa en el cumplimiento de la línea base de costo del proyecto y como conclusión del trabajo describe que las principales causas que generan mayores costos en proyectos de construcción son: La ingeniería de detalle deficiente o incompleto, cambios en las especificaciones técnicas, características de suelo distintas a las informadas en las bases de licitación y cambios de diseño. Estos resultados se necesitan generalizarse para los proyectos de construcción que se construyen bajo contextos como: la entidad o el cliente debe ser de tipo privado y una modalidad de contrato de precios unitarios.

Capítulo II. Marcos teórico y conceptual

2.1 Marco teórico

2.1.1 *Técnicas forenses en análisis de cronogramas*

El AACE en su práctica recomendada RP-29R-03 (2013): Forensic Schedule Analysis, describe de manera detallada todas las técnicas necesarias para cuantificar los hechos que impactan en un cronograma.

Impacted As-Planned (Análisis de Impacto sobre lo planificado - IAP)

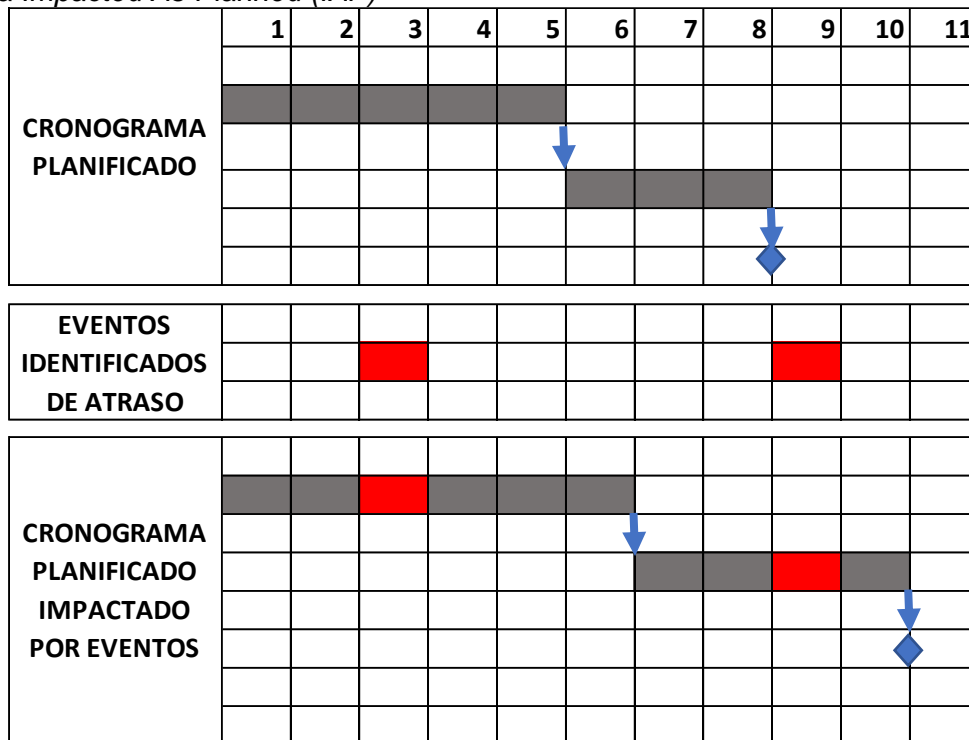
Esta técnica se basa en añadir un Evento de Retraso dentro de la Línea Base del cronograma, vinculándolo con una lógica coherente. Una vez realizado esto, se procederá a reprogramar con las actividades de la Línea Base del cronograma, utilizando para ello cualquier software de programación que pueda realizar este cálculo. Para el presente caso, esta herramienta es Primavera P6 de Oracle. De esta forma, se determinará el impacto prospectivo (a futuro) que el Evento de Retraso ha tenido con respecto a los hitos contractuales.

Esta es la técnica más simple y menos costosa de todos los que a continuación se enumerara, aun así, se deben cumplir ciertas consideraciones como: establecer una sólida Línea Base del cronograma, donde el secuenciamiento de actividades, duraciones y lógica de vinculaciones sean razonables, coherentes, realistas y alcanzables.

En la figura 3, se observa el esquema con la técnica IAP.

Figura 3

Técnica Impacted As-Planned (IAP)



Fuente: elaboración propia

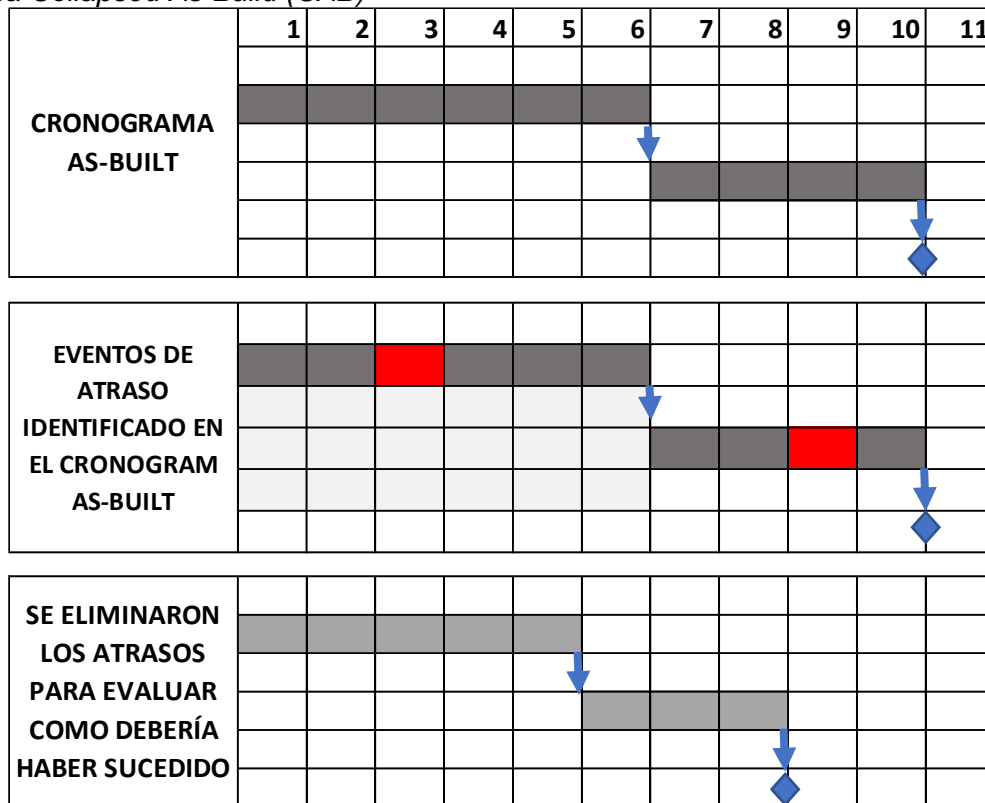
Collapsed As-Built (Análisis colapsado de lo ejecutado - CAB)

Esta técnica requiere la extracción de todos los eventos que causaron el retraso del cronograma y que fueron detallados en un cronograma final, denominado «as-built». Con esto se identificará lo que sucedería si los eventos de retraso no hubieran ocurrido. Esta técnica no requiere un cronograma Línea Base. Pero si se requiere un programa as-built bien detallado y con una lógica bien definida en la ejecución de cada una de las actividades que se realizaron. Esta técnica requiere de un analista experimentado que identifique y valide el cronograma as-built. Este análisis lleva mucho tiempo dependiendo de la complejidad del proyecto y genera un esfuerzo bastante complejo. Pero una vez completada, e identificado los Eventos de Retraso dentro del cronograma as-built estos se «colapsan» o se extraen para determinar el impacto neto de éstos.

En la figura 4, se observa el esquema con la técnica CAB.

Figura 4

Técnica Collapsed As-Build (CAB)



Fuente: elaboración propia

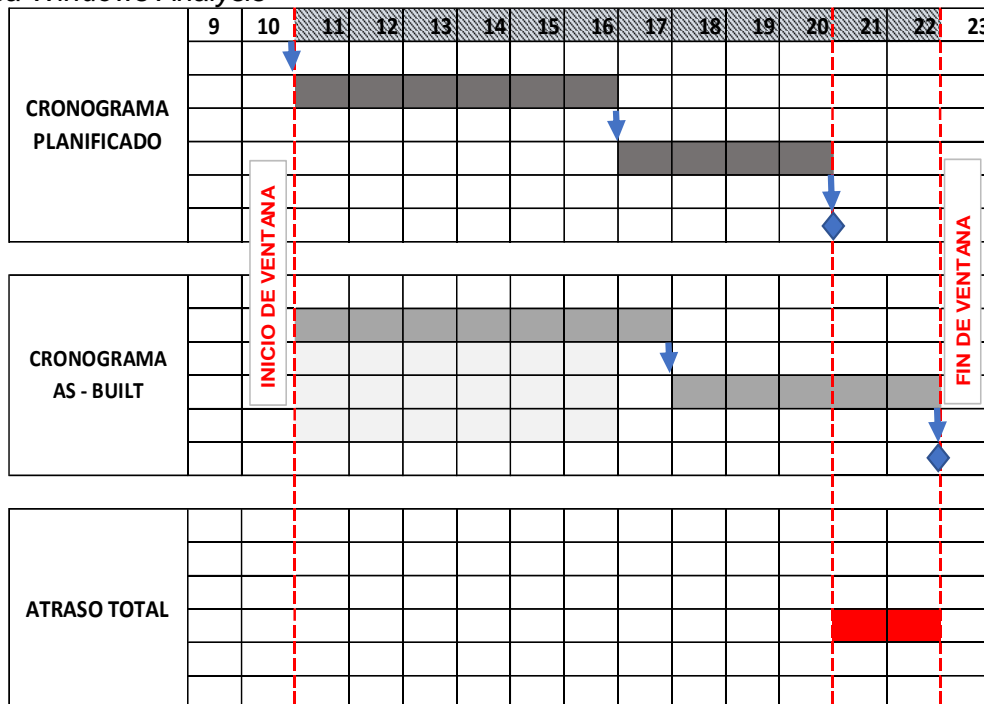
Window Analysis (Análisis en ventanas)

Existen dos técnicas de Análisis de Retraso por ventanas este es el primero. Es una técnica observacional, basada en ventanas que se centra en comparar cronogramas de proyectos según lo planeado. Es una metodología de análisis retrospectivo y es una de las técnicas más aceptadas, pero requiere un alto nivel de datos de programación. Como por ejemplo una línea base aprobada y actualizaciones de progreso confiables validada por el cliente, esto a veces es complicado de obtener en un proyecto complejo.

En la figura 5, se observa el esquema con la técnica Windows Analysis.

Figura 5

Técnica Windows Analysis



Fuente: Elaboración propia

Time Impact Analysis (Análisis del impacto del tiempo - TIA)

Es una técnica que requiere que se inserten Eventos de Retraso denominado Fragnets y recalcular la línea base del cronograma y determinar el impacto en tiempo y su afectación sobre la finalización del proyecto que se generó por estos fragnets.

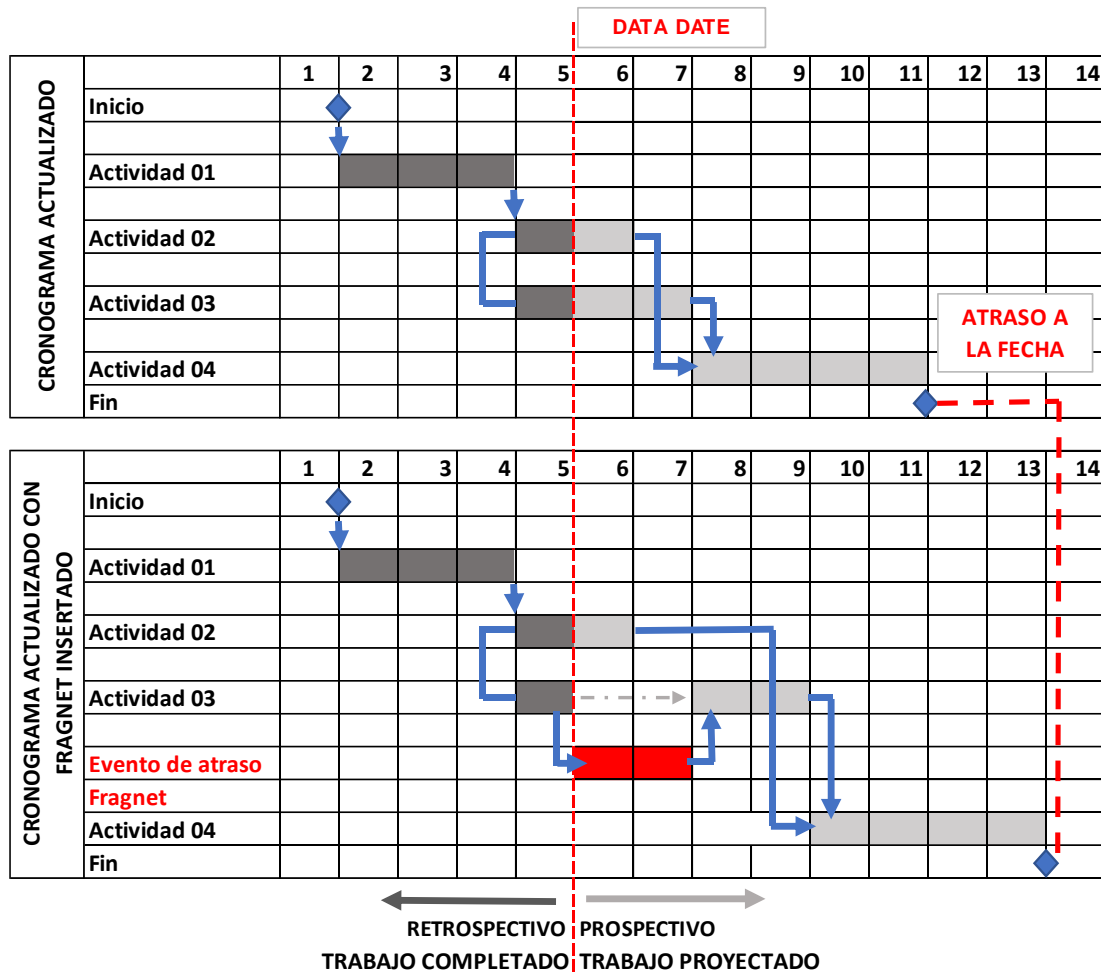
Los Eventos de Retraso se integran sobre la ruta crítica de la línea base del cronograma.

Este tipo de técnica para el análisis de atrasos es muy utilizado en la industria de la construcción, debido a que permiten demostrar de una forma sencilla los diversos efectos de factores no planificados en nuestro cronograma.

En la figura 6, se observa el esquema con la técnica TIA.

Figura 6

Time Impact Analysis (TIA)



Fuente: Elaboración Propia

Contemporaneous Period Analysis (Análisis de periodos contemporáneos – CPA)

Es una técnica observacional, contemporánea que utiliza las actualizaciones de los cronogramas para cuantificar las pérdidas de tiempo a lo largo de la ruta crítica en cada ventana.

Es una técnica observacional porque no implica la adición o eliminación de actividades.

Es dinámica, porque considera los cambios de lógica, si lo hubiere en las actualizaciones. Además de incluir un paso intermedio (half step), compara las actualizaciones de la previa ventana progresada a la data date de la actualización.

Se requiere de actualizaciones (update) lo más seguido posible debido a que esta metodología se aplica contemporáneamente al avance semanal.

2.1.2 Planificación

Andrew Baldwin & David Bordoli (2014) en su libro “Handbook for construction planning and scheduling”, define la planificación como un método formulado y especialmente detallado por el cual una cosa debe ser hecho. Esta definición indica la importancia de trabajar hacia un objetivo e identificar cómo se logrará ese objetivo.

Es fácil pensar en la planificación como la producción de un cronograma, pero esto es sólo un aspecto de la planificación exitosa del proyecto. Siempre es necesario considerar planificación en un contexto más amplio. La planificación de un proyecto debe incluir no sólo la consideración de tiempo, sino también la consideración del costo, la calidad, salud, seguridad y otros aspectos como el diseño y la producción.

Cadavid Osornio, Jhon Esteban & Maya Gualdrón, Jose Manuel (2012) en su tesis “Administración de riesgos en proyectos de construcción de túneles” también describe la planificación como la etapa donde se define cuáles son las necesidades a satisfacer y los objetivos a alcanzar, se realizan los estudios necesarios para determinar la viabilidad financiera, ambiental y social de la obra, al igual que la elaboración de diseños, programación del proceso constructivo, adquisición de predios, permisos ambientales y constructivos.

2.1.3 Gestión del valor ganado

Climent Alos, Antonio (2014), en su tesis “Aplicación de EVM a ruta crítica. Estudio de caso”, describe la Gestión del Valor Ganado es un método que mide el desempeño, es decir integra las mediciones del alcance del proyecto, costo y cronograma para ayudar al equipo de la dirección del proyecto a evaluar y medir el desempeño y avance del proyecto.

Se trata de una técnica de dirección de proyectos que permite resaltar la necesidad de realizar medidas correctoras a partir de indicadores de rendimiento que deben ser calculados a lo largo del proyecto en momentos clave de control; monitoreando las tres dimensiones:

Valor planificado (PV):

Es el presupuesto que se ha asignado a los trabajos programados para completar una actividad. El PV total se interpreta a veces como línea base para la medición del desempeño (PMB); aunque en ocasiones se le conoce como el presupuesto hasta la conclusión (BAC).

Valor ganado (EV):

Es la medida de trabajo en términos de presupuesto. El EV debe corresponderse con la medición de desempeño y es mayor que el presupuesto aprobado del PV de un componente o actividad. Por ello, el EV se utiliza para conocer el porcentaje completado de un proyecto. Los directores de proyecto monitorean el EV para conocer el estado actual y establecer las tendencias de desempeño a largo plazo.

Costo real (AC):

es el costo acaecido en los trabajos realizados en un periodo de tiempo concreto. El AC debe coincidir en teoría con lo que haya sido presupuestado para el PV y medido obviamente por el EV.

En base a estas tres dimensiones, también se realiza un control y monitoreo de las variaciones o desviaciones con respecto a la línea base aprobada inicialmente.

Variación del cronograma (SV):

Es una medida de desempeño del cronograma hallada como la diferencia entre el EV y PV; ambos medidos en unidades monetarias y en consecuencia también su variación. Por tanto, variaciones negativas implicarán un retraso en la ejecución del proyecto. Por lo tanto, se debe tener en cuenta que será igual a cero cuando se complete el proyecto. Desde PMBOK se recomienda la utilización junto la programación de la ruta crítica (CPM) y la gestión de riesgos. Su fórmula es la siguiente: $SV=EV-PV$.

Variación del costo (CV):

Es el importe del déficit o superávit del presupuesto en el momento del control, expresando en unidades monetarias la diferencia entre el EV y AC. Siendo una medida de desempeño del costo, indica la relación entre el desempeño real y los costos incurridos. Una

CV negativa es normalmente difícil de recuperar en un proyecto. Su fórmula es la siguiente:

$$CV=EV-AC$$

Índice de desempeño del cronograma (SPI):

Es una medida de eficiencia del cronograma y se expresa como la razón entre el EV y el PV; reflejando numéricamente como se está utilizando el tiempo. El valor de referencia es la unidad, obteniendo un resultado por encima de este, indica que se ha efectuado más trabajo del programado, y por debajo, que el volumen de trabajo es menor al planificado. Su fórmula es la siguiente: $SPI = EV/PV$

Índice de desempeño del costo (CPI):

Se trata de una medida de eficiencia del costo de los recursos presupuestados y el PMBOK la considera como la métrica más crítica dentro de la EVM, se expresa como la razón entre el EV y el AC y su valor de referencia es la unidad. Un valor por encima significa un costo inferior al planificado y, por el contrario, un valor inferior indica un costo superior al programado con respecto al trabajo realizado. Su fórmula es la siguiente: $CPI=EC/AC$.

2.1.4 Clasificación de los impactos al cronograma

Arcuri, Frank et Al (2007), en su estudio técnico “Principios para análisis de impacto en cronogramas”, describe manera práctica como deben clasificarse los impactos en el cronograma una vez que se reconoce que ha ocurrido un evento en el transcurso y/o la finalización de un proyecto.

Estos retrasos se clasifican en las siguientes cuatro categorías:

- Excusable, No-Compensable Delays
- Excusable, Compensable Delays
- No-Excusable, No-Compensable Delays
- No-Excusable, Compensable Delays

Identificar la categoría de atrasos es fundamental antes de aplicar cualquier técnica de análisis de impacto al cronograma.

La aplicabilidad de cada una de estas categorías dependerá identificar de quien es la responsabilidad del atraso.

- Atribuible al contratista (Contract responsible delay – CRD)
- Atribuible al Owner (Owner responsible delay – ORD)
- Atribuible a terceros, fuerza mayor (Excusable delay – ED)

En la tabla 3, se muestra resumido la clasificación de los impactos al cronograma

Tabla 3

Clasificación de Impactos

	EXCUSABLE	NO EXCUSABLE
COMPENSABLE	ORD	Algunos ORD
NO COMPENSABLE	ED	CRD

Fuente: Elaboración propia

Excusable, No-Compensable Delays

Es una demora que servirá para justificar una extensión del tiempo de ejecución del contrato. La causa de este retraso no es atribuible al contratista o al propietario (owner). Esto incluye todos los eventos fortuitos, eventos de terceros, fuerza mayor.

El contrato puede incluir disposiciones de asignación de riesgos que definen aquellos tipos de retrasos en los proyectos que no sean imputables a ninguna de las partes, eximiéndolos de cumplimiento de un plazo contractual. Si ocurriera una disputa, los tribunales, los árbitros o las juntas de las apelaciones de contratos se referirán al contrato de las partes como la incorporación del acuerdo, e intentará hacer cumplir tales disposiciones de acuerdo con la intención de las partes. Previos acuerdos sobre si ciertos retrasos son riesgo del propietario o del contratista.

Excusable, Compensable Delays

Las demoras justificables y compensables se clasifican como “Retrasos con responsabilidad del propietario o un "ORD". Una ORD, además de otorgar prórroga de tiempo, ordena compensación económica al contratista por los costos adicionales incurridos, comúnmente denominados retrasos, por los daños y perjuicios. Generalmente, las demoras indemnizables constituyen un evento de demora que está dentro del control

del propietario.

Un retraso compensable ocurre cuando:

- La demora es causada por el propietario o alguien bajo el control del propietario
- Las demoras resultan en daños monetarios reales al contratista,
- El contratista no ha asumido el riesgo de demora a través de una cláusula de "Sin daños por demora". Si tal cláusula existiera en un contrato, el contratista tiene derecho a pedir tiempo prórroga por retrasos causados por el propietario, pero no compensación.

En proyectos con contratos que no contienen una cláusula de "Sin daños por demora", la siguiente es una lista de posibles retrasos compensables:

- Incumplimiento del propietario de proporcionar el sitio al contratista en la fecha acordada
- Diseño defectuoso
- Planos y especificaciones incompletos
- Cambios en el alcance
- Suspensión del trabajo
- Diferentes condiciones del sitio
- Entrega tardía de materiales proporcionados por el propietario

No Excusable, No Compensable Delays

Las demoras causadas por las acciones y/o inacciones del contratista se consideran no excusables, retrasos no indemnizables, también denominados "responsabilidad del contratista", o "CRD". Los retrasos no justificables pueden ser culpa del contratista, sus subcontratistas o proveedores. Cuando se produzca tal retraso, el contratista no tendrá derecho a prórrogas ni compensación. De hecho, además de los posibles costos extra incurridos por el retraso de trabajo, el contratista puede ser considerado responsable de los daños y perjuicios.

También se considera una penalidad que debe pagar el contratista al propietario por los días en que el contratista retrasó la finalización del proyecto. Los daños liquidados

no pretenden ser una sanción, sino una estimación realista de los costos adicionales para el propietario causados por la demora.

A menudo es difícil para los propietarios determinar los retrasos no justificables por parte del contratista porque los propietarios no siempre mantienen los cronogramas o registros de construcción lo suficiente detallada para identificar el retraso del contratista o por qué ocurrió.

Estas situaciones se resuelven manteniendo un cronograma de construcción detallado y actualizado que establece el inicio y fechas de finalización para actividades particulares y registros de campo que identifican por qué ocurrió un retraso.

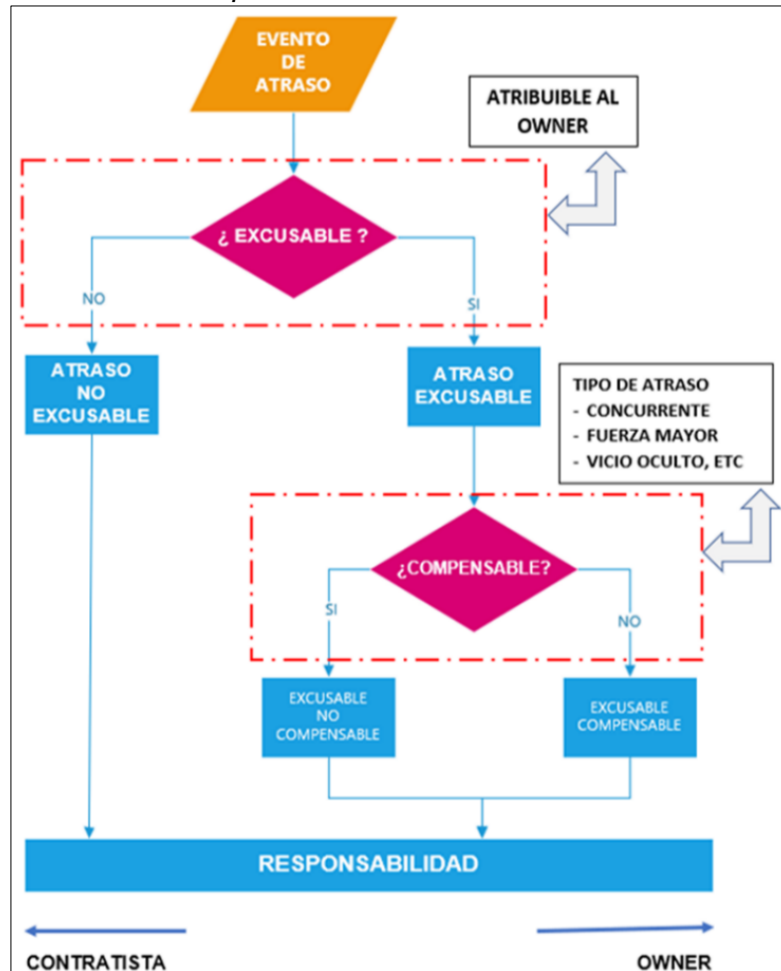
No Excusable, Compensable Delays

La cuarta clasificación de retraso, retraso compensable no justificable, es una situación peculiar en la que un propietario y un contratista retrasan concurrentemente el proyecto, y la compensación por la demora del propietario puede distribuirse adecuadamente. mientras que monetario se puede otorgar una compensación, no se concede una prórroga del período. El propietario el retraso se muestra en el cronograma, sin embargo, es importante tener en cuenta que en esta situación no se otorgará una extensión de tiempo para el evento de retraso del propietario.

En figura 7, se esquematiza las cuatro categorías a través de un diagrama de flujo.

Figura 7

Diagrama de clasificación de impactos



Fuente: Adaptación propia (2022) de “The Principles of Schedule Impact Analysis”, Arcuri, Frank et al (2007).

2.2 Marco conceptual

Disrupción

Interferencia, obstáculo o interrupción a las condiciones normales de trabajo presentado por el contratista, ocasionando una menor eficiencia. Los reclamos de disrupción están referidos a la ejecución de actividades de construcción específicas. Debido a la disrupción, dichas actividades no son ejecutadas tan eficientemente como fue inicialmente planificada.

La disrupción del cronograma es cualquier cambio negativo al cronograma y que podría implicar no necesariamente, retrasos en la finalización del proyecto.

Taxonomía

Es una estructura de organización jerarquizada que se ocupa de los principios,

métodos y clasificación de la información que está formada por un conjunto de categorías y subcategorías, gracias a las cuales podemos unir entidades que comparten características en común. En el RP – 29R-03 del AACE, se encuentra la taxonomía de métodos de análisis de atrasos.

Forense

Es un análisis detallado del cronograma para determinar la causa de los atrasos y sus efectos en la línea base del cronograma y por ende determinar la responsabilidad de las partes con relación a los retrasos suscitados en los proyectos, utilizando para ello técnicas de análisis establecidos en la taxonomía que recomienda el AACE.

Impacto

Es un evento no deseado, que se vincula de manera lógica con las actividades de la línea base del cronograma siguiendo un secuenciamiento coherente y que por lo general ocasiona atrasos en la fecha de finalización del proyecto.

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Tipo y diseño de la investigación

El tipo de la presente investigación con respecto al enfoque corresponde a una investigación cuantitativa, porque de las siete características epistemológicas cinco características están dentro de la naturaleza de investigación cuantitativa. Además, este tipo de investigación permitirá verificar las relaciones causa-efecto, el cual validará la hipótesis establecida.

En la tabla 4, se establecieron las características que determinaron que el tipo de enfoque es investigación cuantitativa (resaltado).

Tabla 4

Características epistemológicas de la investigación cualitativa y cuantitativa

Características	Investigación cualitativa	Investigación cuantitativa
Percepción de la realidad	Subjetiva. Incluyente	Objetiva. Excluyente
Razonamiento	Inductivo	Deductivo
	Genera hipótesis	Contrasta hipótesis
Finalidad	Exploración	Comprobación
	Descubrimiento	Confirmación
Orientada	Expansión	Reducción
	Al proceso	Al resultado
Principio de verdad	Holística	Particulariza
	Dinámica (provisoria)	Estable (permanente)
	Se construye	Predetermina
Perspectiva del investigador	Centrada en diferencias	Centrada en similitudes
	Desde dentro (próximo a los datos)	Desde afuera (al margen de los datos).
Causalidad	Interacción de factores	Antecedentes específicos

Fuente: Barruitia Feijóo Walter (2022), "Lineamientos metodológicos del trabajo de suficiencia profesional para la obtención de la titulación profesional FIGMM"

Por otro lado, el tipo de alcance para el presente trabajo de investigación será descriptivo porque se describirán las características de los atrasos, además de realizar los respectivos análisis para identificar las técnicas correctas y metodologías del análisis forense de cronogramas.

Para el presente trabajo, el diseño de investigación será No Experimental, debido a que las variables de estudio no serán manipuladas intencionalmente.

3.2 Unidad de análisis

Para el presente trabajo de investigación, se utilizará como unidad de análisis, el proyecto “Ejecución de obras civiles para el control de agua en la subestación Yaros” el cual consta de la excavación de un túnel diferentes tipos de materiales, el primer material es una arcilla plástica altamente expansiva y el otro material es una roca altamente meteorizada (roca tipo V), estos serán excavados con diferentes procesos constructivos por lo tanto se prevé una alta complejidad en su construcción, el cronograma línea base contractual estará sujeto a una alta variabilidad con alta probabilidad de incremento en el presupuesto. El objetivo para la construcción de este túnel es que servirá como galería de drenaje.

El proyecto está ubicado en el departamento de Huánuco, provincia de Huánuco, distrito de Amarilis a 2035 msnm. Y es ejecutado por la Empresa Especializada Subterránea Drilling S.A.C, con experiencia comprobada en este tipo de trabajos.

3.3 Matriz de consistencia

Título: Análisis de atrasos en proyectos de construcción de túneles para reducir los sobrecostos operacionales.

Tabla 5

Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE		INDICADORES	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS
			DEPENDIENTE	INDEPENDIENTE		
¿Como los atrasos, durante la ejecución de un proyecto impactan de manera negativa en los costos?	Analizar los atrasos en proyectos de construcción de túneles para reducir los sobrecostos operacionales	Al analizar los atrasos en proyectos de construcción permitirá reducir los sobrecostos operacionales	Sobrecostos operacionales en los proyectos	Análisis de los atrasos	Valor ganado Cronograma ganado	Actualización de línea base de cronograma. Reporte de avance diario

Fuente: Elaboración propia

3.4 Recolección de datos

El presente trabajo se enfoca en el seguimiento y control del cronograma a través de dos documentos importantes, el cual para este estudio consta de:

Línea base del cronograma y línea base del costo del proyecto.

Estos documentos permitirán comprobar a través de su actualización y a medida que avanza el proyecto, los impactos que generan en tiempo y costo a través de los eventos que se desarrollan durante la ejecución del proyecto de tal manera que permita determinar con parámetros cuantificables el desempeño del proyecto.

Para iniciar este análisis se empieza con los siguientes datos:

- Descripción del proyecto
- Objetivos del proyecto
- Condiciones contractuales

3.4.1 Descripción del proyecto

Consiste en la excavación de un túnel de sección variable, con una longitud total de 354.63 m. de longitud (de los cuales 280 m., serán en suelo (arcilla plástica) y 74.63 m., en roca (tipo de roca metamórfica – esquisto). La excavación en suelo se realizará mediante métodos mecánicos y la excavación en roca se realizará mediante perforación y voladura.

El objetivo de la construcción del túnel será de drenar toda el agua que está contenido en el talud, para evitar el desplazamiento de la plataforma donde se construye la Subestación Yaros.

El túnel tendrá sección transversal con forma de baúl de dimensiones variables, sostenido temporalmente con micropilotes durante el proceso de excavación, cimbras metálicas construidos con perfiles metálicos de dimensiones variables que servirán a su vez de apoyo para los micropilotes requeridos para la consolidación del terreno y el sostenimiento del contorno y piso de las excavaciones.

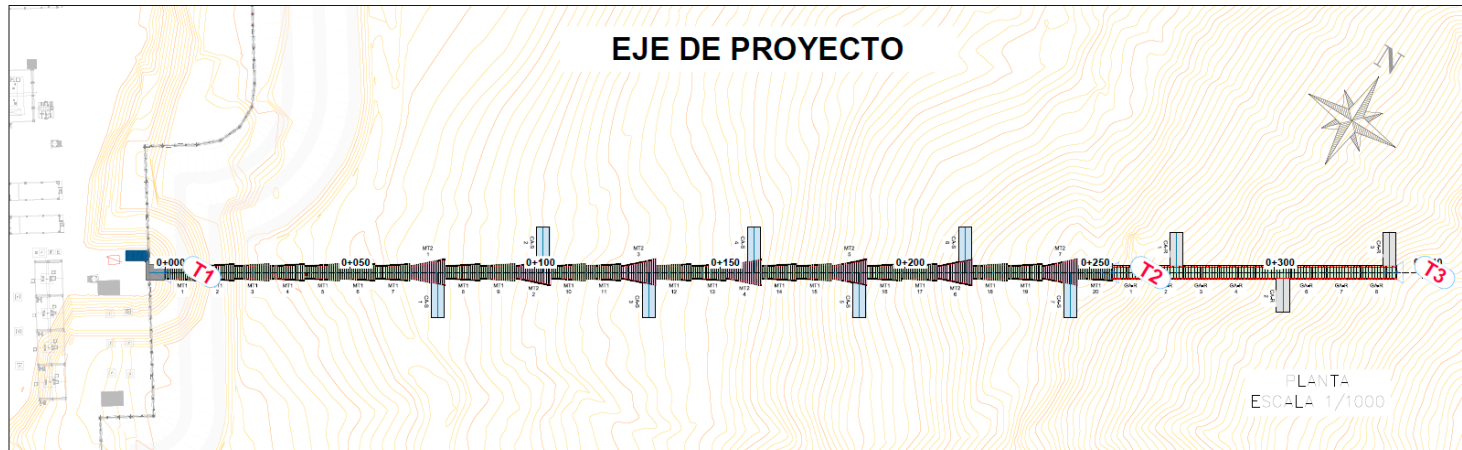
Adicionalmente, se dispondrá de perforaciones de drenaje ubicadas en las zonas húmedas o con concentraciones de agua a lo largo de la galería, con el fin de mejorar las

condiciones de drenaje del terreno.

En la figura 8, se muestra la vista en planta del proyecto a ejecutar, en la figura 9 la vista isométrica, en la figura 10 una vista isométrica detallada del reforzamiento de la excavación del túnel y finalmente en la figura 11 el tipo de sostenimiento típico para la excavación del túnel en la zona de suelo.

Figura 8

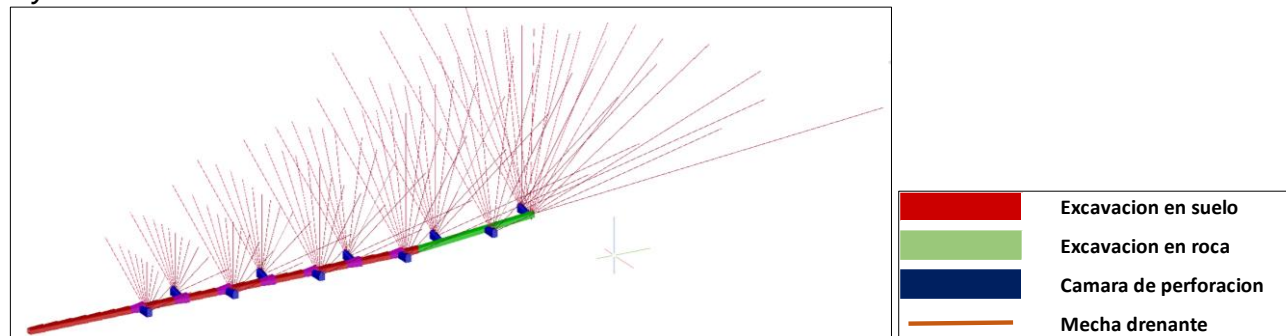
Vista en planta del proyecto.



Fuente: elaboración propia

Figura 9

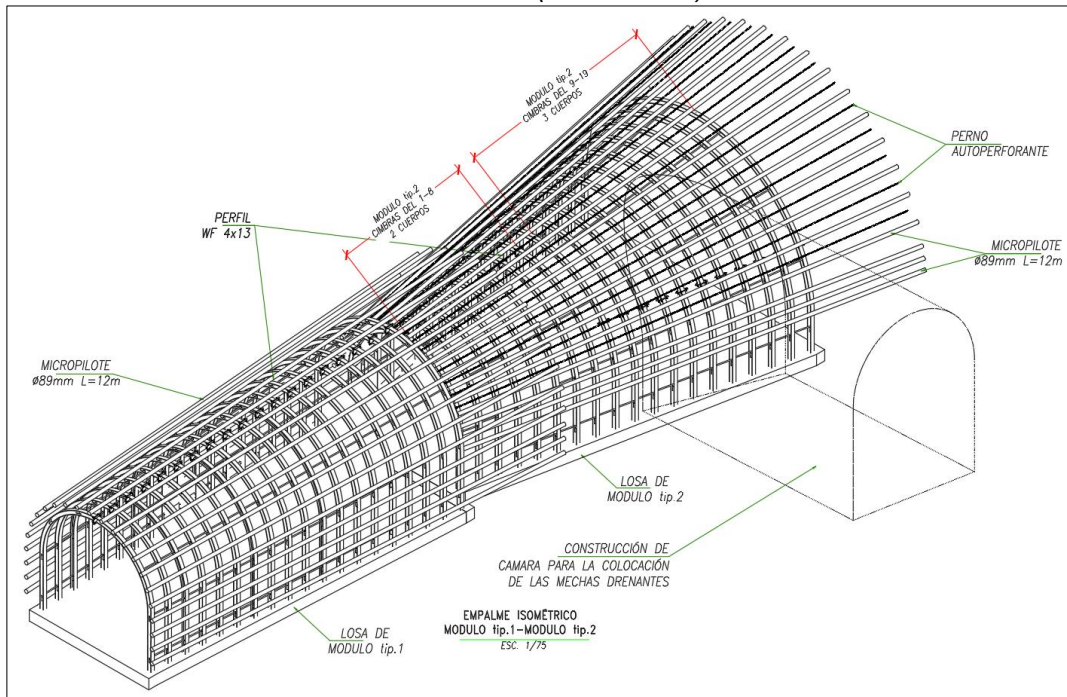
Vista isométrica del proyecto



Fuente: elaboración propia

Figura 10

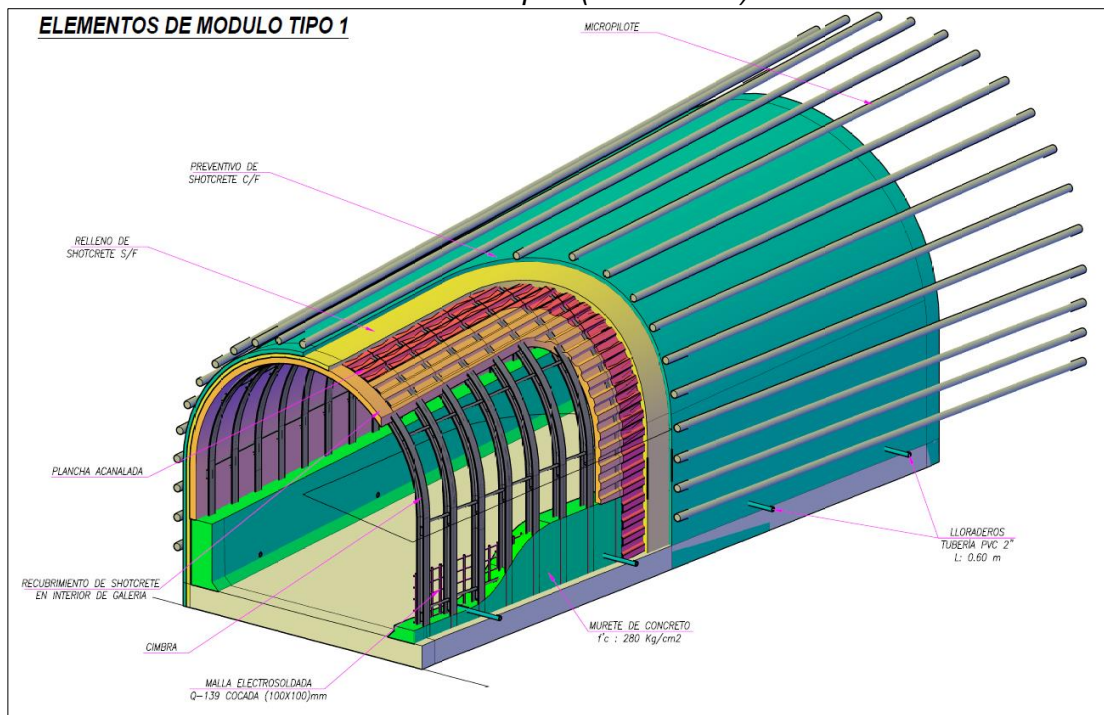
Isométrico del sostenimiento usado en túnel (Zona Suelo)



Fuente: elaboración propia

Figura 11

Elementos de sostenimiento en Modulo Tipo I (Zona Suelo)



Fuente: elaboración propia

3.4.2 *Objetivos del proyecto*

El objetivo de ejecutar la construcción del túnel es la de ejecutar perforaciones sub-horizontales y verticales, de tal manera que de esta forma se garantiza la evacuación de las aguas subterráneas captadas a través de estas perforaciones radiales (sub-horizontales y verticales) denominadas “mechas drenantes”, estas aguas deberán ser conducidas a cauces estables en la ladera de la plataforma a través de canales y/o cunetas de concreto.

El presente proyecto es una alternativa de solución a la geología presentada en la zona de la “Subestación Yaros”, debido a que se presentan procesos asociados al agua concentrada en la parte superior de la microcuenca, el cual se filtra generando procesos morfodinámicos de tipos erosivos intensos y movimientos en masa de tipo reptación, grietas de tracción y deslizamientos.

3.4.3 *Condiciones contractuales*

La Empresa Especializada “Subteranea Drilling S.A.C.” se adjudicó la ejecución del presente proyecto, el 01 de febrero del 2022, bajo la modalidad de Suma Alzada.

Con las siguientes condiciones económicas:

Monto de contrato	13,122,948.53	USD
Tiempo de ejecucion	9	meses
Liquidacion de contrato	1	mes
Fecha de inicio de ejecucion	01.03.2022	
Fecha de fin de ejecucion	01.12.2022	
Fecha de liquidacion de contrato	01.01.2023	

A todo costo, el Cliente no proporciona ningún suministro.

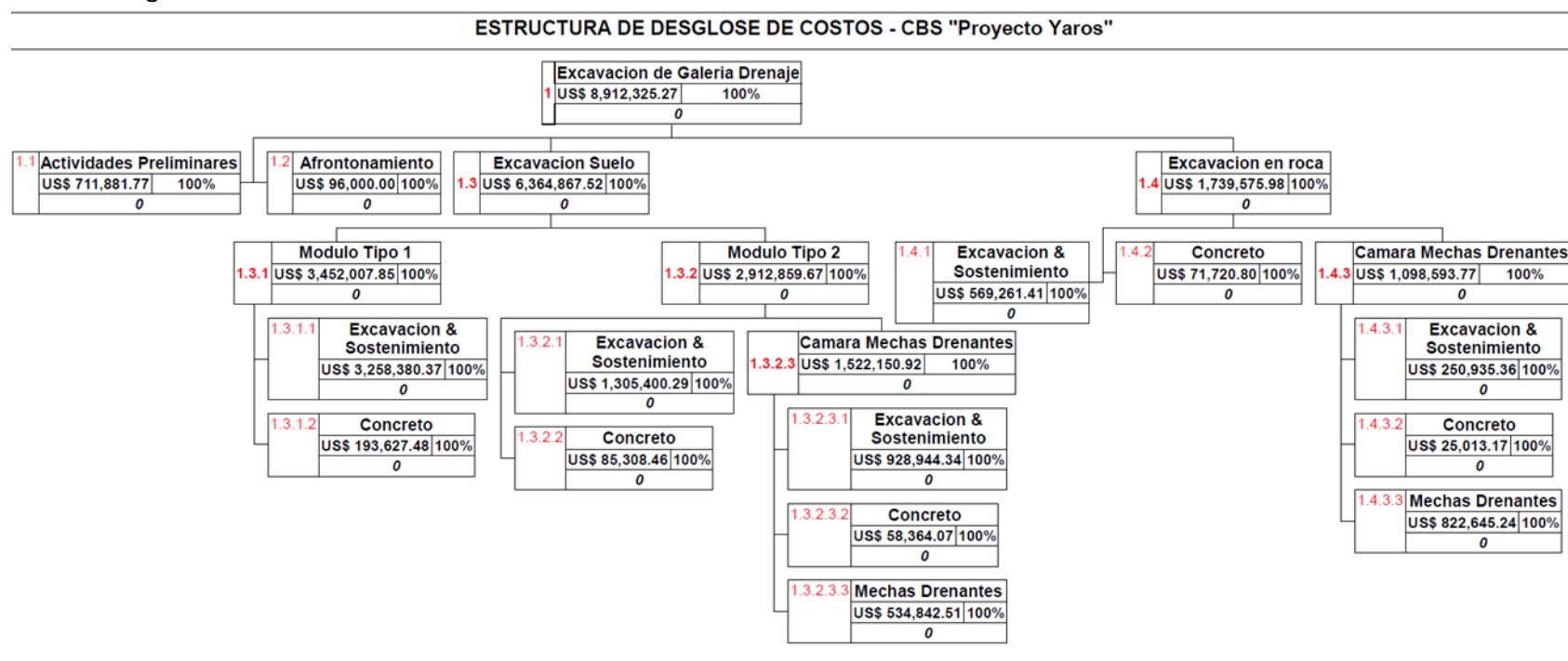
Resumen de costos del monto de contrato:

Costo directo	8,912,323.57	USD
Gastos Generales	3,017,629.64	USD
Utilidad	1,192,995.32	USD
Monto de Contrato	13,122,948.53	USD

En la figura 12, se detalla los costos para cada uno de los niveles de trabajo que se ejecutaran en el presente proyecto y la figura 13, el cronograma contractual acordado por las partes (Cliente – Contratista)

Figura 12

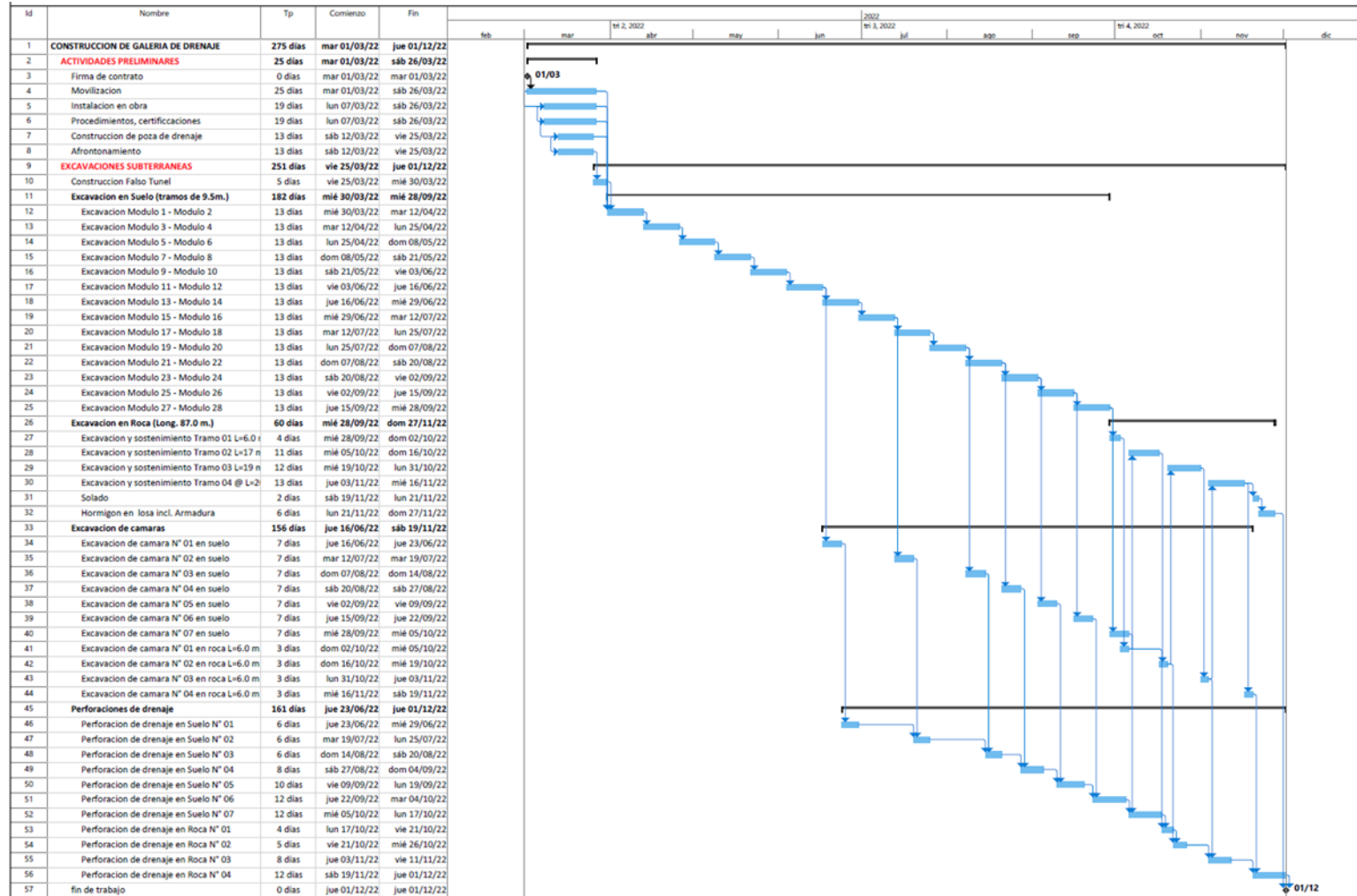
Estructura de desglose de costos



Fuente: elaboración propia

Figura 13

Cronograma Contractual



Fuente: elaboración propia

La recolección de los datos para el presente trabajo de investigación está relacionada con el seguimiento y control del cronograma Línea Base, esto se realiza mediante el registro de las actividades que se realizan día a día durante la ejecución del proyecto (ver anexo 2, donde se detalla la información que se registra en los reportes diarios). Esto permite obtener datos del desempeño de trabajo, de tal manera que se pueda cuantificar cualquier tipo de impacto negativo.

En los siguientes gráficos, se muestra el reporte diario, ver figura 14, esta información es elaborada por el área de producción y presentado a la oficina técnica, para su registro y posterior evaluación. Además, en figura 15, se muestra las diferentes consideraciones para la clasificación de demoras que se dan para un día típico de trabajos.

Figura 15

Clasificación de demoras en reporte de producción

ID	DESCRIPCIÓN
A	Liberación tardía por parte de supervisor
B	Vibroapisonador inoperativo
C	retraso en la liberación por falta de prueba de densidad (técnico de suelos no dispo nible)
OBSERVACIONES, ACTIVIDADES DEL TURNO Y RELEVO	
ID	DESCRIPCIÓN
1	Se realizó instalación y sellado de O4 cimbras. Se lanza 3.5 m3 de shotcrete sin fibra para el sellado de las O4 cimbras.
2	Limpieza y conformación de piso para el armado del andamio. Inicio de la perforación e instalación de O4 micropilotes.
3	Se realizó liberación de una capa mediante ensayo de densidad y se rellena y compacta nueva capa en zanja.
4	Se realiza orden y limpieza de residuos metálicos en taller de soldadura.
5	Se realiza eliminación de material excedente 03 viajes (La eliminación se realiza con excavadora, scoop inoperativo hasta las 4 pm). Se habilita tanques sobre camión grúa para regado de vías de acceso. Se retira bomba hidráulica de excavadora JCB (queda inhabilitada).
6	ACTIVIDADES PARA RELEVO:
7	Continuar con la perforación e instalación de micropilotes.
8	Continuar con la compactación de la capa existente en la zanja, solicitar liberación del supervisor de turno y rellena y compactar nueva capa de 25 cm. Será liberado mediante prueba de densidad en turno día.
9	Preparación de sillas y instalación de alcayatas para tendido de cables eléctricos (se encuentran habilitados en taller eléctrico).
REQUERIMIENTOS	
ID	DESCRIPCIÓN
1	PARA ILUMINACIÓN DE LA PLANTA SE REQUIERE:
a	02 reflectores led de 300 watts
b	30 metros cable vulcanizado 3x14 DWIG
c	02 unidades tomaaereo 2p-tierra 160MP (macho)
d	02 unidades tomaaereo 2p-tierra 160MP (hembra)
2	ILUMINACIÓN INTERIOR TUNEL:
a	02 unidades reflectores de 400 watts
b	11 unidades fluorescentes hermáticos 2 x 23 watts

Fuente: Oficina Técnica “Subterránea Drilling S.A.C” (2022)

La información del proyecto se va generando a medida que este se va desarrollando, por lo tanto, toda documentación va quedando archivado y es parte del departamento de control documentario su archivo y difusión a las áreas involucradas del proyecto.

Cada evento que se considere adverso al proyecto se registra en el reporte de producción.

Durante la ejecución de los trabajos se generaron tres eventos adversos al proyecto, cada uno de los cuales tuvo impacto desfavorable en tiempo y costo en el proyecto.

Por lo tanto, el seguimiento y control a estos eventos nos permitió cuantificar de manera precisa cuales serían los nuevos plazos de entrega y su implicancia en el presupuesto ofertado.

A continuación, se detallan los 03 eventos que afectaron al proyecto:

Primer evento

- **Retraso por Entrega de Frente**

Se registraron problemas en la habilitación del talud que da inicio al afrontamiento y la excavación de túnel.

- **Retraso por Incompatibilidad de planos**

Una vez entregado el frente, se realizó el replanteo de puntos con el área de topografía y se observó que los puntos de inicio de excavación del túnel no coincidían con los planos de construcción del proyecto. Se genero un RFI, para respuesta por parte del cliente.

- **Retraso por Huelga departamental**

Se registro dos días de huelgas por convulsión social, que impidieron el traslado del personal al frente de trabajo.

Tabla 6*Actividades impactadas por retrasos del evento 01*

Nombre	Duración Retraso	Comienzo	Fin	Actividades Sucesoras
RETRASOS				
Entrega de Fente	1 día	mar 29/03/22	mié 30/03/22	Incompatibilidad de Planos
Incompatibilidad de Planos	2 días	mié 30/03/22	vie 1/04/22	Construcción de Poza de Drenaje
Huelga Departamental	2 días	mar 5/04/22	jue 7/04/22	Construcción de Poza de Drenaje - Afrontamiento

Fuente: Elaboración propia

Segundo evento

Se encuentra roca el día 02/08/2022 en el frente de excavación, de acuerdo con el cronograma línea base el material rocoso se encontraría recién el 14/10/2022.

Encuentro de roca antes de lo previsto.

Tabla 7*Hitos contractuales e inicio del evento 02*

Nombre		Comienzo	Fin	Observaciones
CONSTRUCCION DE GALERIA DE DRENAJE	287	mar 1/03/22	mar 13/12/22	
HITOS				
Inicio de documentacion SUCAMEC	0 días	vie 15/07/22	vie 15/07/22	CONTRACTUAL
Entrega explosivos - Obra	0 días	sáb 1/10/22	sáb 1/10/22	CONTRACTUAL
Inicio excavacion roca LB	0 días	vie 14/10/22	vie 14/10/22	CONTRACTUAL
Inicio excavacion roca	0 días	mar 2/08/22	mar 2/08/22	EVENTO INESPERADO

Fuente: Elaboración propia

Tercer evento

Ante los eventos generados por el encuentro con roca antes de lo previsto el día 19/09/2022 el cliente propone un cambio de ingeniería denominado Rediseño 01 (ver anexos para más detalles).

Tabla 8*Hitos contractuales e inicio de evento 03*

Nombre		Comienzo	Fin	Observaciones
CONSTRUCCION DE GALERIA DE DRENAJE	287	mar 1/03/22	mar 13/12/22	
HITOS				
Inicio de documentacion SUCAMEC	0 días	vie 15/07/22	vie 15/07/22	CONTRACTUAL
Entrega explosivos - Obra	0 días	sáb 1/10/22	sáb 1/10/22	CONTRACTUAL
Inicio excavacion roca LB	0 días	vie 14/10/22	vie 14/10/22	CONTRACTUAL
Inicio excavacion roca	0 días	mar 2/08/22	mar 2/08/22	EVENTO INESPERADO
CAMBIO DE INGENIERIA - REDISEÑO 01	0 días	lun 19/09/22	lun 19/09/22	GESTION DE CAMBIO

Fuente: Elaboración propia

Es importante señalar que durante la ejecución de los trabajos se tenían reuniones semanales donde se revisaba el avance porcentual de ejecución del proyecto con relación al cronograma línea base contractual.

3.5 Procesamiento de la información

Una vez identificados los 03 eventos con potencial de causar sobrecostos en el proyecto y por consiguiente la extensión en el tiempo de ejecución, se da inicio al proceso de descripción del impacto en las actividades para cada evento, para lo cual se usa el software de gestión y control de proyectos MS Project ® y con la ayuda de la hoja de cálculo de Microsoft Excel ® se obtienen las descripciones gráficas y las tablas que permitirán los análisis respectivas y las tomas de decisiones necesarias para un control eficiente del proyecto.

3.5.1 Evento de atraso 01

Durante las reuniones de seguimiento semanales entre el Cliente y el Contratista, se acordó que el cronograma línea base contractual, era necesario su actualización debido a los atrasos que se informaron oportunamente al cliente y los cuales se consideró no eran atribuibles al contratista.

Para lo cual se identificaron estos atrasos y se tabularon de acuerdo con la tabla 9 y se insertaron en cronograma línea base para ver el impacto en tiempo. En la figura 16, se observa la actualización del cronograma línea base con los fragnets y a partir de esto se determina la nueva fecha de fin del proyecto el cual se puede ver en la figura 17.

Tabla 9

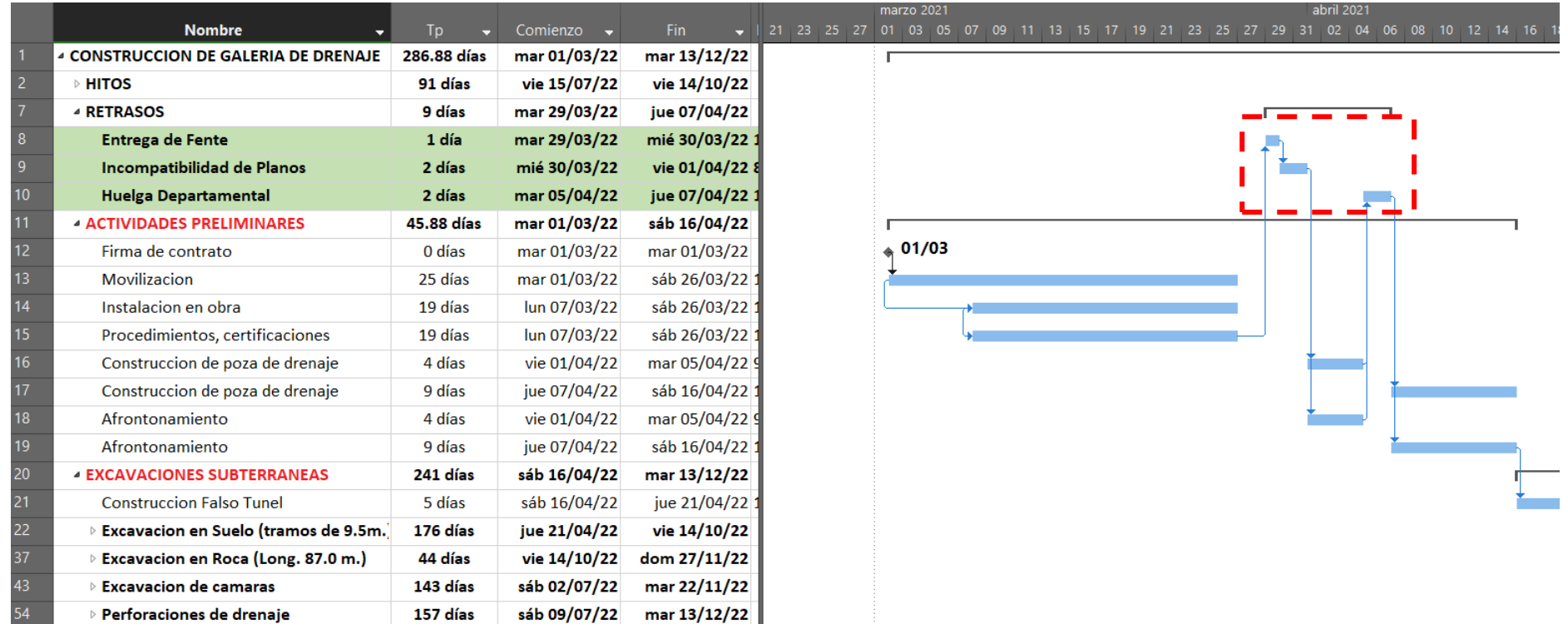
Análisis de retraso (Time Impact Analysis) del evento 01

ANALISIS DE ATRASOS TIA - TIME IMPACT ANALYSIS		LINEA BASE							ATRASOS CRITICOS				
		Fecha Inicio 01/03/2022 Fin 01/12/2022 Duración 275 Dias							CON	OWN	NN	Atraso total	
ID	Descripción	Inicio	Fin	Duración	Delay Inicio	Delay Fin	Duración	Tarea Crítica (S/N)	Atrasos del contratista	Atrasos del Owner	Nuetrales (Clima, Huelgas etc)	Periodo	Acumulado
1	Cambio de logica (Contruccion de poza de drenaje, Afrontamiento)	12/03/22			29/03/22		17.00	S		17.00		17.00	17.00
2	Entrega de Fente				29/03/22	30/03/22	1.00			1.00		1.00	18.00
3	Incompatibilidad de Planos				30/03/22	01/04/22	2.00			2.00		2.00	20.00
4	Huelga Departamental				05/04/22	07/04/22	2.00				2.00	2.00	22.00
5	Excavacion y sostenimiento Tramo 01	22/09/22	4/10/2022	12.00	14/10/22	24/10/22	10.00	S	-2.00			-2.00	20.00
6	Excavacion y sostenimiento Tramo 02	07/10/22	19/10/2022	12.00	27/10/22	06/11/22	10.00	S	-2.00			-2.00	18.00
7	Excavacion y sostenimiento Tramo 03	22/10/22	3/11/2022	12.00	09/11/22	19/11/22	10.00	S	-2.00			-2.00	16.00
8	Perforacion de drenaje en roca N° 04	11/11/22	01/12/22	20.00	27/11/22	13/12/22	16.00	S	-4.00			-4.00	12.00
TOTAL									-10.00	20.00	2.00	12.00	

Fuente: Elaboración propia

Figura 16

Análisis de retraso evento 01

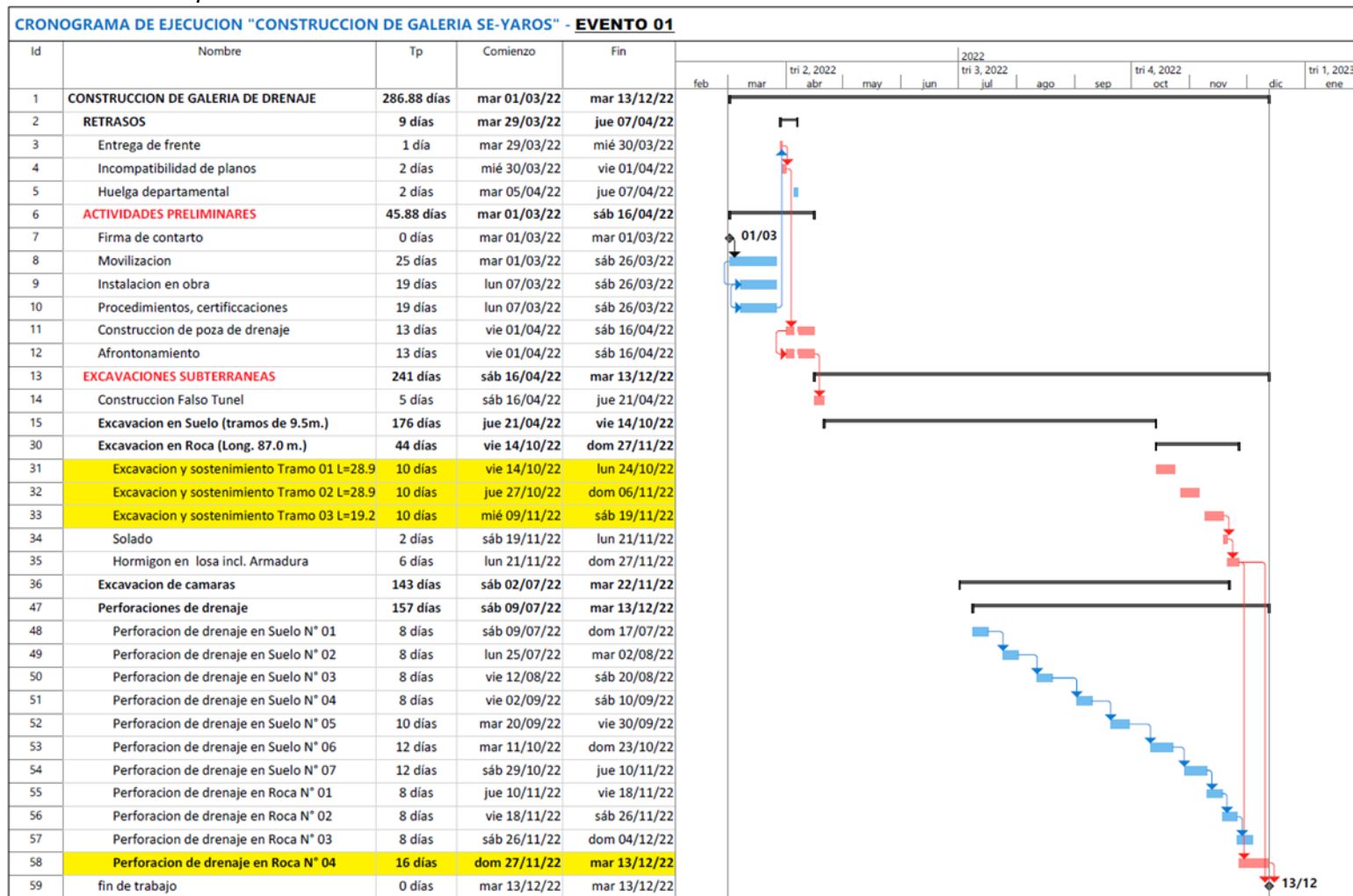


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los criterios de análisis de retrasos que proporciona el AACEi, a estos eventos que generan impacto negativo en tiempo se le denomina fragnet cuando se analiza bajo el escenario de TIA (Time Impact Análisis).

Figura 17

Cronograma incluido retraso por evento 01



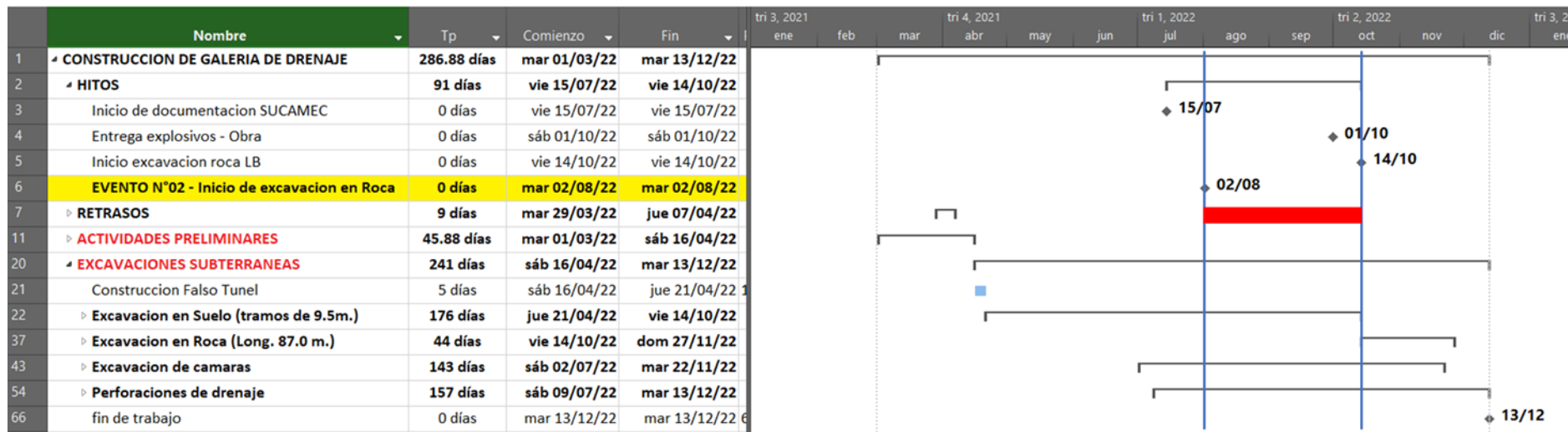
Fuente: Elaboración propia

3.5.2 Evento de atraso 02

De acuerdo con los hitos establecidos para el presente proyecto, se tenía establecido el inicio de excavación en roca a partir de la segunda semana de octubre (14/10/2022), pero esto no sucedió tal como se había establecido en los planos geológicos proporcionados por el cliente. En la figura 18 se observa cuanto tiempo antes de lo previsto se encontró roca en la excavación del túnel.

Figura 18

Análisis de retraso evento 02



Fuente: Elaboración propia

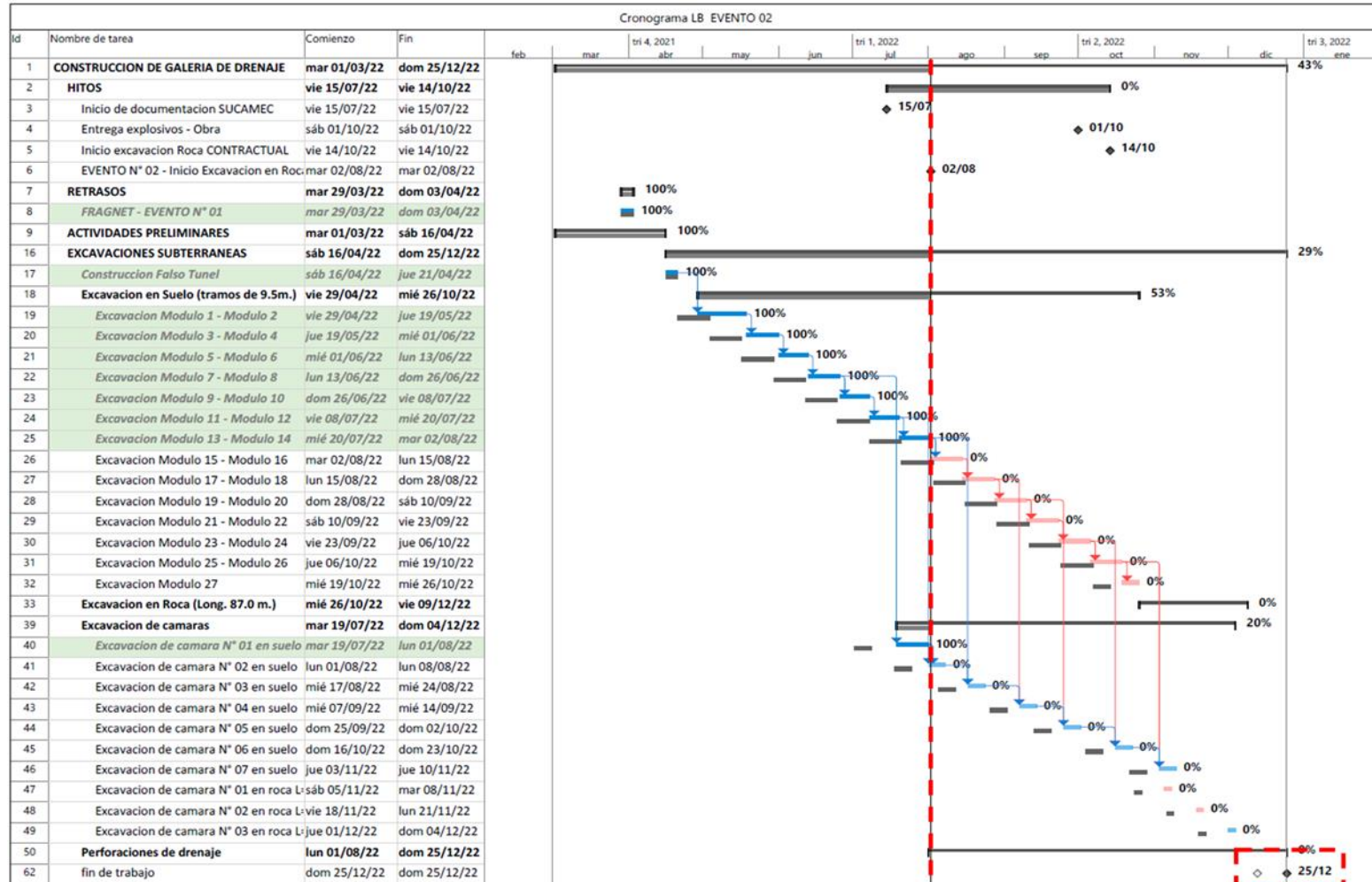
Una vez identificado estos hitos y con la información proporcionada se verifica la situación del proyecto con la fecha de estado del 02 de agosto del 2022, esta fecha es denominada Data Date.

Cuando se realiza el seguimiento y control del cronograma con el Data Date establecido el cual se muestra en la figura 19, ahí se puede observar que hay un atraso en el proyecto de 13 días.

Se realiza este análisis porque hasta esta fecha 02/08/2022 el trabajo se realiza de acuerdo con las condiciones establecidas contractualmente. Además, estos 13 días de atraso son responsabilidad del contratista por lo tanto no genera plazo ni costo extra al cliente.

Figura 19

Cronograma incluido retraso atribuible al contratista



Fuente: elaboración propia

El evento 02, surge a partir de encontrar roca antes de lo establecido en los planos geológicos, se muestra en la figura 20, como la roca va desplazando al suelo, durante la excavación del túnel. La aparición de esta roca ocasiono que el método de excavación variara, porque el abastecimiento de explosivo estaba proyectado su entrega al proyecto hasta el 1/10/2022. Por lo tanto, el impacto en el cronograma se fue evaluando.

Figura 20

Zona de contacto Roca-Suelo



Fuente: Elaboración Propia

La primera evaluación del impacto del evento 02 se realizó el 31/09/2022, tal como se muestra en la figura 21, y se observa una fecha de fin de proyecto el día 18/01/2023 el cual significa 36 días de atraso y esto es solo en tiempo y el análisis en costo deberán determinara la condición económica del proyecto para el contratista.

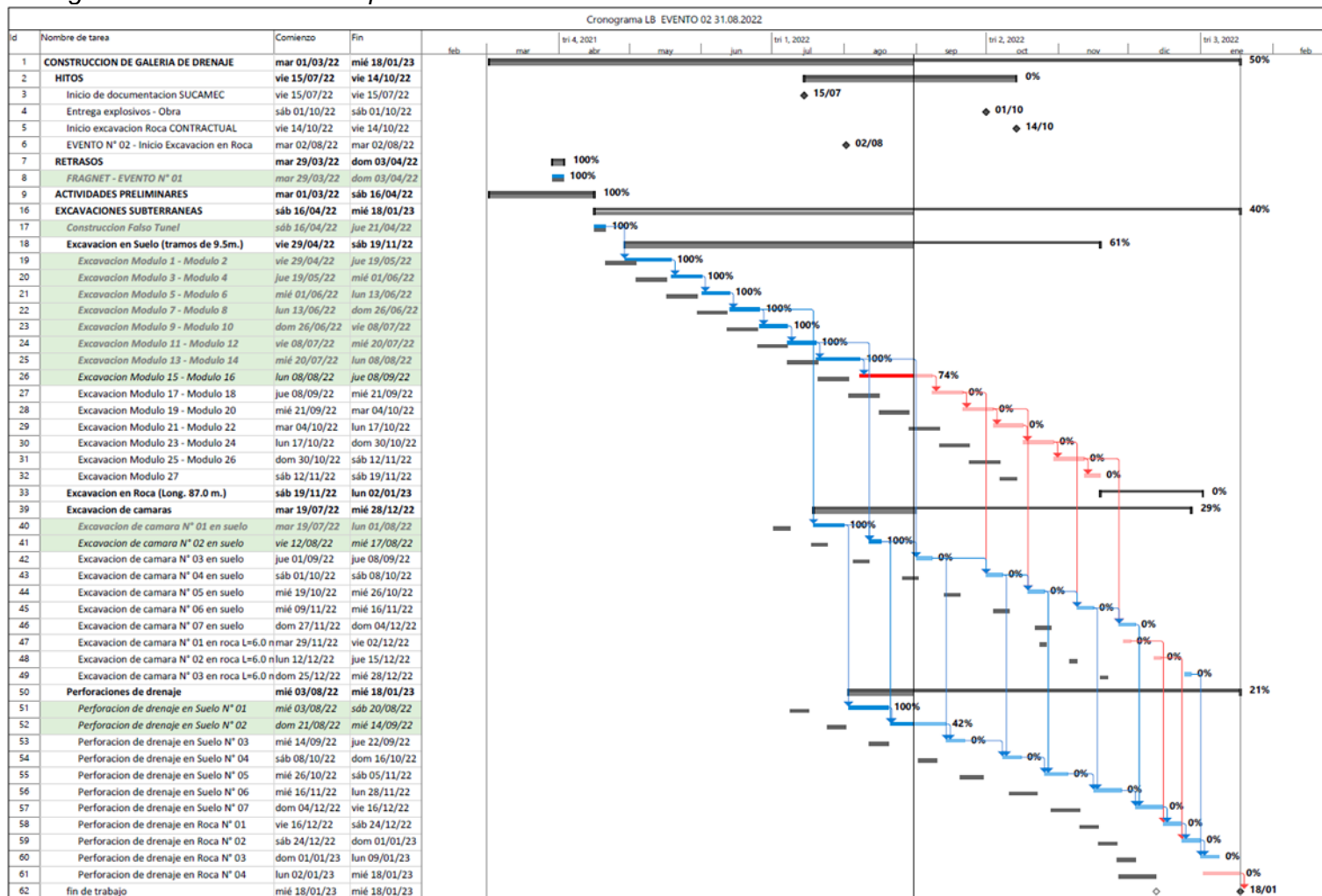
Al no contar con los explosivos para realizar la excavación de túnel en roca y con el fin de no paralizar el proyecto el Contratista continuo con los trabajos en el túnel, utilizando para ello material pirotécnico el cual debido a su naturaleza no requería de permisos especiales por parte de la SUCAMEC por lo tanto su utilización se efectuó de

manera inmediata.

Si bien es cierto esto ayudo a no paralizar el proyecto hasta que llegaran los explosivos, pero se tuvo que sacrificar rendimiento debido que la potencia del pirotécnico es mucho menor que el explosivo y su costo más elevado que un explosivo.

Figura 21

Cronograma de seguimiento incluido retraso por evento 02



Fuente: Elaboración propia

Con este tiempo de atraso y los sobrecostos el proyecto se volvía inviable la continuación para el contratista. Motivo por el cual se solicitó una reunión de urgencia con el cliente para evaluar la sostenibilidad el proyecto.

3.5.3 Evento de atraso 03

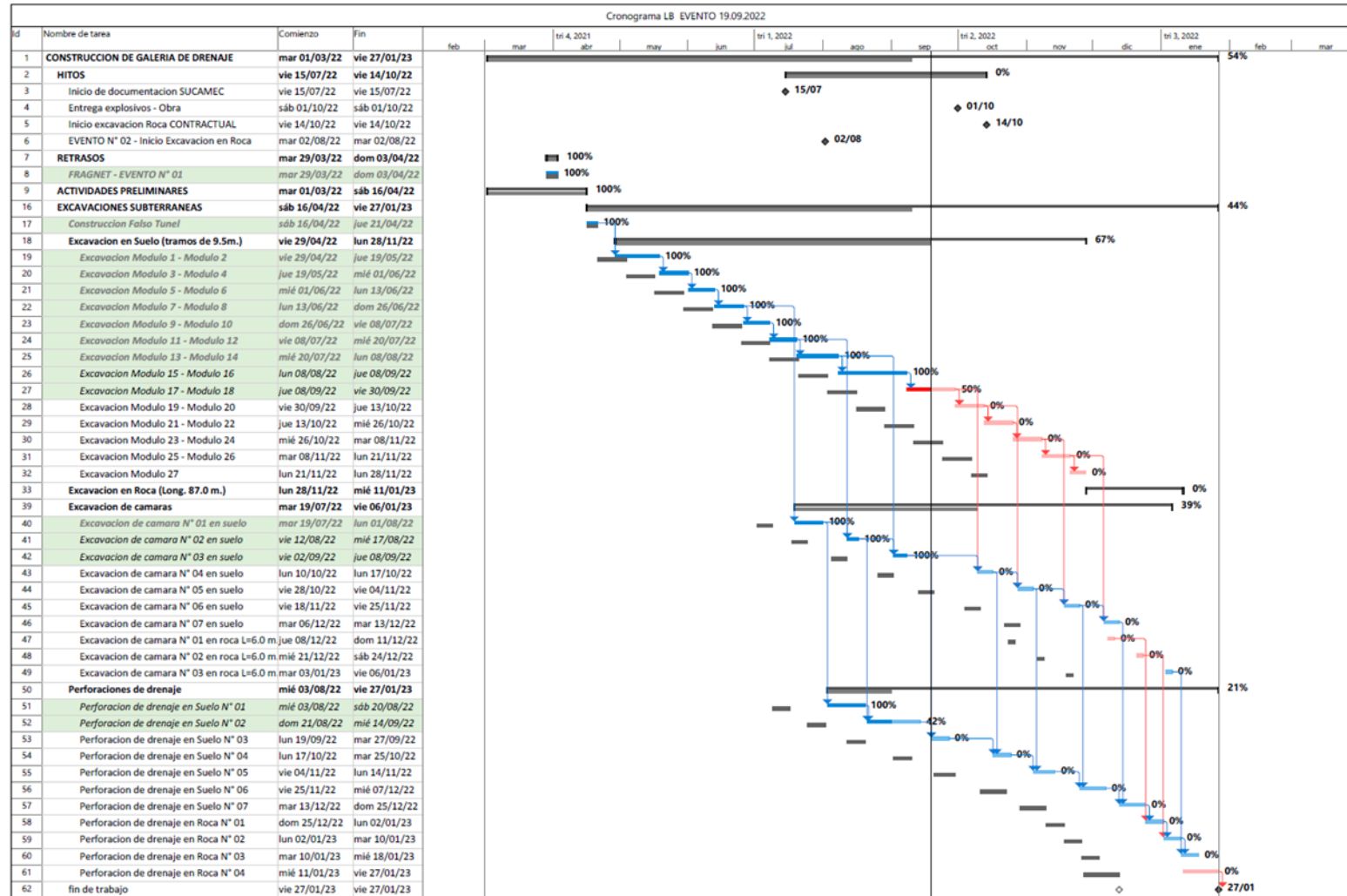
En vista que la geología del proyecto cambio y además que el atraso del proyecto sufrió una variación exponencial con respecto al cronograma línea base, el Cliente opto por presentar un cambio de ingeniería, el cual se discutió (Cliente-Contratista) y se validó mediante los protocolos de gestión de cambio para que nuevamente el proyecto cumpla con el alcance para el que fue diseñado a satisfacción de las partes.

La fecha acordada para el inicio de los trabajos de acuerdo con la nueva ingeniería se realizaría el 19/09/2022.

Esto conllevaba a que hasta esa fecha se realizaría los trabajos tal como se había establecido inicialmente. Tomando como Data Date, el 19/09/2022 se realiza el control del cronograma con la línea base. En la figura 22, se observa que la brecha entre la fecha fin del proyecto real y la fecha fin contractual ha aumentado y ahora es de 45 días. Bajo este escenario y aun sin ver las métricas del valor ganado, se genera el documento de orden de cambio donde se acuerda un cambio de ingeniería.

Figura 22

Cronograma de seguimiento antes del cambio de ingeniería (evento 03)



Fuente: Elaboración propia

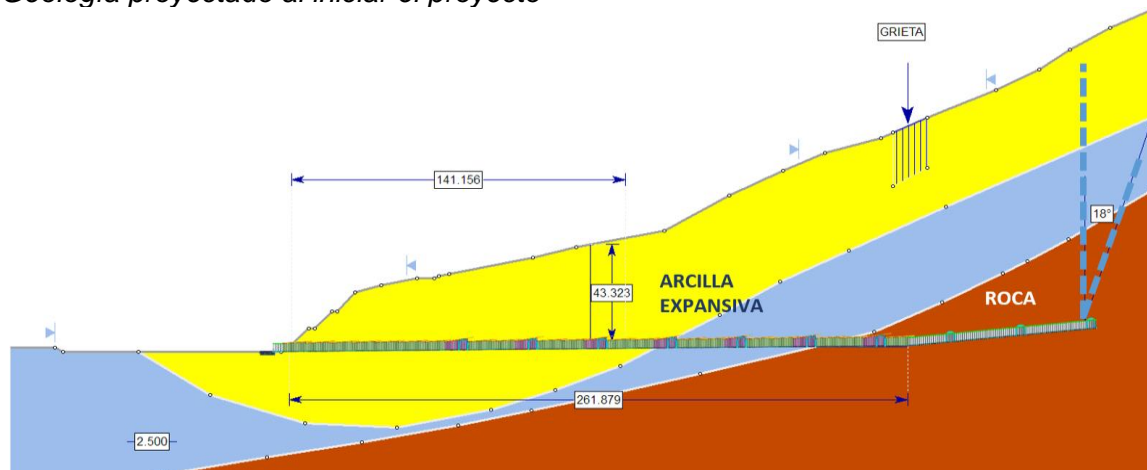
Para tener un mejor entendimiento del cambio de ingeniería debido a las condiciones geológicas, se muestra en la figura 23, las consideraciones iniciales de geología donde la zona rocosa iniciaba después de excavar 260.0 m. en suelo.

Y luego comparamos con la figura 24, se muestra como la geología inferida inicialmente no era la correcta, por tal motivo el material rocoso se encontró aproximadamente a los 140 m. de excavación en suelo.

Si bien es cierto, se realiza un cambio de ingeniería, pero el alcance de la excavación de la galería sigue siendo el mismo, realizar una galería de drenaje que extraiga el agua contenida en el talud a través de las perforaciones de mechas drenantes.

Figura 23

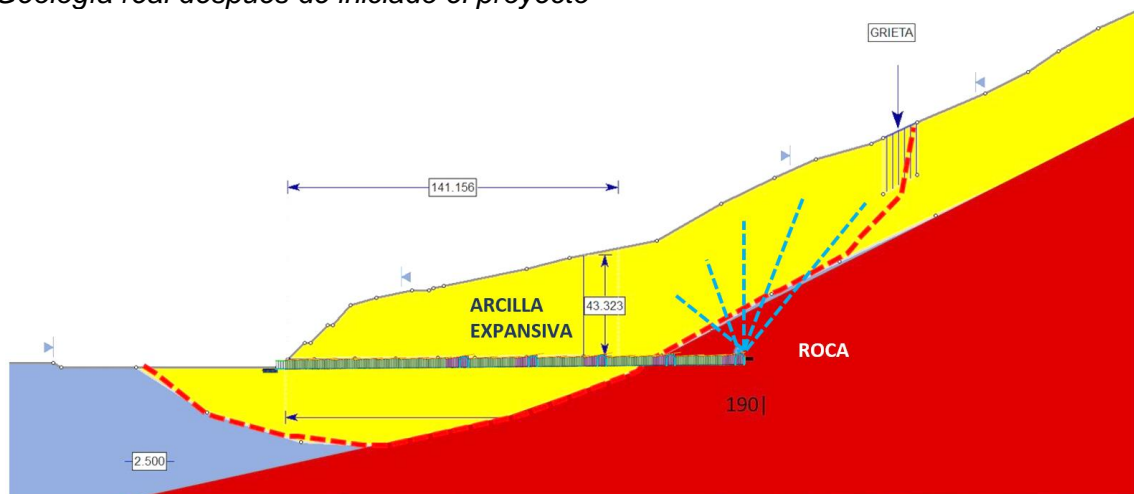
Geología proyectado al iniciar el proyecto



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24

Geología real después de iniciado el proyecto

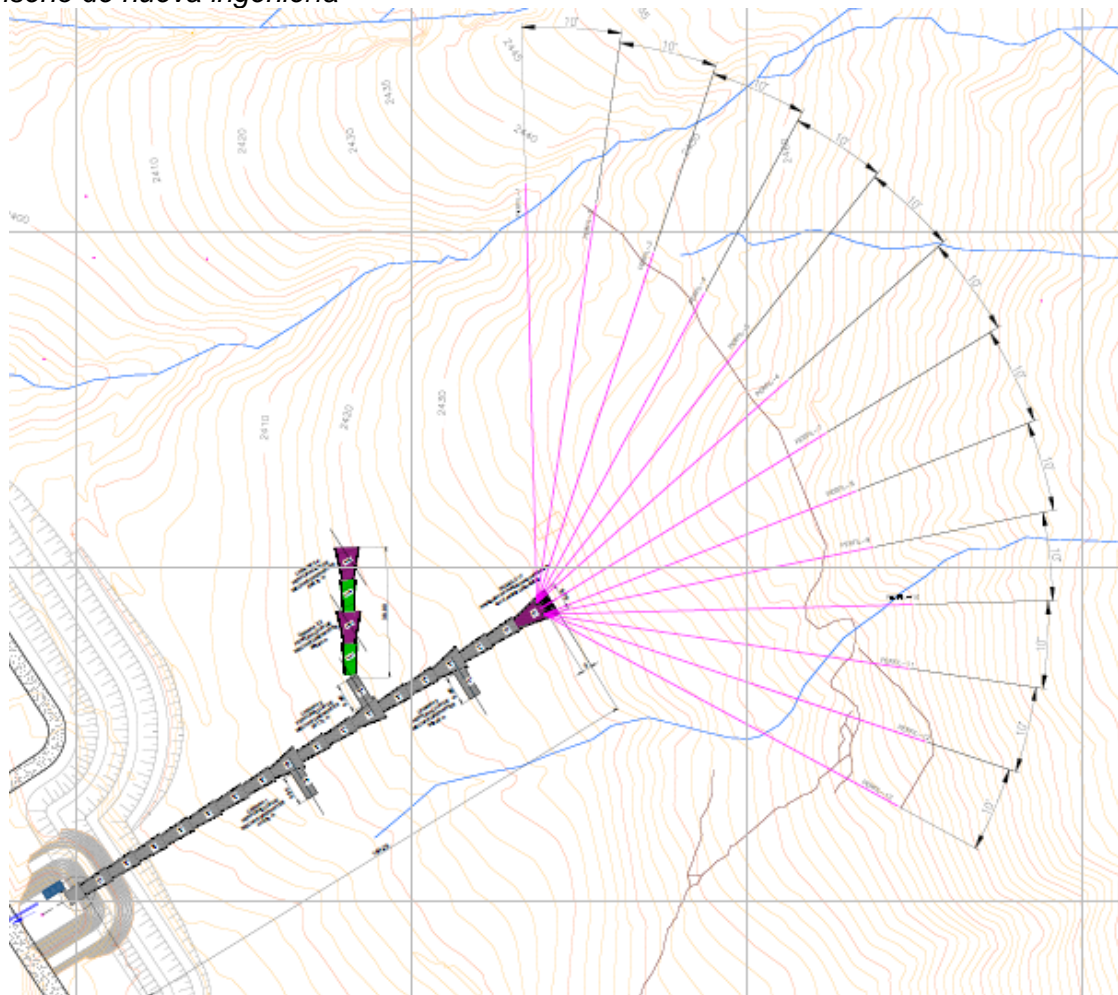


Fuente: Elaboración propia

El nuevo diseño contempla culminar la excavación en la progresiva 0+164.5 m. en el mismo eje longitudinal tal como se observa en la figura 24 e incrementar 38 m. de túnel a partir de la cámara 2, tal como se muestra en la figura 25 y en el último modulo (M-17), se realizarán las perforaciones de mechas drenantes, estas se complementarán con las perforaciones también de mechas drenantes en las nuevas cámaras CA-S2.2 y CA-S2.4, para más detalles ver en los anexos.

Figura 25

Diseño de nueva ingeniería



Fuente: Elaboración propia

El contratista presento un nuevo cronograma con el cambio de ingeniería tal como se muestra en la figura 26, donde se contempla el nuevo frente que se va aperturar a partir de la cámara 2 (CA-S2).

Este nuevo cambio de ingeniería implica una reducción en metros, por lo tanto, el cliente solicita también una reducción del presupuesto del proyecto, este análisis se

realizara por parte del contratista y se presentara al cliente.

También el cliente solicito que el cronograma de ejecución con la nueva ingeniería, la fecha fin de proyecto seria el mismo que estaba establecido el cronograma acordado y este era el 13/12/2022.

El nuevo cronograma presentado al cliente ver la figura 26, está considerando como fecha de termino de obra el 02/01/2023.

A partir de estos nuevos criterios se entró en negociación con el cliente, para definir el nuevo cronograma final contractual revisión 01, donde satisfaga los criterios de las partes (Cliente – Contratista).

El fundamento del nuevo acuerdo de partes se verá en el análisis del proyecto.

3.6 Análisis de la información

Con los datos obtenidos después de procesar la información con los tres eventos que impactaron al cronograma del proyecto, se procede a realizar el análisis de estos impactos en tiempo y costos, para lo cual se utilizara una de las técnicas forense de cronogramas conocido como Time Impact Analysis (TIA) y también las métricas del Valor Ganado.

3.6.1 Análisis de evento de atraso 01

A partir del análisis del evento 01, se determinó una nueva línea base del cronograma el cual fue aceptado por el cliente y se logró determinar una nueva fecha de fin de obra el cual quedo establecido como nueva finalización contractual el 13/12/2022.

Se llego a este acuerdo, bajo las siguientes premisas:

- Identificar las causas de los retrasos
- Definir quién es el dueño del retraso (cliente, contratista)
- Optimizar las actividades de tal manera que la fecha de termino no sobrepase de la quincena de diciembre.
- Bajo ningún escenario se incrementará el costo del proyecto.

Para las causas del retraso se identificaron 3 actividades los cuales se insertaron en la línea base del cronograma (fragnet):

Tabla 10

Cuadro de análisis de atrasos

**ANALISIS DE ATRASOS
TIA - TIME IMPACT ANALYSIS**

ID	Descripción	ATRASOS CRITICOS		
		CON	OWN	NN
		Atrasos del contratista	Atrasos del Owner	Nuetrales (Clima, Huelgas etc)
1	Cambio de logica (Construccion de poza de drenaje, Afrontamiento)		17.00	
2	Entrega de Fente		1.00	
3	Incompatibilidad de Planos		2.00	
4	Huelga Departamental			2.00

CON: Contratista - **OWN:** Cliente - **NN:** Ninguno de los dos

Fuente: Elaboración propia

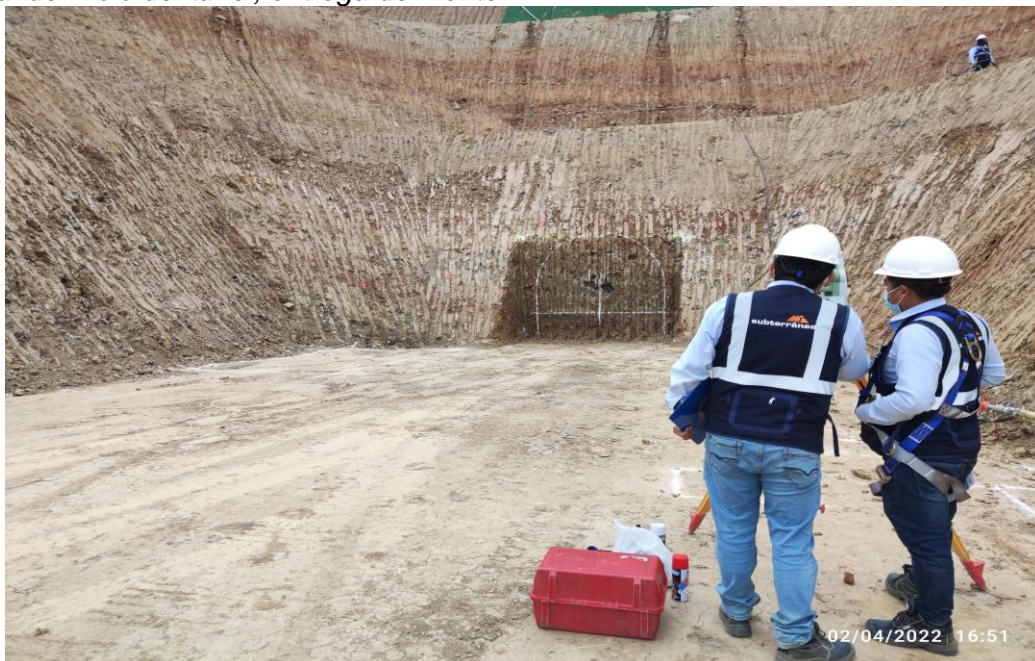
De acuerdo con la tabla 10, se determinó que la entrega del frente es responsabilidad del cliente y su trabajo consistía en conformar el talud para dar inicio al

afrontamiento del túnel tal como se observa en la figura 26. Por lo tanto, este atraso se considera responsabilidad del cliente (OWN). Lo mismo sucedió con el atraso de **incompatibilidad de planos** el cual se demostró en el campo que las coordenadas de inicio de excavación del túnel no coincidían con los planos de construcción, en la figura 27 se observa el replanteo del frente para el inicio de excavación y en la figura 28 el esquema que muestra la diferencia en la coordenadas del proyecto y el real en campo, esta situación también se considera responsabilidad del cliente (OWN), caso contrario sucede con el atraso por **Huelga departamental** el cual se determinó como fuerza mayor (imprevisto inevitable), sin responsabilidad de las partes.

Todos estos nuevos eventos originaron que hubiera un cambio de lógica en la estructura base del cronograma y esto se vio reflejado en las partidas de Poza de drenaje y Afrontamiento tal como se muestra en la Figura 29.

Figura 27

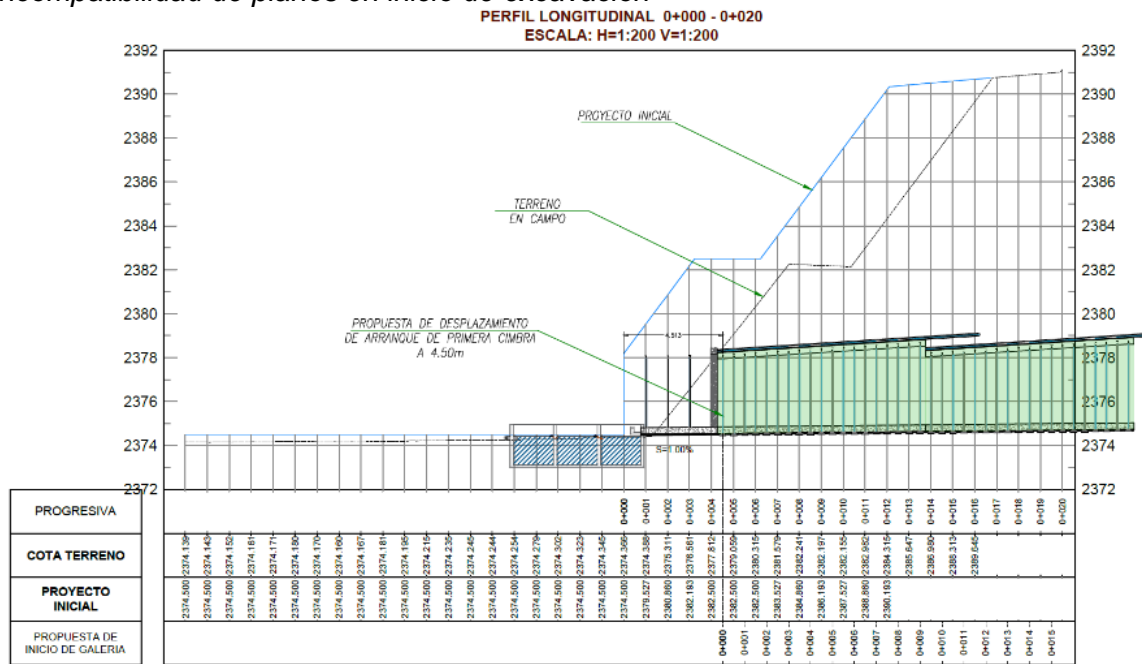
Portal de inicio del túnel, entrega del frente



Fuente: elaboración propia

Figura 28

Incompatibilidad de planos en inicio de excavación



Fuente: Elaboración propia

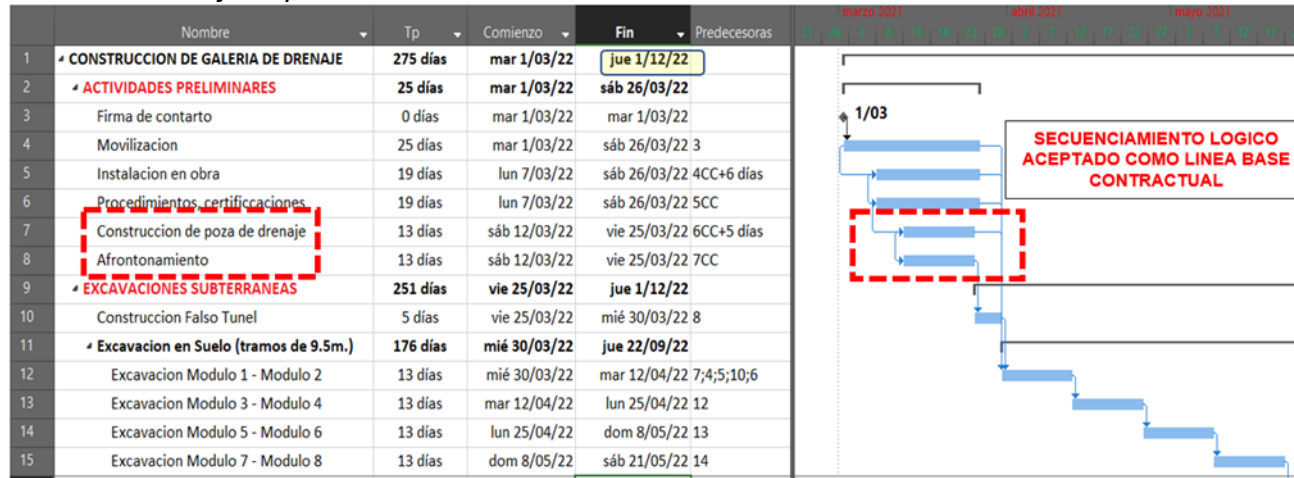
Una vez sustentado los eventos que condujeron a atrasos en el cronograma base en las reuniones semanales de seguimiento y control de obra, se presentó al cliente nuestro nuevo cronograma base el cual mostraba como fecha fin de los trabajos el 23/12/2022, el cual se puede ver en la figura 29.

Es importante indicar que el cliente cuenta con personal asignado en la obra el cual conforma la supervisión del proyecto y a solicitud de ellos manifestaron que el cronograma aún se podría optimizar una vez impactado con los fragnet¹

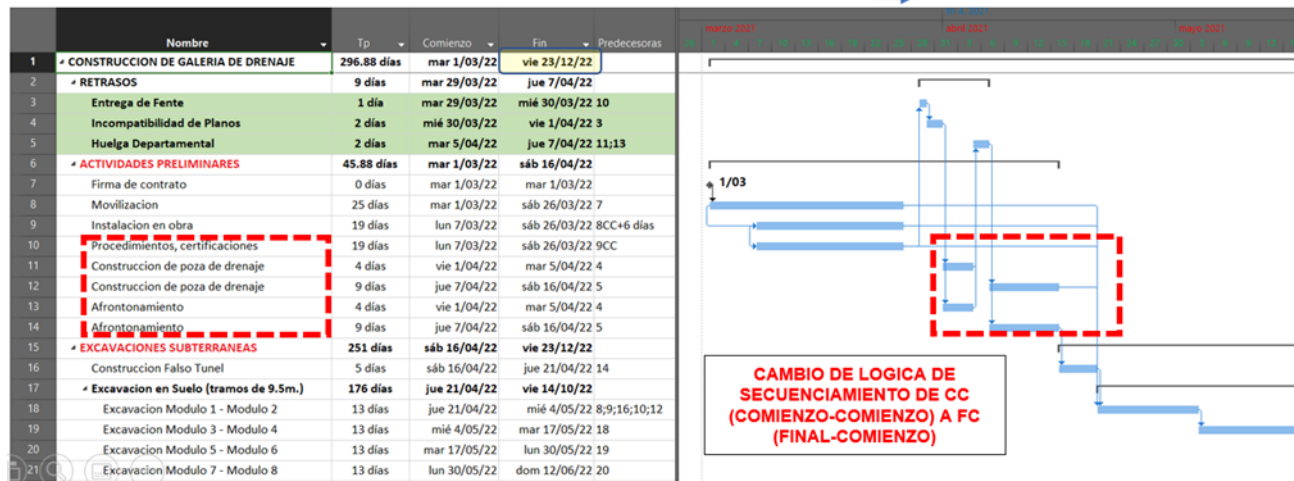
¹ Es un evento inesperado que se ingresa a la línea base del cronograma siguiendo un secuenciamiento lógico y por lo general representa un impacto negativo en el proyecto.

Figura 29

Comparación cronograma Línea Base y Propuesta



Cronograma propuesto para nueva LINEA BASE



Fuente: Elaboración propia

El cliente no aceptó la fecha de fin de obra propuesta por el contratista que era el 23/12/2022, pero se acordó que:

- Es necesario la actualización del cronograma base con los retrasos reportados oportunamente al cliente y la fecha fin no podrá exceder del 15/12/2022.
- La extensión de tiempo será de acuerdo con los criterios de clasificación de atrasos, por lo tanto, se considera que el atraso es excusable, pero sin reconocimiento de costos solo de tiempo.
- El cliente solicita al contratista optimizar su nuevo cronograma línea base presentado.

Definidos este acuerdo cliente-contratista, se presenta un nuevo cronograma donde se optimiza las partidas de excavación en roca y perforación de drenaje en roca, tal como se observa en figura 30, donde la nueva fecha de fin de obra con el evento impactado en el cronograma será el 13/12/2022.

Figura 30

Optimización de cronograma propuesto para nueva Línea Base

CRONOGRAMA PROPUESTO

Id	Nombre	Tp	Comienzo	Fin
1	CONSTRUCCION DE GALERIA DE DRENAJE	296.88 días	mar 1/03/22	vie 23/12/22
2	RETAROSOS	9 días	mar 29/03/22	jue 7/04/22
3	Entrega de Fente	1 día	mar 29/03/22	mié 30/03/22
4	Incompatibilidad de Planos	2 días	mié 30/03/22	vie 1/04/22
5	Huelga Departamental	2 días	mar 5/04/22	jue 7/04/22
6	ACTIVIDADES PRELIMINARES	45.88 días	mar 1/03/22	sáb 16/04/22
7	Firma de contrato	0 días	mar 1/03/22	mar 1/03/22
8	Movilizacion	25 días	mar 1/03/22	sáb 26/03/22
9	Instalacion en obra	19 días	lun 7/03/22	sáb 26/03/22
10	Procedimientos, certificaciones	19 días	lun 7/03/22	sáb 26/03/22
11	Construccion de poza de drenaje	4 días	vie 1/04/22	mar 5/04/22
12	Construccion de poza de drenaje	9 días	jue 7/04/22	sáb 16/04/22
13	Afrontonamiento	4 días	vie 1/04/22	mar 5/04/22
14	Afrontonamiento	9 días	jue 7/04/22	sáb 16/04/22
15	EXCAVACIONES SUBTERRANEAS	251 días	sáb 16/04/22	vie 23/12/22
16	Construccion Falso Tunnel	5 días	sáb 16/04/22	jue 21/04/22
17	Excavacion en Suelo (tramos de 9.5m.)	176 días	jue 21/04/22	vie 14/10/22
32	Excavacion en Roca (Long. 87.0 m.)	50 días	vie 14/10/22	sáb 3/12/22
33	Excavacion y sostenimiento Tramo 01 L	12 días	vie 14/10/22	mié 26/10/22
34	Excavacion y sostenimiento Tramo 02 L	12 días	sáb 29/10/22	jue 10/11/22
35	Excavacion y sostenimiento Tramo 03 L	12 días	dom 13/11/22	vie 25/11/22
36	Solado	2 días	vie 25/11/22	dom 27/11/22
37	Hormigon en losa incl. Armadura	6 días	dom 27/11/22	sáb 3/12/22
38	Excavacion de camaras	149 días	sáb 2/07/22	lun 28/11/22
49	Perforaciones de drenaje	167 días	sáb 9/07/22	vie 23/12/22
50	Perforacion de drenaje en Suelo N° 01	8 días	sáb 9/07/22	dom 17/07/22
51	Perforacion de drenaje en Suelo N° 02	8 días	lun 25/07/22	mar 2/08/22
52	Perforacion de drenaje en Suelo N° 03	8 días	vie 12/08/22	sáb 20/08/22
53	Perforacion de drenaje en Suelo N° 04	8 días	vie 2/09/22	sáb 10/09/22
54	Perforacion de drenaje en Suelo N° 05	10 días	mar 20/09/22	vie 30/09/22
55	Perforacion de drenaje en Suelo N° 06	12 días	mar 11/10/22	dom 23/10/22
56	Perforacion de drenaje en Suelo N° 07	12 días	sáb 29/10/22	jue 10/11/22
57	Perforacion de drenaje en Roca N° 01	8 días	jue 10/11/22	vie 18/11/22
58	Perforacion de drenaje en Roca N° 02	8 días	vie 18/11/22	sáb 26/11/22
59	Perforacion de drenaje en Roca N° 03	8 días	lun 28/11/22	mar 6/12/22
60	Perforacion de drenaje en Roca N° 04	20 días	sáb 3/12/22	vie 23/12/22
61	fin de trabajo	0 días	vie 23/12/22	vie 23/12/22

CRONOGRAMA ACEPTADO POR CLIENTE

Id	Nombre	Tp	Comienzo	Fin
1	CONSTRUCCION DE GALERIA DE DRENAJE	286.88 días	mar 1/03/22	mar 13/12/22
2	RETAROSOS	5 días	mar 29/03/22	dom 3/04/22
3	FRAGNET - EVENTO N° 01	5 días	mar 29/03/22	dom 3/04/22
4	ACTIVIDADES PRELIMINARES	45.88 días	mar 1/03/22	sáb 16/04/22
5	Firma de contarto	0 días	mar 1/03/22	mar 1/03/22
6	Movilizacion	25 días	mar 1/03/22	sáb 26/03/22
7	Instalacion en obra	19 días	lun 7/03/22	sáb 26/03/22
8	Procedimientos, certificaciones	19 días	lun 7/03/22	sáb 26/03/22
9	Construccion de poza de drenaje	13 días	dom 3/04/22	sáb 16/04/22
10	Afrontonamiento	13 días	dom 3/04/22	sáb 16/04/22
11	EXCAVACIONES SUBTERRANEAS	241 días	sáb 16/04/22	mar 13/12/22
12	Construccion Falso Tunnel	5 días	sáb 16/04/22	jue 21/04/22
13	Excavacion en Suelo (tramos de 9.5m.)	176 días	jue 21/04/22	vie 14/10/22
28	Excavacion en Roca (Long. 87.0 m.)	44 días	vie 14/10/22	dom 27/11/22
29	Excavacion y sostenimiento Tramo 01 L=28.90	10 días	vie 14/10/22	lun 24/10/22
30	Excavacion y sostenimiento Tramo 02 L=28.90	10 días	jue 27/10/22	dom 6/11/22
31	Excavacion y sostenimiento Tramo 03 L=19.20	10 días	mié 9/11/22	sáb 19/11/22
32	Solado	2 días	sáb 19/11/22	lun 21/11/22
33	Hormigon en losa incl. Armadura	6 días	lun 21/11/22	dom 27/11/22
34	Excavacion de camaras	143 días	sáb 2/07/22	mar 22/11/22
45	Perforaciones de drenaje	157 días	sáb 9/07/22	mar 13/12/22
46	Perforacion de drenaje en Suelo N° 01	8 días	sáb 9/07/22	dom 17/07/22
47	Perforacion de drenaje en Suelo N° 02	8 días	lun 25/07/22	mar 2/08/22
48	Perforacion de drenaje en Suelo N° 03	8 días	vie 12/08/22	sáb 20/08/22
49	Perforacion de drenaje en Suelo N° 04	8 días	vie 2/09/22	sáb 10/09/22
50	Perforacion de drenaje en Suelo N° 05	10 días	mar 20/09/22	vie 30/09/22
51	Perforacion de drenaje en Suelo N° 06	12 días	mar 11/10/22	dom 23/10/22
52	Perforacion de drenaje en Suelo N° 07	12 días	sáb 29/10/22	jue 10/11/22
53	Perforacion de drenaje en Roca N° 01	8 días	jue 10/11/22	vie 18/11/22
54	Perforacion de drenaje en Roca N° 02	8 días	vie 18/11/22	sáb 26/11/22
55	Perforacion de drenaje en Roca N° 03	8 días	sáb 26/11/22	dom 4/12/22
56	Perforacion de drenaje en Roca N° 04	16 días	dom 27/11/22	mar 13/12/22
57	fin de trabajo	0 días	mar 13/12/22	mar 13/12/22

Fuente: Elaboración propia

De este evento de atraso N° 01, se logra acordar con el cliente la nueva línea base del cronograma y este pasa a ser un documento contractual. El nuevo cronograma acordado se puede ver en la figura 17.

3.6.2 Análisis del evento 02

El evento N° 02, surge a raíz de una inadecuada interpretación geológica por parte del área de ingeniería del cliente.

Por lo cual el contratista presenta una alerta temprana el día 02/08/2022, donde comunica al cliente, que se encontró roca durante la excavación del frente mucho antes de lo que estaba establecido contractualmente, se puede ver en la figura 31, donde hay una brecha que es aproximadamente de 2.5 meses antes.

Figura 31

Cronograma de Hitos – Línea Base

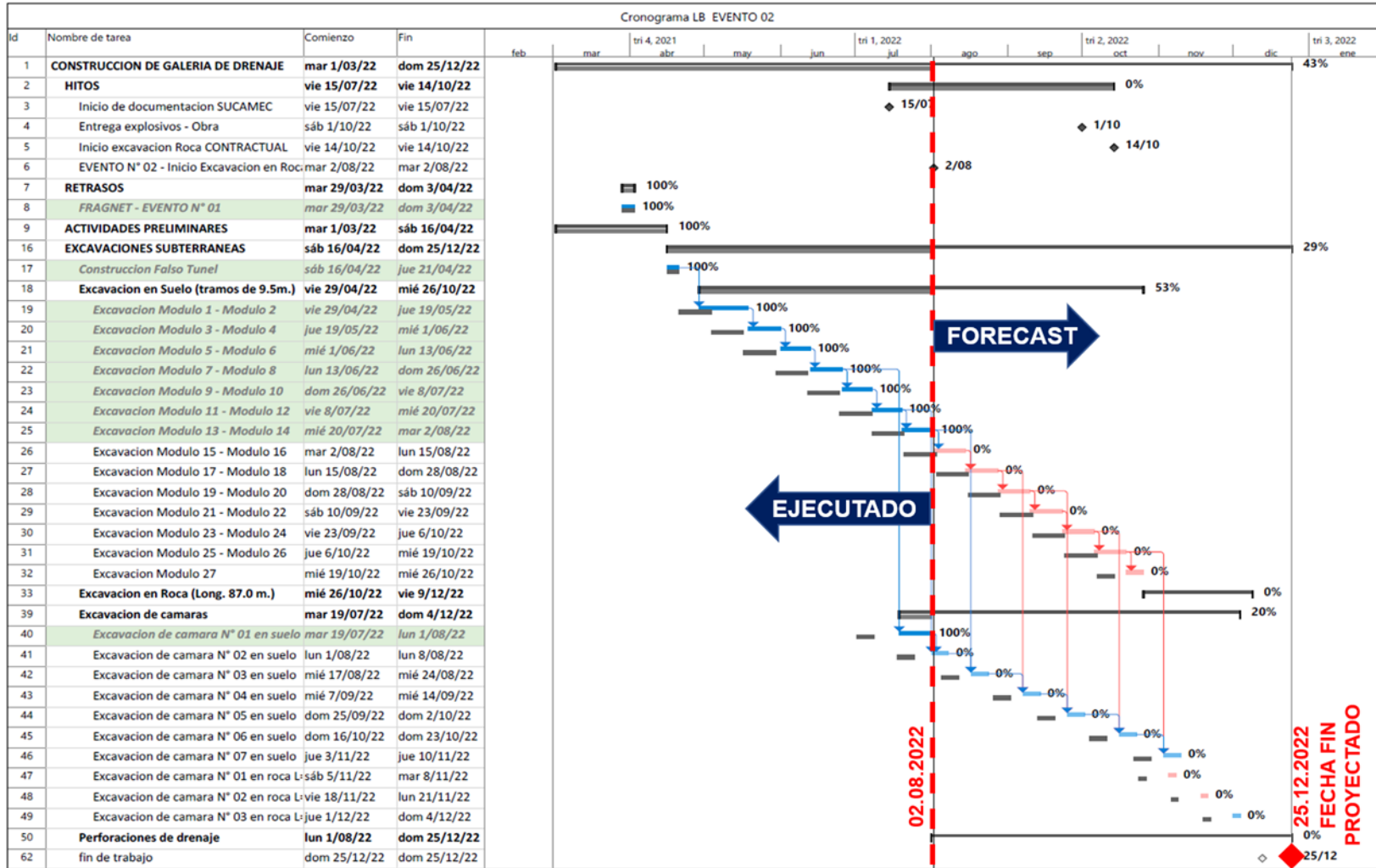


Fuente: Elaboración propia

3.6.2.1 Situación del proyecto al 02/08/2022. Una vez identificado el evento no previsto, se evalúa el estatus del proyecto a la fecha (data date 02.08.2022) para determinar los parámetros de desempeño del proyecto con lo cual vamos a iniciar este nuevo escenario.

Figura 32

Cronograma de seguimiento y control al 02/08/2022



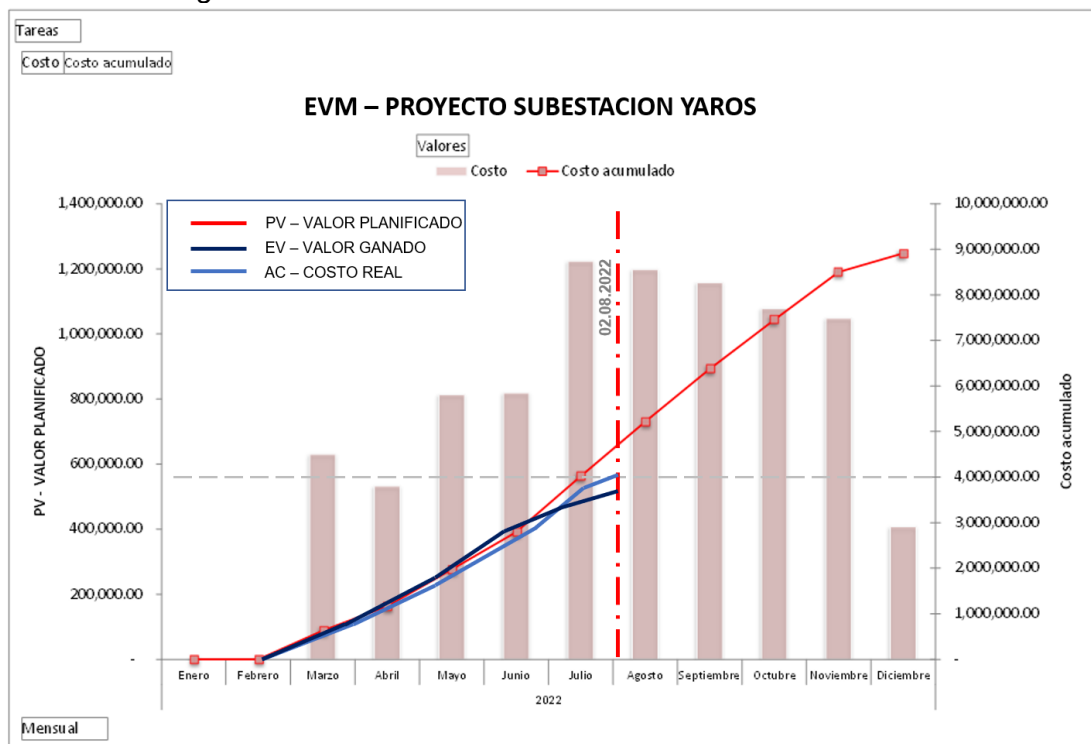
Fuente: Elaboración propia

A la fecha de corte (data date 02.08.2022) se tiene un atraso de 13 días, el cual es atribuible al contratista y además como la excavación no se va a realizar en suelo ya no se podrá establecer el plan de contingencia planeado para la recuperación del tiempo.

Por esta razón, la gestión del valor ganado nos permitirá determinar las métricas de rendimiento del proyecto en cuanto a costo y cronograma, esto se observa en la figura 33 donde se identifica el EV, PV, AC, SPI y CPI.

Figura 33

Gestión del valor ganado al 02/08/2022



Fuente: Elaboración propia

A partir de la figura 33, se determina los datos del valor ganado. Y se determina que a la fecha (02/08/2022), se tiene un CPI (índice de desempeño del costo) de 0.96 con un SPI (índice de desempeño de cronograma) de 0.88, esto nos indica que el proyecto está usando un mayor costo que el presupuestado el cual quiere decir que existe sobrecosto y con respecto al tiempo (cronograma) el proyecto está atrasado, estos valores se reflejan en la tabla 11.

Estos datos son el punto de partida para el evento N° 02, se continuará con la excavación del túnel sin usar explosivos (a esta fecha no se cuenta con este producto), se

usarán medios mecánicos y con la ayuda de un producto pirotécnico.

Tabla 11

Métricas de desempeño del proyecto al 02/08/2022

DATA DATE		02.08.2022		FECHA DE ANALISIS				
FECHA FIN REAL		25/12/2022						
FECHA FIN CONTRACTUAL		13/12/2022						
ATRASO		-12.00 días						
ITEM	%	COSTOS		INDICE DE RENDIMIENTO		VARIACIONES		
Avance Real	43	BAC x % Avance Real	3,832,299.13	EV	CPI= EV/AC	0.96	CV= EV-AC	-168,736.52
Avance Planificado	49	BAC x % Avance Planificado	4,367.038.55	PV	SPI= EV/PV	0.88	SV = EV-PV	-534,739.41
Costo Real			4,001,035.65	AC	PCPI= 1.03			
BAC = Bugdet at Completion		8,912,323.57	US\$					

Fuente: Elaboración propia

3.6.2.2. Situación del proyecto al 31/08/2022. A solicitud del contratista se enviaron los datos de la situación del proyecto, una vez identificado el evento no previsto, se evalúa el estatus a la fecha (data date 31.08.2022) de tal manera que se identifique el impacto a través de los parámetros de desempeño del proyecto.

En la figura 34, se observa que el tiempo de atraso del proyecto el cual se ha incrementado con respecto al anterior periodo de análisis y se ha llegado a acumular 36 días más de la fecha final proyectada.

Además, es conocimiento del cliente que este escenario negativo se da porque el estudio inicial de geología no guarda relación con lo encontrado realmente durante la excavación del túnel. (causa del atraso: ingeniería de detalle deficiente).

De seguir con este ritmo de trabajo el proyecto se volverá inviable para el contratista, por el excesivo consumo de recursos y metodología constructiva no adecuada para el escenario actual (no se cuenta con explosivos).

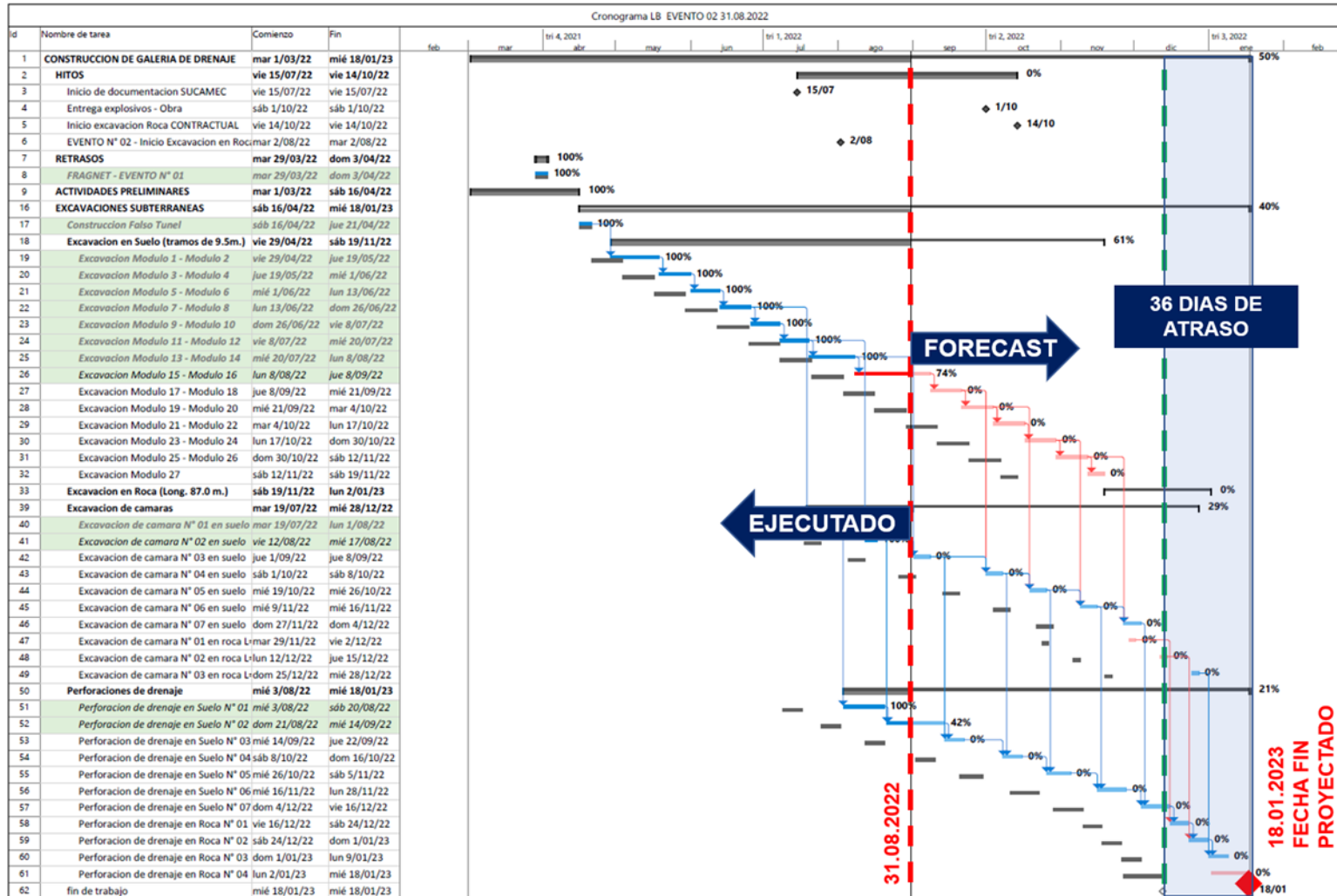
Se presenta un informe de las pérdidas económicas presentadas debido al evento de atraso 02 y se conmina al cliente una respuesta pronta antes de evaluar una resolución del contrato por parte del contratista.

En la figura 35, se observa como la curva de costo real se incrementa de manera

acelerada y en la tabla 12, la variación de costo se ha duplicado con respecto al análisis de inicio del evento 02.

Figura 34

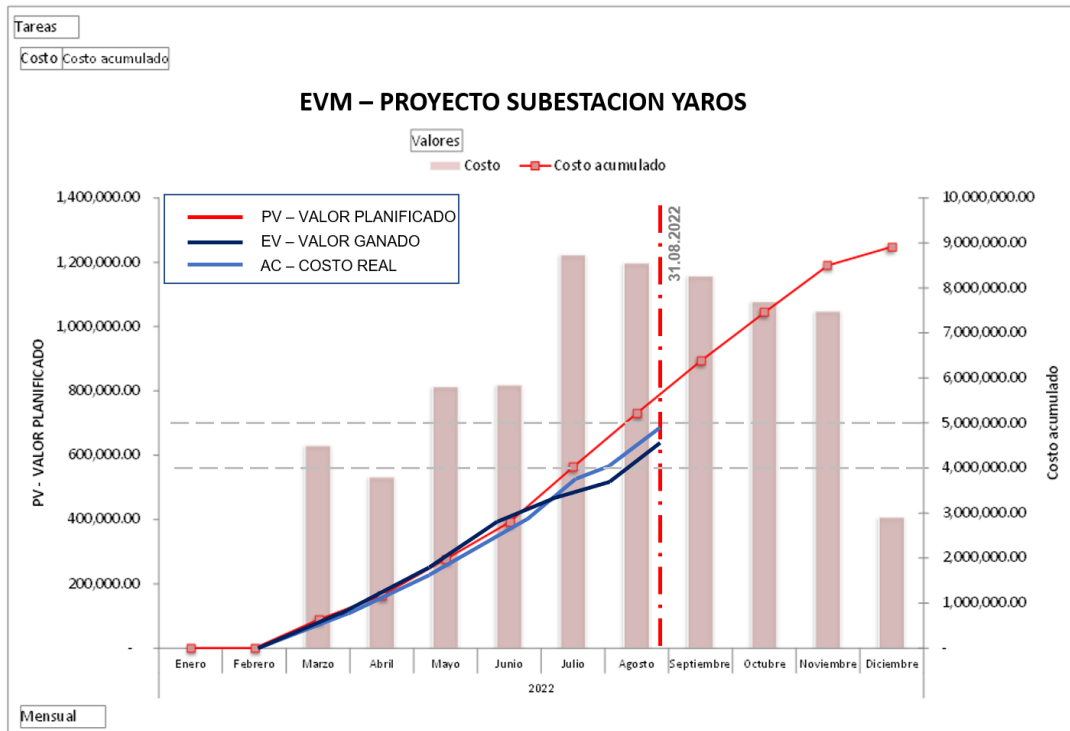
Cronograma de seguimiento y control al 31/08/2022



Fuente: Elaboración propia

Figura 35

Gestión del valor ganado al 31/08/2022



Fuente: Elaboración propia

Tabla 12

Métricas de desempeño del proyecto al 31/09/2022

DATA DATE	31.08.2022	FECHA DE ANALISIS						
FECHA FIN REAL	18/01/2023							
FECHA FIN CONTRACTUAL	13/12/2022							
ATRASO	-36.00 días							
ITEM	%	COSTOS		INDICE DE RENDIMIENTO		VARIACIONES		
Avance Real	50	BAC x % Avance Real	4,456,161.78	EV	CPI= EV/AC	0.93	CV= EV-AC	-347,294.45
Avance Planificado	59	BAC x % Avance Planificado	5,258,270.90	PV	SPI= EV/PV	0.85	SV = EV-PV	-802,109.12
Costo Real			4,803,456.23	AC	TCPI= EV/AC	1.08		
BAC = Budget at Completion		8,912,323.57	US\$					

Fuente: Elaboración propia

Las métricas de desempeño del proyecto de la tabla 12, nos muestra un escenario desfavorable para la continuación del proyecto.

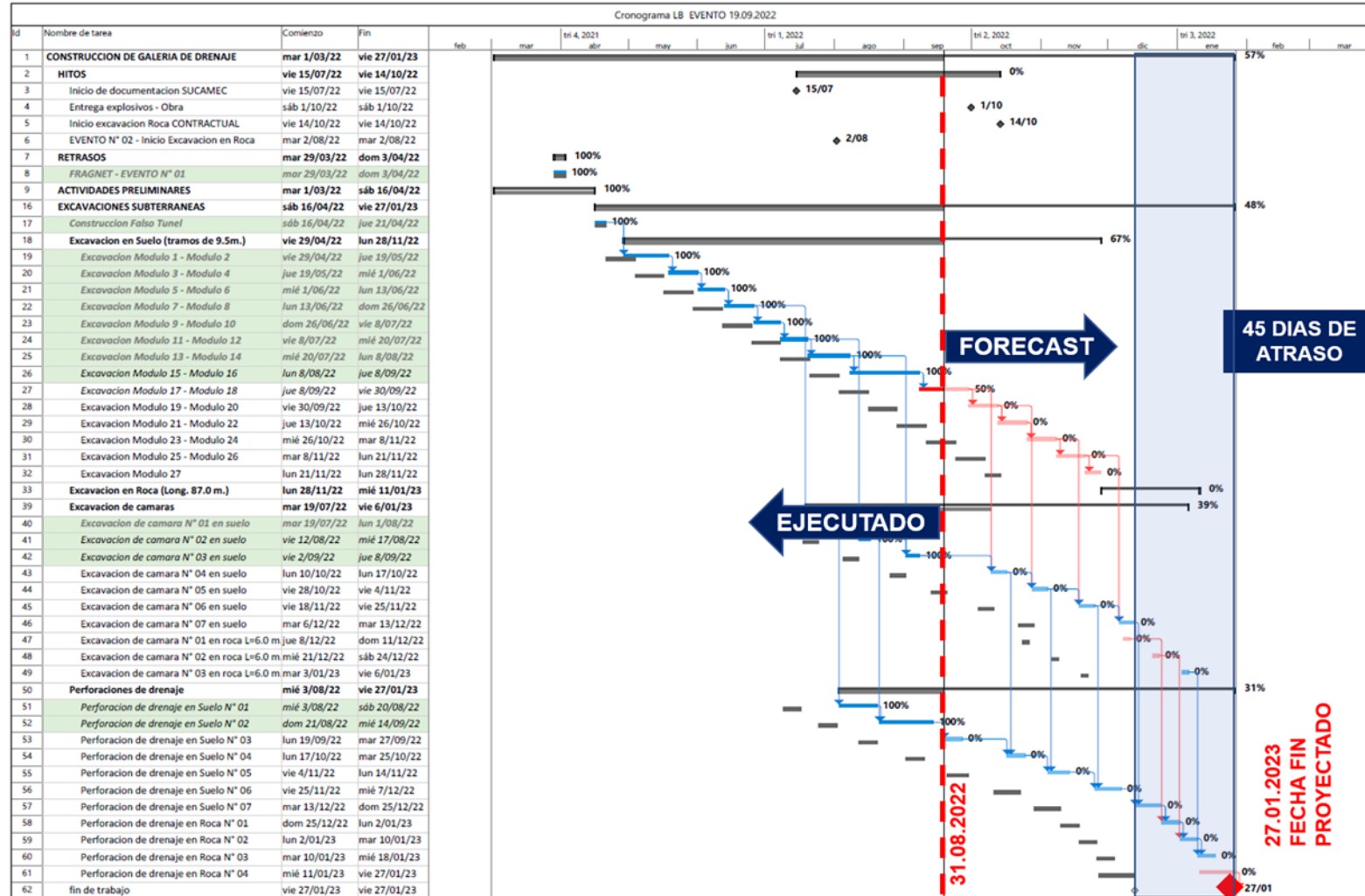
3.6.3 Análisis de evento de atraso 03

A raíz que el proyecto se volvía inviable, por las consideraciones vistas líneas atrás, el cliente propone un cambio de ingeniería. La fecha de inicio de actividades con esta

nueva ingeniería tendrá como hito de inicio el 19/09/2022. Por lo tanto, en esta fecha se realiza la actualización del cronograma de seguimiento y control. Ver figura 36.

Figura 36

Cronograma de seguimiento y control al 19/09/2022

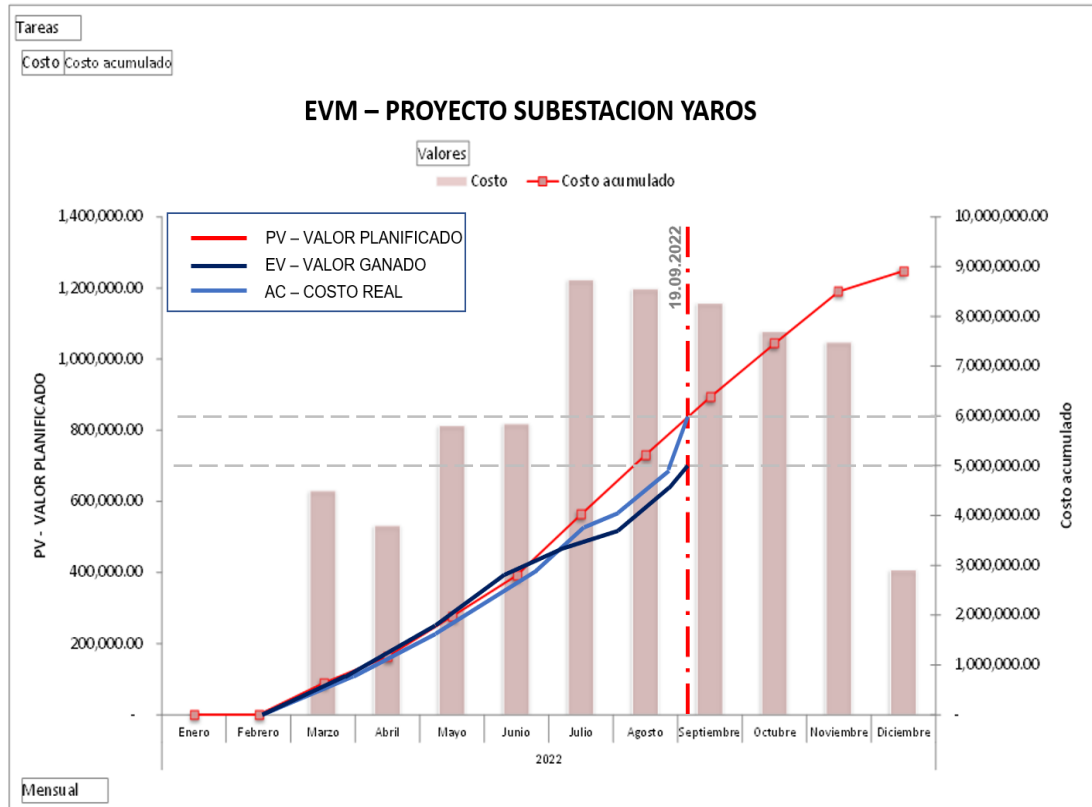


Fuente: Elaboración propia

Las métricas del valor ganado indican que a la fecha el proyecto tiene sobrecosto y está atrasado en 45 días. Los valores del valor ganado que se muestra en la figura 37, indican un aceleramiento en el costo real y un valor ganado en desaceleración con respecto a las mediciones anteriores.

Figura 37

Gestión del valor ganado al 19/09/2022



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 indica que el índice de desempeño del trabajo por completar (TCPI) tiene un valor de 1.27, el cual indica que se tiene que ejercer un esfuerzo de 27% por encima de la planificación original esto implica mayores recursos y mano de obra.

Tabla 13*Métricas del desempeño del proyecto al 19/09/2022*

DATA DATE		19.09.2022		FECHA DE ANALISIS				
FECHA FIN REAL		27/01/2023						
FECHA FIN CONTRACTUAL		13/12/2022						
ATRASO		-45.00 días						
ITEM	%	COSTOS		INDICE DE RENDIMIENTO		VARIACIONES		
Avance Real	57	BAC x % Avance Real	5,080,024.43	EV	CPI= EV/AC	0.86	CV= EV-AC	-818,610.69
Avance Planificado	66	BAC x % Avance Planificado	5,882,133.55	PV	SPI= EV/PV	0.86	SV = EV-PV	-802,109.12
Costo Real			5,898,635.12	AC	TCPI=	1.27		
BAC = Bugdet at Completion		8,912,323.57	US\$					

Fuente: Elaboración propia

Entonces, con el nuevo cambio de ingeniería presentado por el cliente se procede realizar los análisis de costos y tiempo para generar el documento de gestión de cambio y determinar los nuevos lineamientos del proyecto que permitan la ejecución óptima del trabajo. Por lo tanto, se presentará un nuevo cronograma conciliado por las partes y actualización de los costos los cuales serán los nuevos documentos contractuales y se validarán en una adenda al contrato.

Para más detalles sobre el cambio de ingeniería ver en los anexos, donde se presentan los planos de construcción.

3.6.3.1 Actualización de costos al 19/09/2022. El cambio de ingeniería implica una reducción de metrados tal como se observa en la tabla 14 y siguiendo el mismo análisis también el costo del proyecto se vería disminuido en 2,229,647.40 US\$. Realizar un análisis de esta manera no refleja la situación real del proyecto, porque en cuadros anteriores se han determinado las métricas de rendimiento del proyecto el cual se muestra desfavorable.

Tabla 14

Cuadro actualizado de actividades – Nueva Ingeniería

Nombre	Sub-Total a Ejecutar Contractual (Proyecto Inicial)	Sub-Total a Ejecutar Nueva Ingeniería	Total a Ejecutar REDISEÑO 01
CONSTRUCCION DE GALERIA DE DRENAJE	\$5,697,634.09	\$985,042.08	\$6,682,676.17
ACTIVIDADES PRELIMINARES	\$769,060.00		
Movilizacion	\$137,252.36		
Instalacion en obra	\$344,456.73		
Procedimientos, certificaciones	\$148,850.91		
Construccion de poza de drenaje	\$21,250.00		
Construccion de poza de drenaje	\$21,250.00		
Afrontonamiento	\$48,000.00		
Afrontonamiento	\$48,000.00		
EXCAVACIONES SUBTERRANEAS	\$4,928,574.09		
Construccion Falso Tunel	\$133,133.53		
Excavacion en Suelo (tramos de 9.5m.)	\$3,014,820.63		
Excavacion Modulo 1 - Modulo 2	\$339,489.27		
Excavacion Modulo 3 - Modulo 4	\$339,489.27		
Excavacion Modulo 5 - Modulo 6	\$339,489.27		
Excavacion Modulo 7 - Modulo 8	\$366,779.73		
Excavacion Modulo 9 - Modulo 10	\$339,489.27		
Excavacion Modulo 11 - Modulo 12	\$366,779.73		
Excavacion Modulo 13 - Modulo 14	\$366,779.73		
Excavacion Modulo 15 - Modulo 16	\$339,489.27		
Excavacion Modulo 17	\$217,035.09		
Excavacion de camaras	\$423,132.18	\$825,238.08	
Excavacion de camara N° 01 en suelo CA-S01	\$141,044.06		
Excavacion de camara N° 02 en suelo CA-S02	\$141,044.06		
Excavacion de camara N° 03 en suelo CA-S03	\$141,044.06		
Excavacion de camara N° 04 en suelo CA-S02		\$91,678.64	
ENTRONQUE			
Excavacion de camara N° 05 CA-S2.1		\$169,744.63	
Excavacion de camara N° 06 CA-S2.2		\$197,035.09	
Excavacion de camara N° 07 CA-S2.3		\$169,744.63	
Excavacion de camara N° 08 CA-S2.4		\$197,035.09	
Perforaciones de drenaje	\$1,357,487.75		
Perforacion de drenaje en Suelo N° 01 CA-S01	\$59,392.77		
Perforacion de drenaje en Suelo N° 02 CA-S02	\$75,984.44		
Perforacion de drenaje N° 03 CA-S03	\$92,747.61		
Perforacion de drenaje N° 03 CA-S2.2	\$45,244.83		
Perforacion de drenaje N° 03 CA-S2.4	\$46,459.55		
Perforacion de drenaje Modulo 17	\$1,037,658.55		
Otras Actividades		\$159,804.00	
Recubrimiento de shotcrete en modulos		\$159,804.00	

Fuente: elaboración propia

El cliente, opto por un análisis simplificado del proyecto ante el nuevo cambio de ingeniería y propuso el siguiente cuadro (ver tabla 15)

Tabla 15*Cuadro nuevo presupuesto según CLIENTE*

	PROYECTO INICIAL US\$	TOTAL DE PROYECTO - ANTES DE NUEVA INGENIERIA	TOTAL NUEVA INGENIERIA	ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO
TOTAL COSTO DIRECTO	\$8,912,323.57	\$5,697,634.09	\$985,042.08	\$6,682,676.17
GASTOS GENERALES	\$3,017,629.64	\$3,017,629.64		\$3,017,629.64
UTILIDAD	\$1,192,995.32	\$1,192,995.32		\$1,192,995.32
TOTAL PRESUPUESTO	\$13,122,948.53			\$10,893,301.13
Diferencia	\$2,229,647.40			

Fuente: Elaboración propia

Se presento al cliente una actualización de los costos del proyecto no contemplados inicialmente debido al evento 02, (encuentro de roca antes de lo previsto). En la tabla 16 esta detallado cada uno de los costos incurridos para continuar con los trabajos a pesar de la eventualidad encontrada.

Tabla 16*Costos extras (Evento 02 – Cambio de Ingeniería)*

COSTOS EXTRAS		1,745,830.03
	Conexion entre modulo tipo 1	247,438.00
	Conexion entre modulo tipo 1 y tipo 2	38,250.00
Ítem 1	Sostenimiento fondo de camaras CA-S01, CA-S02, CA-S03	96,400.00
	Sostenimiento fondo de modulos M17, CA-S2.4	152,946.93
	Viga de atado CA-S01, CA-S02, CA-S03	56,700.00
	Sistema de drenaje a canal	85,450.63
Ítem 2	Actualizacion de Mechas Drenantes a SUBDRENES	298,789.14
Ítem 3	Excavacion Mecanica en roca	249,312.81
Ítem 4	Compra de materiales	185,250.34
Ítem 5	Gastos generales (1 mes)	335,292.18

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 16, se identifica que los:

- Ítem 1 e Ítem 3, se incurrió en sobrecosto por trabajos adicionales no contemplados inicialmente en la ingeniería de diseño y el uso de material pirotécnico para el avance en roca a falta del explosivo.
- Ítem 2, sobrecosto por actualización de ingeniería, las mechas drenantes por su disposición geométrica en el túnel son más fácil de ejecutar que los subdrenes por lo tanto hay una variación en el costo.
- Ítem 4, sobrecosto por actualización de ingeniería, los materiales se tenían

comprado con antelación, por lo tanto, estos se tienen que cargar al proyecto para reconocimiento del cliente.

- Ítem 5, debido a la actualización de ingeniería se presenta un nuevo cronograma en donde se extiende en un mes la ejecución del proyecto, por lo tanto, existirá un incremento en costo de los gastos generales.

Entonces, la propuesta de actualización de costos quedaría de la siguiente manera, como se muestra en la tabla 17.

Tabla 17

Propuesta económica – Contratista

	PROYECTO INICIAL US\$	TOTAL DE PROYECTO - ANTES DE NUEVA INGENIERIA	TOTAL NUEVA INGENIERIA	ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO
TOTAL COSTO DIRECTO	\$8,912,323.57	\$5,697,634.09	\$985,042.08	\$6,682,676.17
ACTUALIZACION DE COSTOS		\$926,498.37	\$819,331.66	\$1,745,830.03
GASTOS GENERALES	\$3,017,629.64	\$3,017,629.64		\$3,017,629.64
UTILIDAD	\$1,192,995.32	\$1,192,995.32		\$1,192,995.32
TOTAL PRESUPUESTO	\$13,122,948.53			\$12,639,131.16
Diferencia	\$483,817.37			

Fuente: Elaboración propia

Los montos de gastos generales y la utilidad se mantienen constantes en toda la ejecución del proyecto por tratarse de un contrato a suma alzada (acuerdo contractual), los sobrecostos tienen una relación directa con los costos directos.

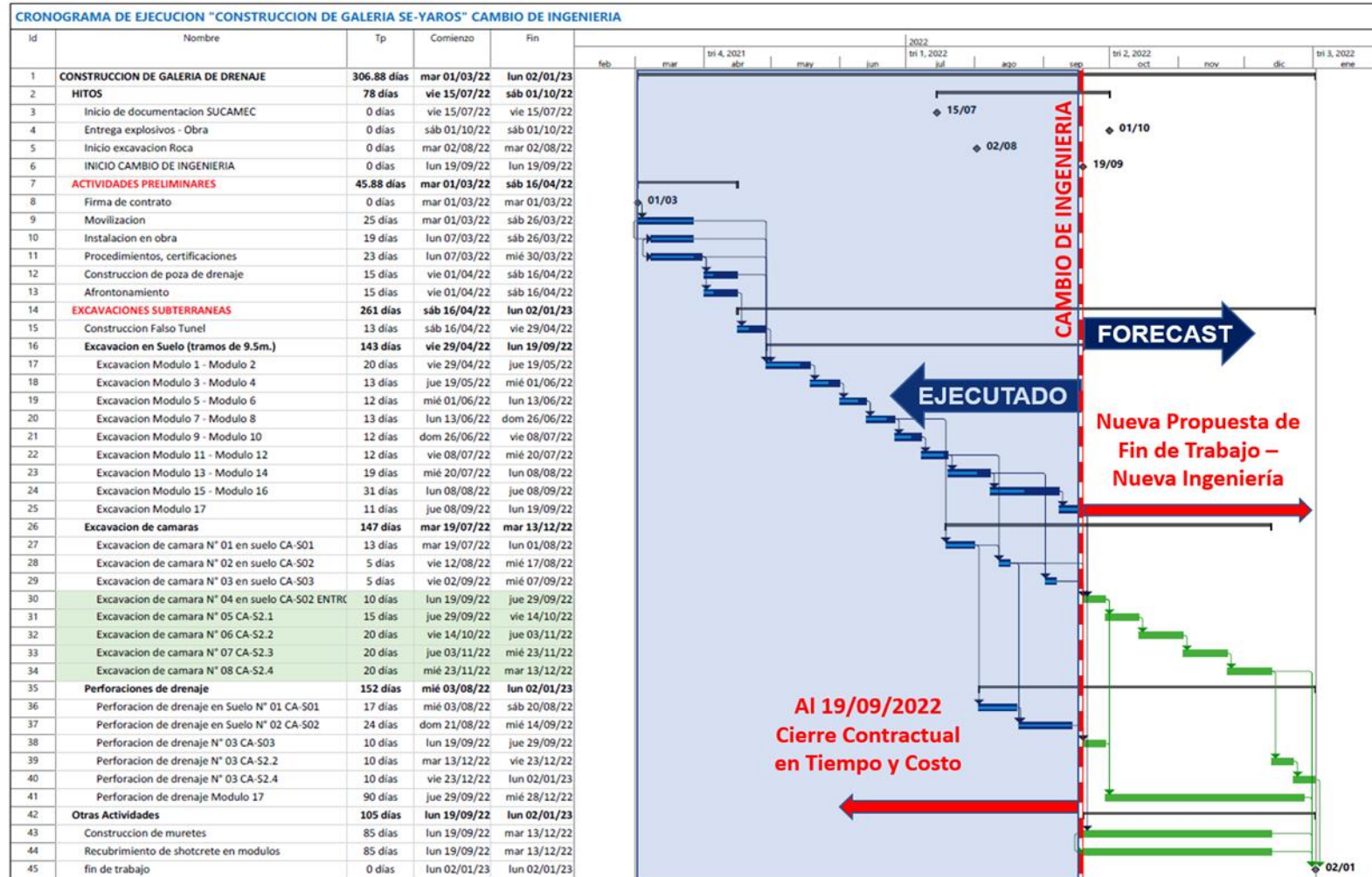
Con el nuevo cambio de ingeniería el presupuesto original se reduciría en 483,817.37 US\$ con respecto a la oferta inicial.

El cliente presento consideraciones con respecto a la tabla 17 presentada por el contratista.

3.6.3.2 Actualización de cronograma al 19/09/2022. Junto con la tabla 17, se envía al cliente la actualización del cronograma ver figura 38, de acuerdo con las nuevas consideraciones presentadas por el cliente en el cambio de ingeniería. La fecha fin considerada para el proyecto será ahora el 02/01/2023.

Figura 38

Cronograma actualizado de acuerdo con nueva ingeniería



Fuente: Elaboración propia

La fecha de corte como trabajo ejecutado es 19/09/2022 (data date), a partir de ahí se consigna como el trabajo restante que queda por ejecutar.

El cliente presento consideraciones con respecto al cronograma presentado.

3.6.4 Acuerdo de partes cliente - contratista

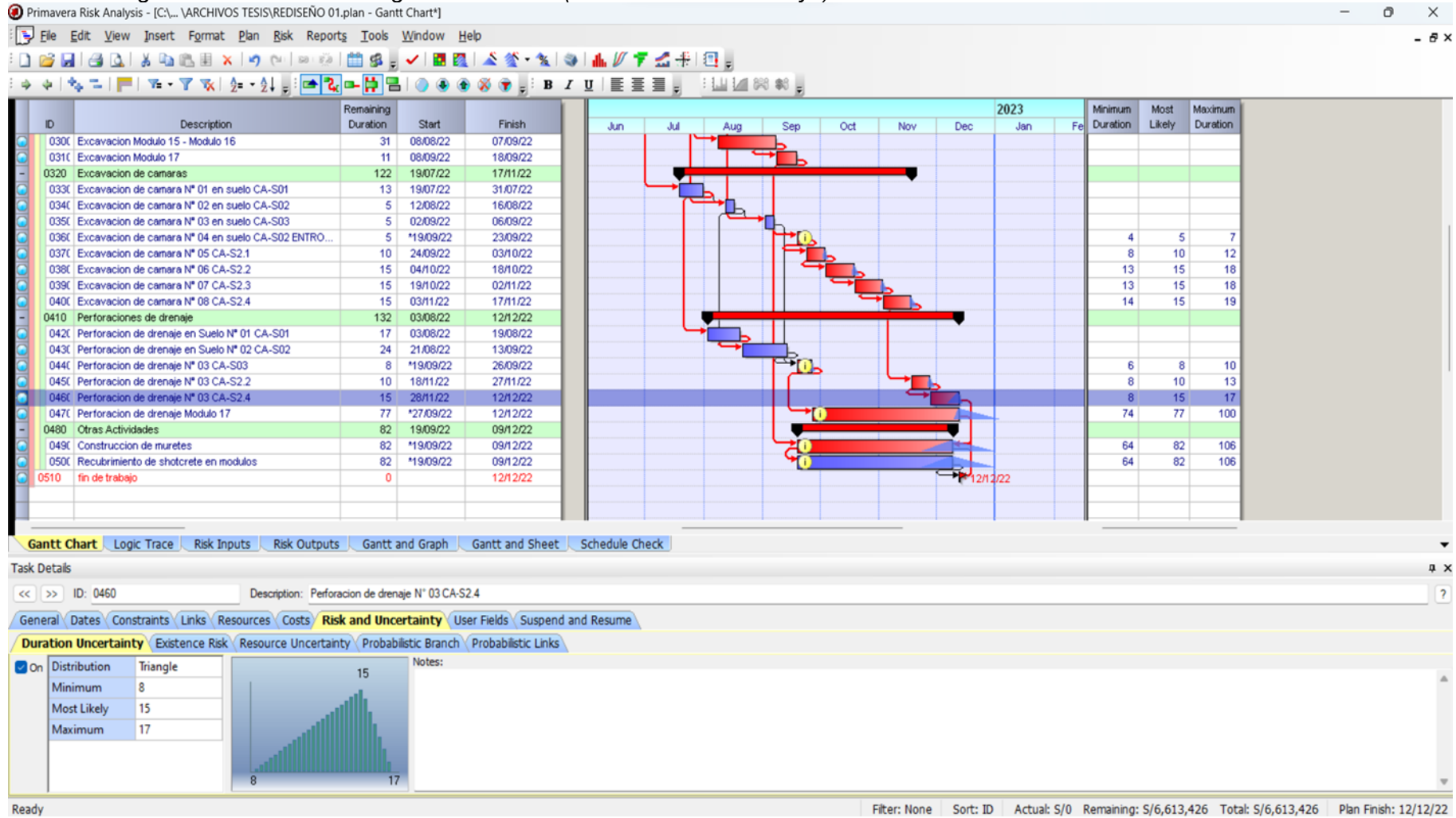
En el cronograma presentado por el contratista, el cliente solicita que la fecha fin del cronograma debe ser el 13/12/2022 y con respecto a los sobrecostos presentados (ver tabla 16) desde el ítem 1 al ítem 4 serán reconocidos mas no el ítem 5, esto son las consideraciones que propone el cliente para cerrar el tema del evento 3 y proceder a firmar la nueva adenda y establecer el nuevo presupuesto y cronograma como acuerdos contractuales.

Para reducir la fecha fin del nuevo cronograma propuesto implica realizar la técnica que recomienda la guía del PMBOK (7ma edición), conocida como Intensificación (crashing), el cual consiste en reducir el tiempo de ejecución del trabajo que están en la ruta crítica. Esto por supuesto repercutirá en un aumento de recursos e incremento del riesgo el cual deberá ser cuantificado y actualizado en el costo.

Para cuantificar el factor riesgo se usa el software Primavera Risk Analysis (PRA), tal como se muestra en la figura 39, en este software determinaremos mediante simulaciones, insertando datos de incertidumbre (desfavorable, promedio y optimista) a las actividades que aún faltan ejecutar.

Figura 39

Análisis de riesgo cuantitativo del cronograma con PRA (Primavera Risk Analysis)

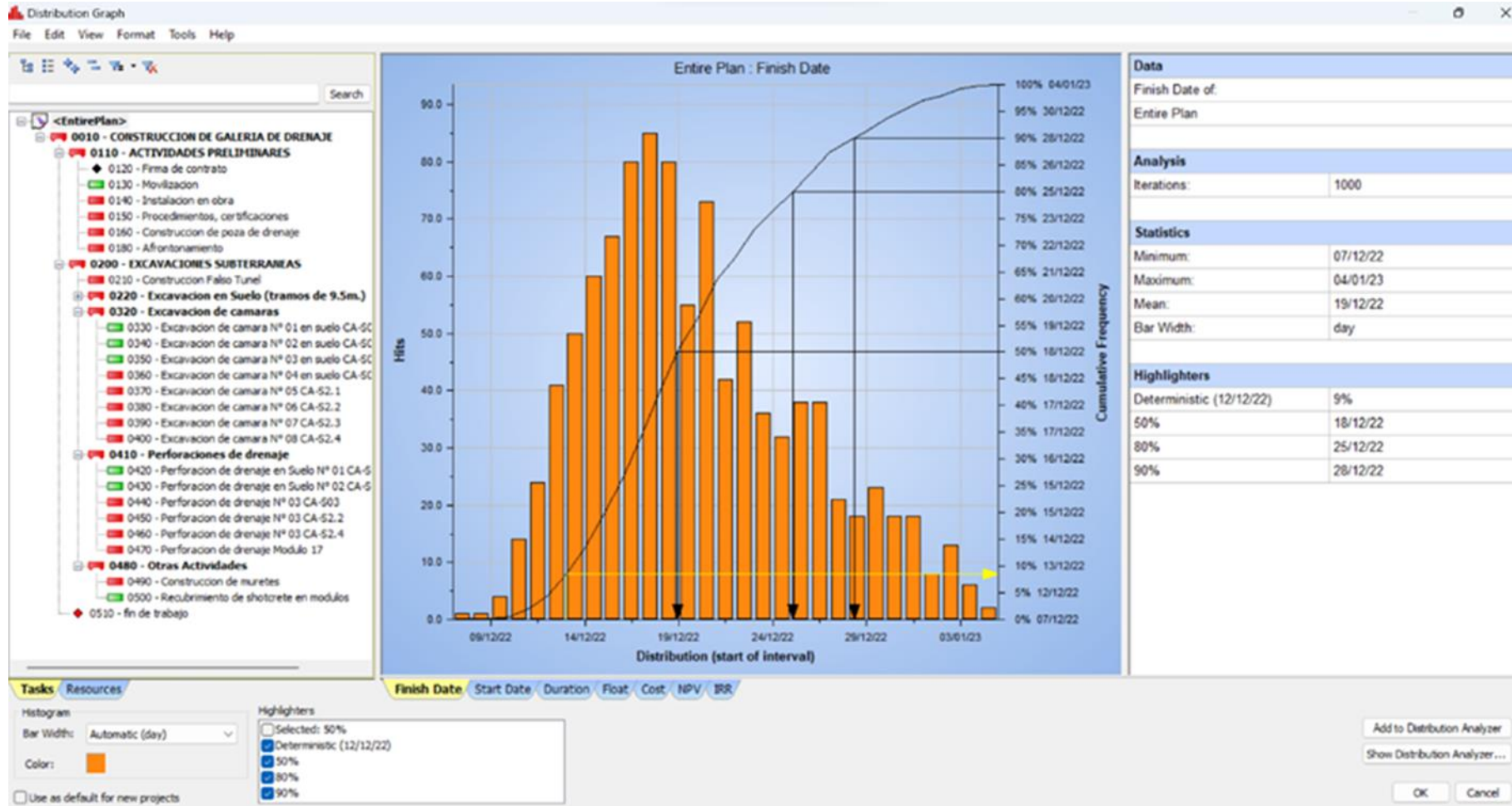


Fuente: Elaboración propia

Una vez ejecutado la simulación, se observa los percentiles de las probabilidades, en donde se muestran los días extras de demora con respecto a la fecha planificada determinística. Esto se puede observar en la figura 40, a partir de esta información se determina cual sería los días a considerar como factor riesgo que se tendrá que sumar en costo al tiempo determinístico de tal manera que el riesgo por terminar la obra en la fecha esperada sea conocido.

Figura 40

Resultado simulación con PRA



Fuente: Elaboración propia

Los días extras para considerar por factor riesgo será la diferencia entre los percentiles P90-P50 el cual nos da 11 días extras por encima del tiempo determinístico. Estos días se cuantifican en costo y se observan en la tabla 18, el monto a considerar por factor riesgo es 264,107.13 US\$.

Tabla 18

Determinación cuantitativa de costo por riesgo

DETERMINISTICO	12/12/2022	
P50	18/12/2022	
P80	25/12/2022	
P90	28/12/2022	
DIAS POR RIESGO	11.00	= (P90 - P50)
ITEM	US\$/DIA	TOTAL (US\$)
MANO DE OBRA	8,333.33	91,666.67
EQUIPO COSTO POSESION	4,500.00	49,500.00
GASTOS GENERALES	11,176.41	122,940.47
RESERVA DE RIESGO (CRASHING)		264,107.13

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, la tabla de costos extras quedaría establecida de la siguiente manera:

Tabla 19

Costos extras por evento 02 e intensificación de cronograma

COSTOS EXTRAS	1,727,467.45
Conexion entre modulo tipo 1	247,438.00
Conexion entre modulo tipo 1 y tipo 2	38,250.00
Sostenimiento fondo de camaras CA-S01, CA-S02, CA-S03	96,400.00
Sostenimiento fondo de modulos M17, CA-S2.4	152,946.93
Viga de atado CA-S01, CA-S02, CA-S03	56,700.00
Sistema de drenaje a canal	85,450.63
Actualizacion de Mechas Drenantes a SUBDRENES	298,789.14
Excavacion Mecanica en roca	249,312.81
Compra de materiales	185,250.34
Reserva de Gestion	52,822.46
Reserva de Riesgo (INTENSIFICACION)	264,107.13

Fuente: Elaboración propia

Se presenta al cliente el cuadro mostrado en la tabla 19, el cual es como quedaría planteado el proyecto a partir del 19/9/2022 con un cronograma de fin de obra con fecha de termino al 12/12/2022 y atendiendo la nueva ingeniería que presento el cliente.

Tabla 20

Propuesta económica final conciliado

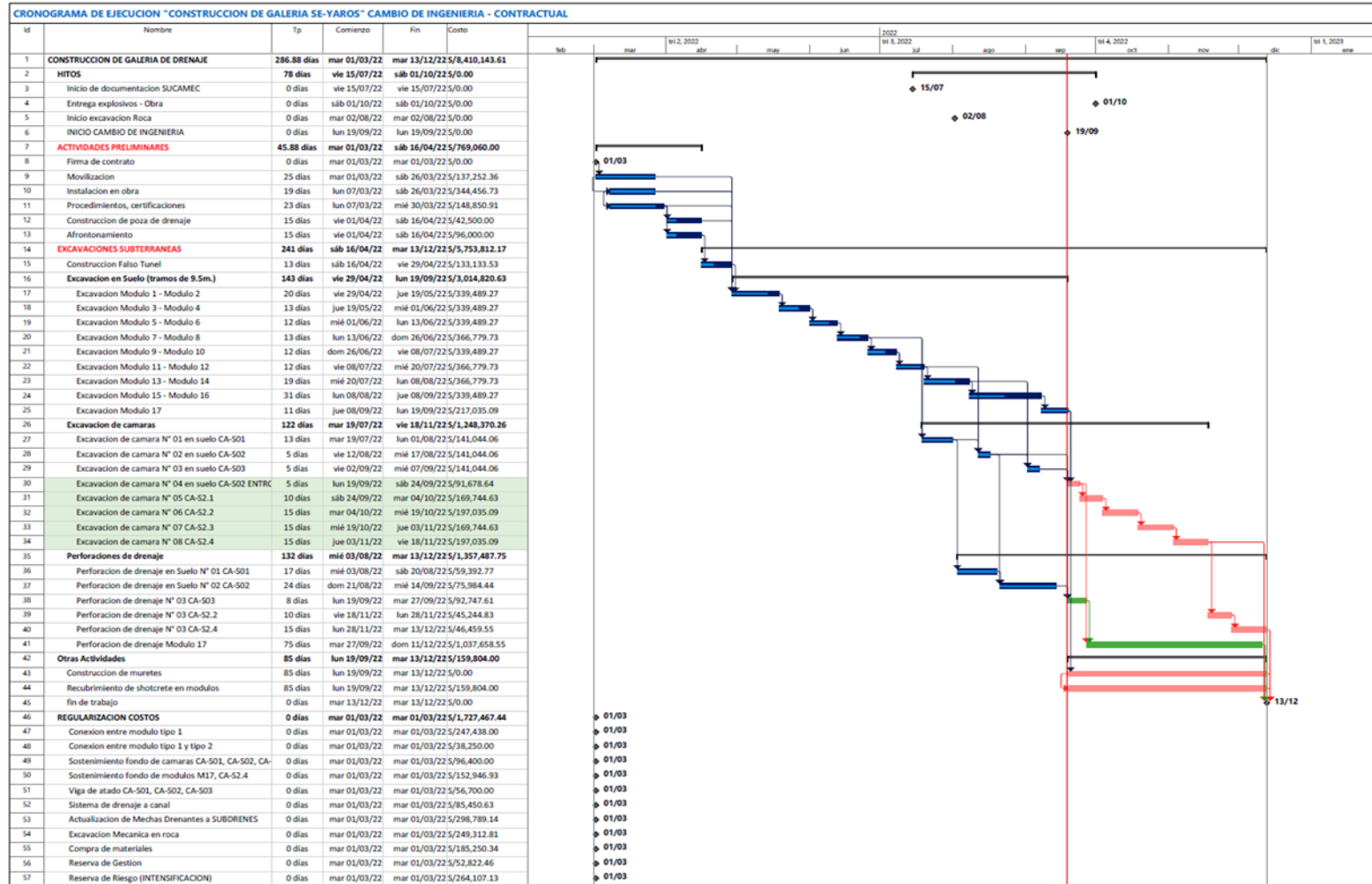
	PROYECTO INICIAL US\$	TOTAL DE PROYECTO - ANTES DE NUEVA INGENIERIA	TOTAL NUEVA INGENIERIA	ESTADO ACTUAL DEL PROYECTO
TOTAL COSTO DIRECTO	\$8,912,323.57	\$5,697,634.09	\$985,042.08	\$6,682,676.17
ACTUALIZACION DE COSTOS		\$926,498.37	\$800,969.08	\$1,727,467.45
GASTOS GENERALES	\$3,017,629.64	\$3,017,629.64		\$3,017,629.64
UTILIDAD	\$1,192,995.32	\$1,192,995.32		\$1,192,995.32
TOTAL PRESUPUESTO	\$13,122,948.53			\$12,620,768.58
Diferencia	\$502,179.95			

Fuente: elaboración propia

Después de varias reuniones y sustentos por parte del contratista, quedo aceptado las consideraciones que se muestran en la tabla 20, el monto contractual inicial queda reducido en 12,620,768.58 debido al cambio de ingeniería. Por lo tanto, la nueva línea base de cronograma y costos queda establecido como se muestra en la figura 41.

Figura 41

Cronograma conciliado por partes



Fuente: Elaboración propia

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

El proyecto de construcción de Galería de drenaje para la Subestación Yaros, se desarrolló bajo 03 eventos adversos que afectaron de manera significativa el planteamiento inicial de la ejecución de los trabajos los cuales tuvieron repercusión en el costo presupuestado y cronograma del proyecto.

Cada uno de estos 03 eventos fueron mitigados mediante herramientas y técnicas que forman parte de la gestión del proyecto.

Evento 01

Para el evento 01, se presentaron demoras concurrentes los cuales suelen ser imputables a ambas partes, de acuerdo con el concepto de concurrencia que define las doctrinas del Common Law (Society Of Construction Law - UK), Bajo este escenario, se permitió actualizar el cronograma línea base obteniendo reconocimiento de tiempo mas no ocurriendo esto con el costo.

La técnica usada para la actualización del cronograma fue el Time Impact Analysis (TIA), se insertó un fragnet en la actividad que fue impactada por el atraso, y a su vez también se permitió que se corrija la lógica de programación de las actividades. La lógica de secuenciamiento de las actividades es importante porque determinara la robustez del cronograma antes futuros eventos y además la correcta programación de los trabajos fijara una ruta crítica coherente el cual nos determinara el tiempo de duración del proyecto.

De este evento 01 surge un nuevo cronograma línea base, con fecha fin del proyecto 13/12/2022, no hay incremento en costos. Aceptan las partes y queda aprobado por el cliente.

Es importante acotar que solo las actividades que están en la ruta crítica generan un incremento de tiempo cuando estas son impactadas por eventualidades no previstas.

La identificación temprana de los retrasos y quien es el responsable de dichos eventos es importante identificarlos, porque durante la negociación contractual con el cliente, todo tiene que ser validado y luego documentado para su aprobación por ambas

partes, cuando sea el caso.

Evento 02

El proyecto se desarrolló mediante la técnica de planificación gradual (rolling wave), esto implica que a medida que se desarrollaba la ejecución del proyecto se podría corregir y/o considerar una ingeniería de detalle que faltaría concretar, sin limitar esto la ejecución del proyecto.

Se tenía previsto excavar el túnel en dos tipos de materiales la primera parte en suelo tipo arcilla y la segunda parte en roca con el uso de explosivos. Y a partir de allí realizar las perforaciones de mechas drenantes que permitieran estabilizar la plataforma de la subestación, el proyecto fue conceptualizado de esta manera.

EL evento 02 surge a raíz de una incorrecta interpretación geológica del perfil longitudinal del túnel. Se tenía establecido los siguientes parámetros:

0+0.00 m. hasta 0+280.00 m. = Excavación del túnel por medios mecánicos por tratarse de suelo arcillosos.

0+280.00 m. hasta 0+354.63 m. = Excavación del túnel mediante perforación y voladura por tratarse de rocas tipo metamórficas.

La zona de rocosa se encontró en la progresiva 0+131.20 m., cuando esto debería haberse encontrado 148.80 m. más adelante. Esto generó una implicancia logística no prevista. A la fecha de excavación del túnel con material rocoso no se contaba con explosivos. Debido a que su uso estaba contemplado más adelante de acuerdo como estaba establecido al inicio del proyecto.

Debido a la importancia del proyecto, no se paralizó las actividades, se buscaron alternativas para la continuidad de los trabajos. En muchos casos esto implicó pérdidas de productividad e incremento de costos del proyecto.

Se estableció un hito de inicio para este evento y con las técnicas del valor ganado se verificó el impacto económico al proyecto y el tiempo de atraso del proyecto con el seguimiento y control del cronograma.

De acuerdo con los datos que se muestran en las métricas de desempeño del

proyecto por el evento 02, las pérdidas en costo y tiempo pronto harán inviable el proyecto. Por lo tanto, si el cliente no se propone a ajustar el proyecto con las nuevas consideraciones geológicas este conducirá por parte del contratista a una suspensión o resolución del contrato.

En estas situaciones de alta incertidumbre, el control del proyecto se deberá realizar en horizontes tempranos de tiempo, para el presente proyecto la actualización de costos y seguimiento se realizaron semanalmente de tal manera que a inicio de cada semana se tiene datos de la situación económica y plazo del proyecto. Las métricas de desempeño se muestran en las tablas de análisis de la información, tabla 11 métricas de desempeño al 02/08/2022 y tabla 12 métricas de desempeño al 31/08/2022.

Valores con un CPI de 0.93 y SPI de 0.85 nos dan una idea negativa de la situación actual del proyecto sumado a una CV de -347,294.45 US\$ y un atraso de 36 días al 31/08/2022, es un escenario pesimista del proyecto durante el evento 02.

Evento 03

En vista que los valores numéricos de desempeño eran adversos al proyecto, El cliente propone un cambio de ingeniería el cual se tendrá que implementar a partir del 19/09/2022.

Se realiza la reunión para la gestión de cambio y se dan los acuerdos de partes los cuales son:

- Acuerdo 01:** El contratista presentara una actualización de los sobrecostos que incurrió desde el inicio del evento 02
- Acuerdo 02:** El contratista presentara un nuevo cronograma con el cambio de ingeniería respetando la fecha fin del proyecto contractual 13/12/2022
- Acuerdo 03:** Se firmará una adenda al contrato con el nuevo presupuesto y cronograma contractual

El evento 03, propicio el sinceramiento contractual en plazo y tiempo del proyecto de tal manera que al final el proyecto a pesar de todos los eventos negativos que sucedieron se estabilizo y se concretó dentro de los parámetros óptimos tanto para el cliente como para el contratista.

En la tabla 21, se muestra el resumen de los 03 eventos que impactaron la vida del proyecto y como la aplicación de las buenas prácticas en la gestión del tiempo y cronograma permitieron que el cliente y contratista realicen el cierre del proyecto en condiciones favorable para ambas partes.

Tabla 21*Cuadro resumen de eventos negativos al proyecto*

Inicio Contractual	01/03/2022
Fin Contractual	01/12/2022
Presupuesto Contractual (US\$)	13,122,948.53

EVENTO	ATRASO	RESPONSABILIDAD	TECNICAS DE ANALISIS	PRESUPUESTO (US\$)	SOBRECOSTO (US\$) *	DIAS ATRASO	CONCLUSION
EVENTO 01	Entrega de frente Incompatibilidad de planos Huelga departamental	CLIENTE CLIENTE FUERZA MAYOR	TIME IMPACT ANALISIS	13,122,948.53	-	12.00	EXCUSABLE - NO COMPENSABLE NUEVA FECHA FIN CONTRACTUAL: 13/12/2022
EVENTO 02	Condicion geologica	CLIENTE	VALOR GANADO		926,498.37	47.00	
EVENTO 03	Nueva Ingenieria (Reduccion de metrados) **	CLIENTE	VALOR GANADO	12,620,768.58	800,969.08	0.00	EXCUSABLE - COMPENSABLE NUEVA FECHA FIN CONTRACTUAL: 13/12/2022

Nota: * Ver Tabla 19. ** Ver Figura 25

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Para el presente proyecto analizado se concluye que a pesar de haberse presentando eventos negativos que condujeron al atraso del proyecto y sobrecostos, se logró mitigar satisfactoriamente el impacto en tiempo y costo haciendo uso de metodologías de análisis de atrasos y la correcta ejecución de las técnicas de valor ganado que permitían analizar las métricas de desempeño del proyecto. Por lo tanto, se puede colegir que cuando se gestiona adecuadamente el proyecto se logra minimizar las pérdidas en costos operacionales.

El seguimiento y control del proyecto permitió obtener la trazabilidad del proyecto a largo de toda la línea de tiempo de tal forma que se logró controlar y aplicar planes de contingencia cuando se presentaron los eventos negativos al proyecto

Se identificaron las actividades cuasi-criticas del cronograma contractual, la importancia de esta identificación radica que ante cualquier evento adverso estas actividades pueden formar parte de la ruta crítica y por lo tanto su atraso repercutirá en una extensión de la fecha fin del proyecto.

La ruta crítica del proyecto se identificó plenamente en el cronograma contractual porque el atraso o adelanto de cualquiera de estas actividades incidirá en el plazo del proyecto.

Se concluyo de igual manera que no todo atraso que se produzca durante la ejecución de alguna actividad programada repercutirá en un atraso al proyecto, solo las actividades que tienen holgura cero (ruta crítica) generan atraso.

Una correcta discriminación del costo directo y costos indirectos permitirán la evaluación correcta de los sobrecostos.

La identificación de quien es el responsable del atraso (cliente y/o contratista) en el proyecto, permite una comunicación eficiente con el cliente para determinar si lo atrasos son (excusable/ no excusable, compensable/no compensable).

Se concluyo que la verificación de las lógicas de precedencia y sucesoras de las

actividades programadas en el cronograma tiene que ser lo más cercano al proceso real de ejecución del proyecto.

Los reportes diarios y semanales de operación proporcionan información al personal de oficina técnica para la correcta actualización del seguimiento y control del cronograma.

Se identificó que la valoración económica con respecto al tipo de aceleración constructiva que se implementa ante un evento de retraso dependerá de que si la aceleración constructiva es por voluntad del constructor para mitigar un atraso cualquier sobre costo y/o atraso es asumido por el contratista, pero si la aceleración constructiva es a solicitud del cliente este tiene que ser compensable económicamente.

Un atraso no siempre tiene un impacto económico al proyecto.

Finalmente, el proyecto concluyó en el mes establecido, pero con cierto retraso (ver cronograma figura 42), el cual ya se había previsto en el análisis probabilístico del cronograma y fue mostrado en la figura 40 y tabla 18 del presente informe. Y con respecto a la rentabilidad que había proyectado el contratista para el presente proyecto se cumplió el objetivo a pesar de la actualización del proyecto tal como se muestra en la tabla 22.

El total valorizado para el presente proyecto fue de 12,620,768.58 USD (sin igv) contra un proyectado inicialmente de 13,122,948.53 USD (sin igv) la variación se debe a los diferentes eventos que surgieron durante la ejecución del proyecto y fueron detallados en el presente informe.

En la tabla 22, se muestra el resumen económico en todo el tiempo que se realizó el proyecto y como los retrasos impactaron negativamente.

Tabla 22

Resumen económico de proyecto

ACUERDO CONTRACTUAL INICIAL	
Fecha inicio	1.03.2022
Fecha fin	1.12.2022
Costo Directo	\$8,912,323.57
Gastos Generales	\$3,017,629.64
Utilidad	\$1,192,995.32
Total Contrato	\$13,122,948.53

	EVENTO 01		EVENTO 02	
FECHA ESTADO	12.04.2022	02.08.2022	31.08.2022	19.09.2022
ATRASO		12 días	36 días	45 días
EV		3,832,299.13	4,456,161.78	5,080,024.43
PV		4,367,038.55	5,258,270.90	5,882,133.55
AC		4,001,035.65	4,803,456.23	5,898,635.12
CPI =		0.96	0.93	0.86
SPI =		0.88	0.85	0.86
TCPI =		1.03	1.08	1.27
FECHA FIN	13.12.2022	25.12.2022	18.01.2023	27.01.2023

ACUERDO DE PARTES	Excusable en tiempo pero No Compensable	Sin acuerdos con cliente
--------------------------	---	--------------------------

Nota: * Monto real valorizado a fin del proyecto. ** CV=variación del costo. ** CV=EV-AC.
Fuente: Elaboración Propia

CAMBIO DE INGENIERIA

EVENTO 03	
ACUERDO CONTRACTUAL NUEVA INGENIERIA	
Fecha inicio	1.03.2022
Fecha fin	13.12.2022
Costo Directo	\$8,410,143.62
Gastos Generales	\$3,017,629.64
Utilidad	\$1,192,995.32
Total Contrato *	\$12,620,768.58

Actualización de presupuesto y nuevo cronograma línea base

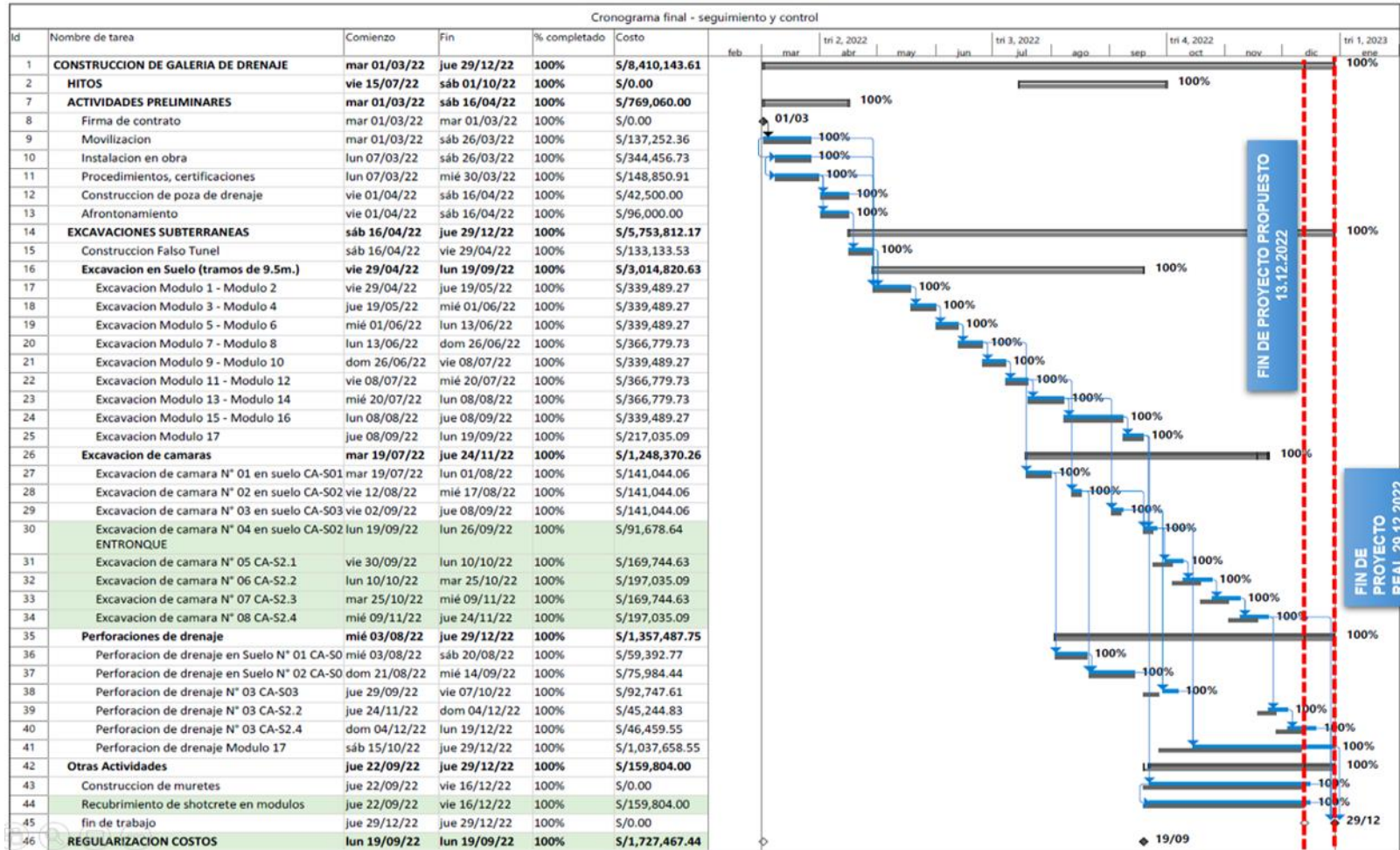
SITUACION ECONOMICA FINAL - TERMINO DE PROYECTO	
FECHA ESTADO	29.12.2022
ATRASO	16 días
EV	8,410,143.62
PV	
AC	8,508,554.48
CPI =	0.99
SPI =	1.00
CV**=	-98,410.86
FECHA FIN	29.12.2022

Situación Económica final del proyecto

Y a continuación la figura 42, se presenta el cronograma final donde se observa el retraso con respecto al cronograma planificado.

Figura 42

Cronograma final de seguimiento de obra



Fuente: Elaboración propia

Recomendaciones

Es importante la implementación de un cronograma probabilístico (favorable, probable y pesimista), porque bajo este escenario se añade incertidumbre a las actividades de tal manera que permiten simular con mayor certeza (percentil 95%) el impacto en tiempo y costo ante condiciones y/o eventos desfavorables.

El personal encargado de la programación del proyecto deberá tener como mínimo comprensión de la teoría de CPM (método de la ruta crítica), manejar los conceptos de holguras, definición coherente de actividades predecesoras y sucesoras, así como las herramientas computacionales disponibles (Primavera P6, Microsoft Project, Prism, etc.) y conocimiento de las buenas prácticas de análisis forense de cronogramas (AAEi) junto a la práctica estándar de programación (PMI).

Implementar en el cronograma del proyecto los criterios de calidad para una correcta elaboración de la programación de acuerdo con lo que establecen los 14 puntos de DCMA. Defense Contract Management Agency, DCMA (2005):

- Actividades sin enlaces
- Holguras negativas
- Retrasos (lags positivos)
- Enlaces distintos de Fin-Comienzo
- Fechas bloqueadas (restricciones rígidas)
- Holguras grandes
- Holguras negativas
- Duración alta
- Fechas no válidas
- Importes y recursos
- Actividades retrasadas
- Prueba del camino crítico
- Índice de longitud del camino crítico (CPLI)

- Índice de ejecución de la línea de base (BEI)

Implementar en el contrato, cuál será la metodología de análisis de cronograma y/o el estándar a usar para resolver controversias cuando estas se presenten, estos detalles deben estar plasmados en un plan de gestión de controversias.

Implementar la metodología de análisis prospectivo del cronograma de tal manera que permite anticipar escenarios desfavorables y planificar con anterioridad su mitigación y así minimizar el impacto futuro.

El cronograma tiene que haber sido validado por el cliente y ser un documento contractual es decir anexado al contrato.

Concretar una lista de fuente-origen de posibles atrasos que puedan afectar al proyecto.

Es importante que todos los involucrados en el proyecto (cliente, contratista) deben comprender claramente lo que se necesita para elegir y utilizar un método de evaluación particular ante un evento negativo que impacta al proyecto, para esto se debe tener en cuenta consideraciones técnicas relacionadas con el plazo, la disponibilidad de los datos (reportes diarios, semanales), la naturaleza y complejidad del atraso y la información que proporciona el cronograma porque cada reclamo es único.

Referencias bibliográficas

- Arias Toribio, J. (2021). Análisis de factores que influyen al cumplimiento de la línea base de costo en la construcción del proyecto MPD003 Tailing Pipeline Relocation ejecutado en Minera Chinalco Perú S. A. Huancayo: Universidad Continental.
- Baldwin, A., & Bordoti, D. (2014). A handbook for construction planning and scheduling. John Wiley & Sons, Ltd.
- Climent Alós, A. (2014). Aplicacion de EVM a ruta critica. Estudio de Caso. Universidad politenica de Valencia. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/48345/Trabajo%20Final%20Grado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lozano Serna, S., Patiño Galindo, I., Gomez-Cabrera, A., & Torres, A. (15 de 7 de 2018). Ingenieria y Ciencia. doi:<https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.27.6>
- Marroquin Liu, D. (2010). Aplicabilidad de los metodos de anaisis de retrasos en los proyectos de construccion nacionales. Piura: Universidad de Piura.
- Paraskevopoulou, C., & Boutsis, G. (2020). Cost Overruns in Tunnelling Projects: Investigating. Infrastructures, 35.
- Peña Hernandez, L. (2021). Identificación de causas de retraso en la obra el Túnel de La Línea. Universidad de La Salle, Bogota: Universidad de La Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/908?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_civil%2F908&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Rudeli, N., Viles, E., Gonzales, j., & Santilli, A. (2018). Causas de Retrasos en Proyectos de Construcción: Un análisis cualitativo. Memoria de investigaciones en Ingenieria. Obtenido de <https://redi.anii.org.uy/jspui/bitstream/20.500.12381/215/1/Rudeli%20et%20al.%20%282018b%29.pdf>
- Solis Carcaño, R., Martinez Delagadillo, J., & Gonzales Fajardo, J. (2009). Estudio de caso: demoras en la construcción de un proyecto en México. Universidad Autonoma de

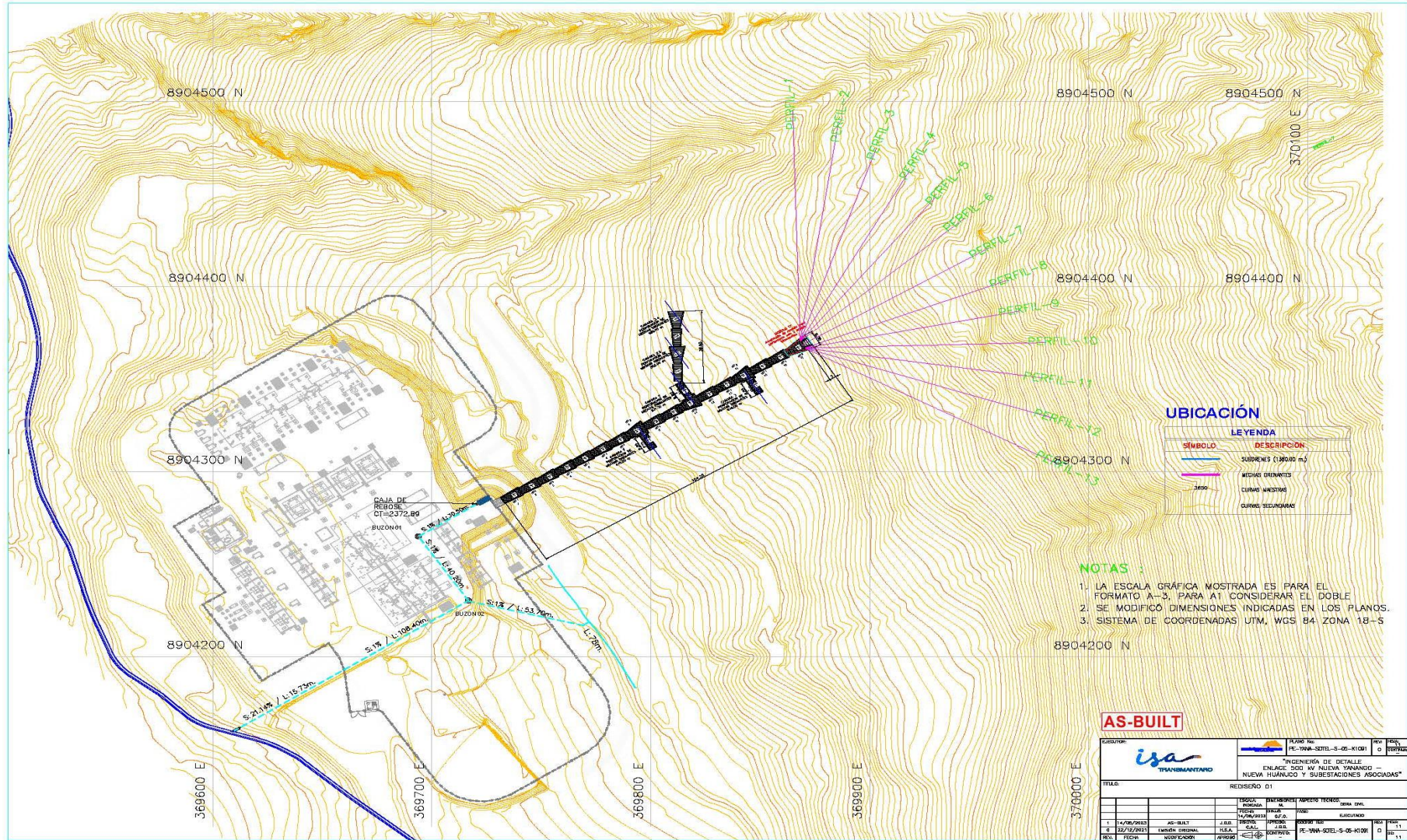
Yucatan, Merida. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46713055004>

Zhang, D., Hang , Z., & Tao, C. (11 de 20 de 2020). Causes of Delay in the Construction Projects of Subway Tunnel. Obtenido de <https://doi.org/10.1155/2020/8883683>:
<https://doi.org/10.1155/2020/8883683>

Anexos

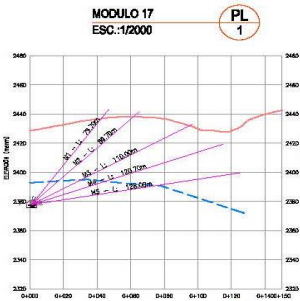
	Pág.
Anexo 1: Diseño inicial de proyecto	2
Anexo 2: Rediseño 01 (por evento 02).....	3
Anexo 3: Rediseño 01 (secciones 01).....	4
Anexo 4: Rediseño 01 (secciones 02).....	5
Anexo 5: Proceso constructivo ampliación de cámara 02 (planta y perfil)	6
Anexo 6: Proceso constructivo ampliación de cámara 02 (vistas 3D)	7
Anexo 7: Modelo de reporte diario de obra	8
Anexo 8: Modelo de reporte diario de obra	9

Anexo 2: Rediseño 01 (por evento 02)



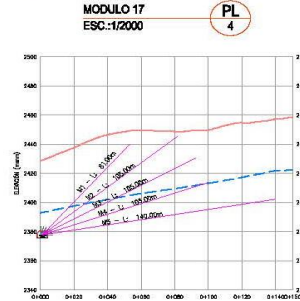
Anexo 3: Rediseño 01 (secciones 01)

PERFORACIÓN EN ROCA MODULO 17



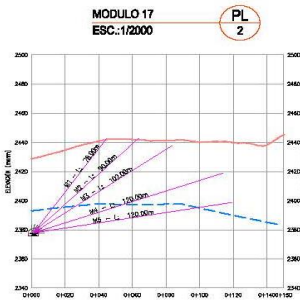
Nº MD	LONGITUD (m)	ANGULO
M1	79.70	55°0'0"
M2	89.70	45°0'0"
M3	110.00	30°0'0"
M4	120.70	20°0'0"
M5	126.00	10°0'0"
TOTAL	526.10	

Nº MD	TUBERIA INSTALADA PVC Ø 2" (m)
M1	80.00
M2	90.00
M3	110.00
M4	-
M5	-
TOTAL	280.00



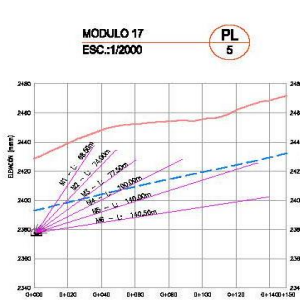
Nº MD	LONGITUD (m)	ANGULO
M1	81.00	50°0'0"
M2	105.00	40°0'0"
M3	105.00	30°0'0"
M4	105.00	20°0'0"
M5	140.00	10°0'0"
TOTAL	536.00	

Nº MD	TUBERIA INSTALADA PVC Ø 2" (m)
M1	81.00
M2	105.00
M3	-
M4	-
M5	-
TOTAL	186.00



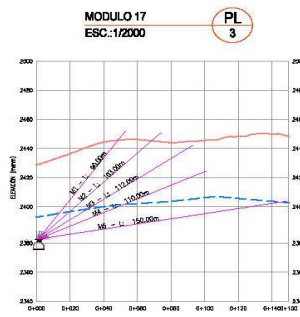
Nº MD	LONGITUD (m)	ANGULO
M1	78.00	55°0'0"
M2	90.00	45°0'0"
M3	102.00	35°0'0"
M4	120.00	20°0'0"
M5	120.00	10°0'0"
TOTAL	510.00	

Nº MD	TUBERIA INSTALADA PVC Ø 2" (m)
M1	78.00
M2	90.00
M3	102.00
M4	-
M5	-
TOTAL	270.00



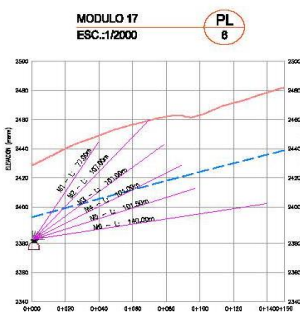
Nº MD	LONGITUD (m)	ANGULO
M1	69.50	67°0'0"
M2	74.00	60°0'0"
M3	77.50	50°0'0"
M4	100.00	36°0'0"
M5	140.00	20°0'0"
M6	140.50	10°0'0"
TOTAL	600.50	

Nº MD	TUBERIA INSTALADA PVC Ø 2" (m)
M1	69.50
M2	75.00
M3	-
M4	-
M5	-
M6	-
TOTAL	144.00



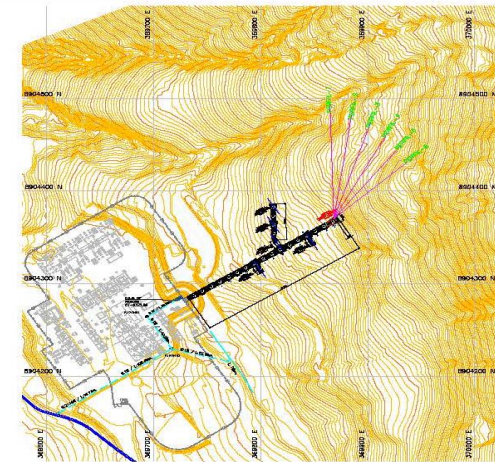
Nº MD	LONGITUD (m)	ANGULO
M1	90.00	55°0'0"
M2	103.00	45°0'0"
M3	112.00	35°0'0"
M4	110.00	25°0'0"
M5	150.00	10°0'0"
TOTAL	565.00	

Nº MD	TUBERIA INSTALADA PVC Ø 2" (m)
M1	90.00
M2	102.00
M3	111.00
M4	-
M5	-
TOTAL	303.00



Nº MD	LONGITUD (m)	ANGULO
M1	77.00	60°0'0"
M2	107.00	45°0'0"
M3	101.00	40°0'0"
M4	101.00	30°0'0"
M5	101.50	20°0'0"
M6	140.00	10°0'0"
TOTAL	627.50	

Nº MD	TUBERIA INSTALADA PVC Ø 2" (m)
M1	77.00
M2	107.00
M3	-
M4	-
M5	-
M6	-
TOTAL	184.00



UBICACIÓN

LEYENDA	
SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
	SUBEDIOS (1:300.00 m.)
	MECHAS DRENANTES
	CURVAS MAESTRAS
	CURVAS SECUNDARIAS

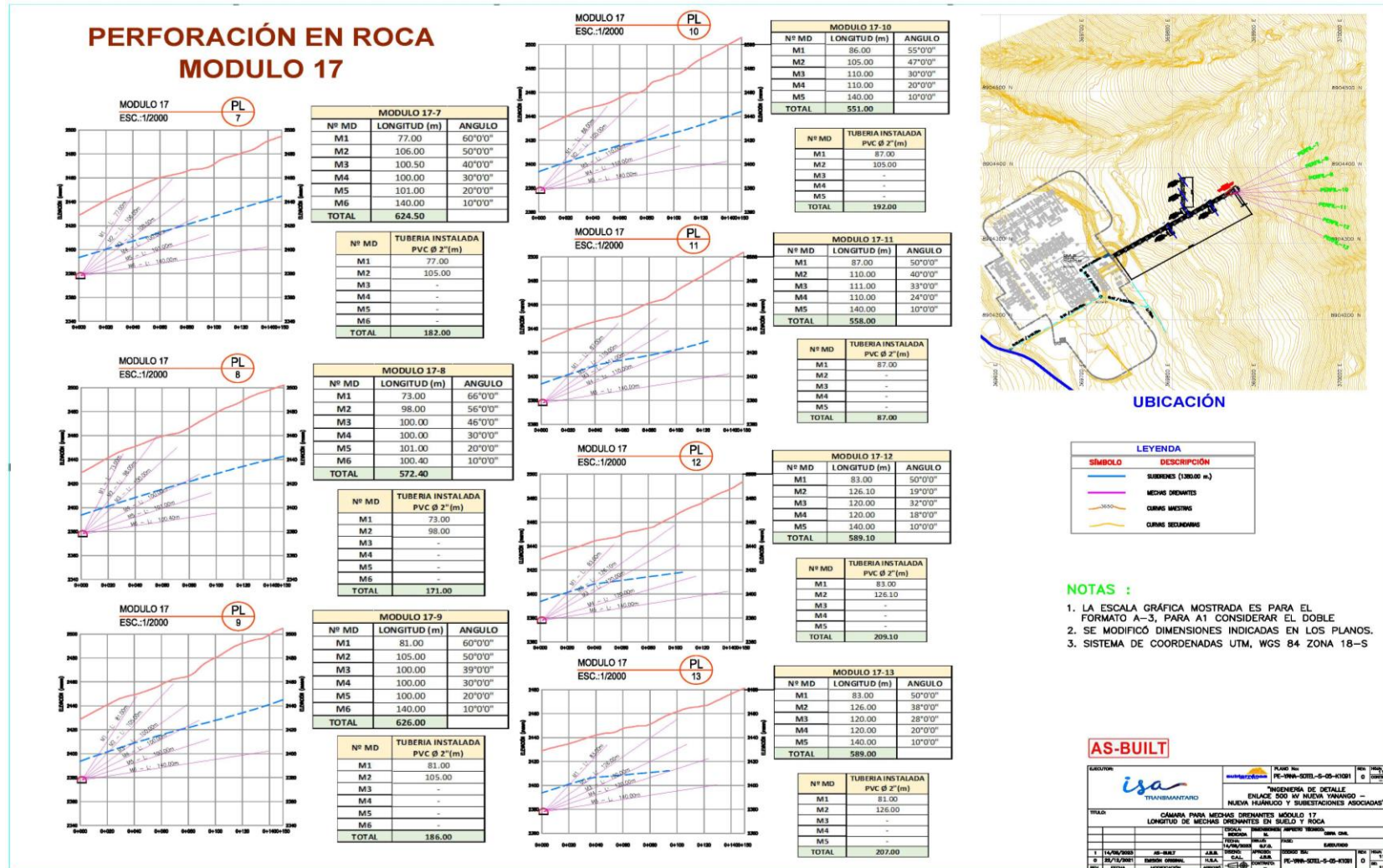
NOTAS :

1. LA ESCALA GRÁFICA MOSTRADA ES PARA EL FORMATO A-3, PARA A1 CONSIDERAR EL DOBLE
2. SE MODIFICÓ DIMENSIONES INDICADAS EN LOS PLANOS.
3. SISTEMA DE COORDENADAS UTM, WGS 84 ZONA 18-S

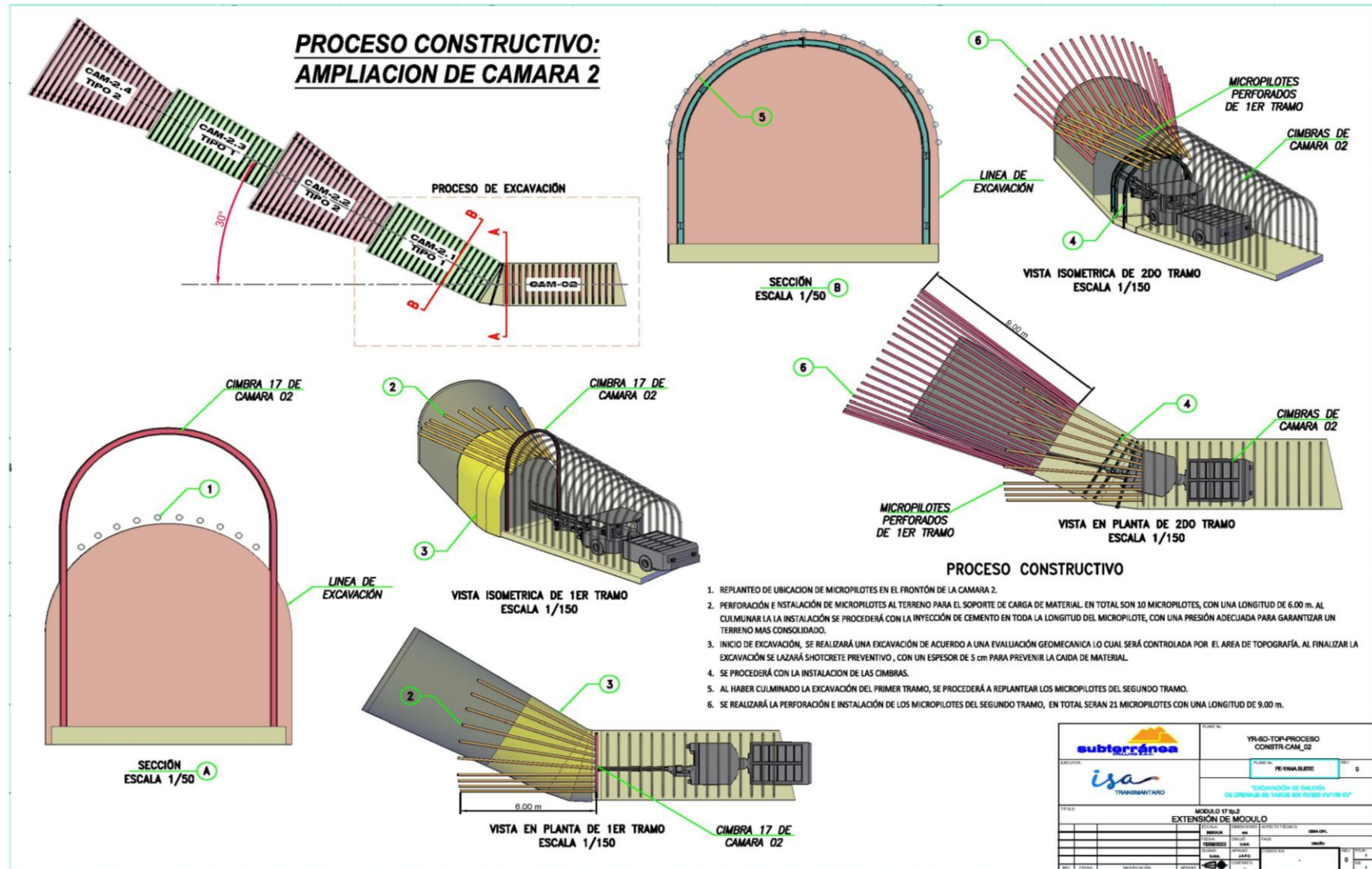
AS-BUILT

		PLAN NO. PC-YM-SXIL-5-05-K1001		HOJ. NO. 0	
INGENIERÍA DE DETALLE ENLACE 500' W NUEVA YANANGÓ - NUEVA HUAMANO Y SUBESTACIONES ASOCIADAS*		TÍTULO CÁMARA PARA MECHAS DRENANTES MÓDULO 17 LONGITUD DE MECHAS DRENANTES EN SUELO Y ROCA		ESCALA 1:3000	
FECHA 03/12/2021		DISEÑO CARLOS ORRAL		REVISIÓN ROBERTO LIZ	
PROYECTO AS-BUILT		CLIENTE CARRERA 100		HOJA 05 DE 05	

Anexo 4: Rediseño 01 (secciones 02)



Anexo 6: Proceso constructivo ampliación de cámara 02 (vistas 3D)



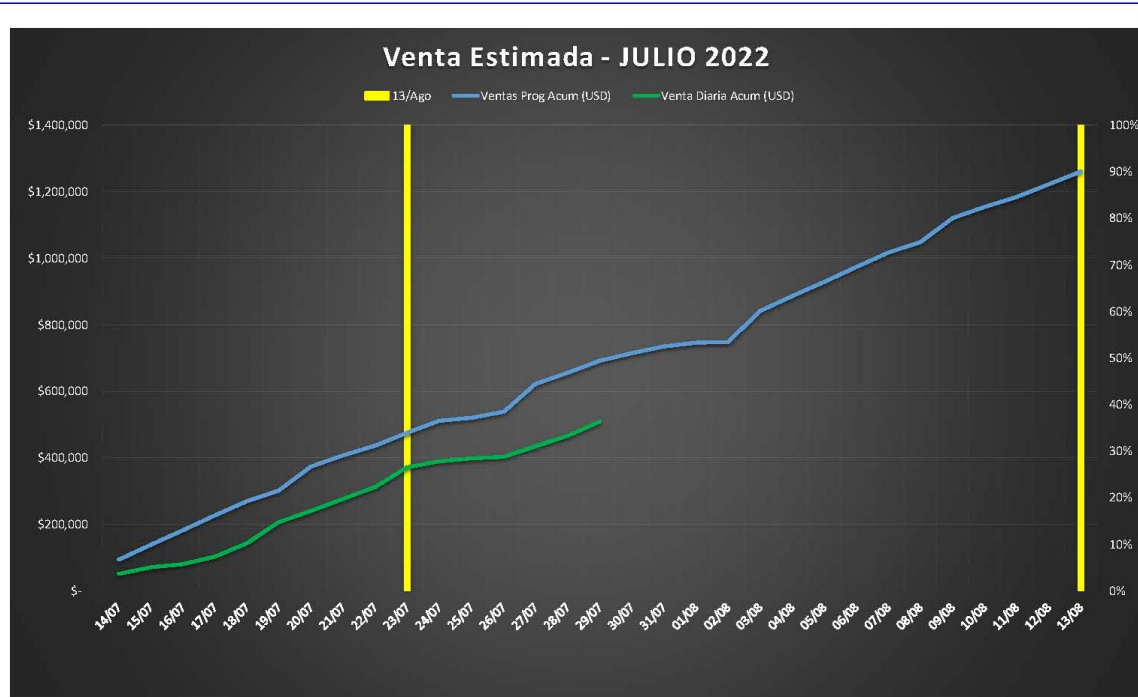
Anexo 7: Modelo de reporte diario de obra

subterránea DRILLING S.A.C.		PARTE DIARIO DE EXCAVACIÓN										NRO. REPORTE	FECHA	CÓDIGO: RO-SEY-22 Rev 0	
		ING. PRODUCCIÓN Carlos Urpi Medina					SUPERVISOR Joaquín Estrada Torre					CLASIFICACIÓN	% AVANCE MODULO	% AVANCE TOTAL	
MÓDULO	17	TURNO		NOCHE		P.G. INICIAL	0+047.25	P.G. FINAL	0+047.25	AVANCE	0.00		CL	68.42%	100.00%
ACTIVIDAD	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7		
CHARLA Y DOCUMENTACIÓN															
EVALUACIÓN GEOLÓGICA															
TOPOGRAFÍA															
PREPARACIÓN DE FRENTE															
EXCAVACIÓN DE (ROCA) EN GALERÍA															
INYECCIÓN DE LECHADA DE CEMENTO															
INSTALACIÓN DE MICROPILOTES															
EXCAVACIÓN DE LA CAMARA 2.4															
ARMADO DE ANCLAJE PARA MICROPILOTES															
INSTAL. DE CIMBRAS CAMARA 2.4															
INSTAL. DE PLANCHA ACANALADA															
INSTALACION DE MALLA EN TRASERENCIA															
LIMPIEZA Y CANTONEO DEL INGRESO A GALERIA															
SHOTCRETE EN CAMARA 2.4															
INSTALACION DE AUTOPROTEGIDOS															
RASPAO DE VIA EN LA PLATAFORMA EN SUPERFICIE															
TRASLADO DE MATERIALES DE PLATAFORMA															
LIMPIEZA DE LAMA DE POZA DE SEDIMENTACION															
INSTALACION DE TUBERIA PVC DE 140															
MANTENIMIENTO EQUIPO DIAMANTINO															
PERFORACION DIAMANTINA DE 140															
PERFORACION DIAMANTINA DELTA 09															
ENCOFRADO DE MURETES															
LIMPIEZA DE LAMA DE DIAMANTINA															
PREPARACION DE PANELES DE MURETES															
PULIDO Y RIBETADO DE MURETE															
EQUIPOS															
	OPR.	INOP.	PERSONAL	CANT.	HH	THH	SHOTCRETE	PGI	PGF	VOL(m)	VIAS	OBSERVACIONES			
Bomba inyectora 55 (eléctrico) +	X		Ing. de producción	1			1 Shotcrete Sin Fibra	0+045.00	0+045.50	2.5	1	Se relleno la cimbra 15 y 16			
Bomba PC-20 (eléctrico) +	X		Ing. de seguridad	1			2 Shotcrete Sin Fibra	0+046.00	0+047.00	3	1	Se relleno la cimbra 17,18 y 19			
Compresor Sullair 375 (diesel) +	X		Capataz	1			3 Shotcrete Sin Fibra								
Compresor Sullair (eléctrico) +	X		Enfermera	1			1 Shotcrete Con Fibra								
Grupo electrogéneo (diesel) +	X		Topógrafo	1			2 Shotcrete Con Fibra								
Generador 100 kw.	X		Asistente de topografía	1			3 Shotcrete Con Fibra								
Generador 14kw.	X		Electricista	1			LOSA Y MURETE	PGI	PGF	VOL(m)	VIAS	OBSERVACIONES			
Generador Vankar	X		Mecánico	1			Concreto solidado								
Jumbo D911+	X		Soldador	2			Concreto Losa								
Perforadora Diamantina (DE140) +	X		Conductor	1			Concreto Murete								
Perforadora Diamantina (LM75)	X		Operador	4											
Mixoscavadora +	X		Operario	3			REFUERZO DE ACIRO	PGI	PGF	Area m2	LONG.	OBSERVACIONES			
Scop +	X		OFICIAL				Sibetas								
Mini cargador +	X		Operador de bomba	1			Mechas tipo L								
Telehandler Cat +	X		PERFORACIÓN	DIAM.	LONG.	CANT.	Refuerzo losa Malla 1								
Telehandler Merlo +	X		Frete				Refuerzo losa Malla 2								
Muro 4 +	X		Pierros												
Cambin gra	X		Servicios				CIMBRAS	Ira	2da	3ra	4ta	OBSERVACIONES			
Torre Hlaminacion	X		MALLA	PGI	PGF	(m2)	Cimbra	0+043.00	0+043.50			Se armo la cimbra 15 y 16			
Camioneta +	X		Microsoldada				Cimbra	0+046.00	0+046.50	0+047.00		Se armo la cimbra 17, 18 y 19			
Minivan	X		Olimpica				Planchas Acanaladas	0+043.00	0+043.50			Se enclaman la cimbra 15 y 16			
Generador 200 KW	X		Raschel				Planchas Acanaladas	0+046.00	0+046.50	0+047.00		Se enclaman la cimbra 17,18 y 19			
Bomba TR-40	X														
MCHAS DINAMITAS															
	GRUPO	LONG. (m)	AVANCE 1/D	AVANCE 1/N	TOTAL HQ	TOTAL HW	PENDIENTE (m)	OBSERVACIÓN							
M3	PL 04	105	33	33	86		19	Se continuo la perforacion en el modulo 17							
M3	PL08	100	35	18	53		47	Se continuo la perforacion en el modulo 17							
REQUERIMIENTOS															
ID	DESCRIPCIÓN														
1	Enviar bomba de petroleo para el telehandler Cat														
2	Punta del martillo de 80 cm de largo (JCB)														
3	Filtro de aire de la mini excavadora JCB														
4	Listones de 2"x3"x3m														
5															
6															
7															
8															
9															
10															
11															
12															
13															
14															
OBSERVACIONES, ACTIVIDADES DEL TURNO Y RELIEVO															
ID	DESCRIPCIÓN														
1	Se continuo con la instalacion de cimbra 15 y 16 mas instalacion de plancha acanalada y shotcrete relleno														
2	Se continuo con la instalacion de cimbra 17, 18 y 19 mas instalacion de plancha acanalada y shotcrete relleno														
3	Se realizo retiro de materiales y limpieza en el area de la plataforma														
4	Limpieza y cantoneo de lama del acceso a la galeria														
5	Se continuo con la perforacion diamantina en modulo 17														
6	TURNO DIA: Continuar con la limpieza de material de la camara 2.4														
7	Continuar con la perforacion diamantina en el modulo 17 y continuar con desenfocado														
8															
9															

Anexo 8: Modelo de reporte diario de obra

RESUMEN EJECUTIVO					
Obra	EXCAVACION DE GALERIA DE DRENAJE - SE YAROS				
Periodo contractual	Inicio	Fin	Dias Transcurridos	165.00	
	01/Mar	13/Dic	Dias Restantes	122.00	
Mes	Marzo		Fecha de informe	13/Ago	
Periodo	14/Jul	13/Ago	Dias reportados	31	

Dia	Ventas Diaria (USD)	Venta Diaria Acum (USD)	Ventas Diaria Prog (USD)	Ventas Prog Acum (USD)	% CUMP.
14/Julio	\$ 50,950.22	\$ 50,950	\$ 92,535	\$ 92,535	55%
15/Julio	\$ 20,136.13	\$ 71,086	\$ 45,933	\$ 138,468	51%
16/Julio	\$ 9,889.83	\$ 80,976	\$ 44,119	\$ 182,586	44%
17/Julio	\$ 20,533.97	\$ 101,510	\$ 43,768	\$ 226,354	45%
18/Julio	\$ 42,217.96	\$ 143,728	\$ 43,768	\$ 270,122	53%
19/Julio	\$ 62,421.83	\$ 206,150	\$ 31,159	\$ 301,280	68%
20/Julio	\$ 32,927.00	\$ 239,077	\$ 71,257	\$ 372,537	64%
21/Julio	\$ 37,478.81	\$ 276,556	\$ 34,503	\$ 407,041	68%
22/Julio	\$ 36,154.16	\$ 312,710	\$ 30,427	\$ 437,467	71%
23/Julio	\$ 57,336.14	\$ 370,046	\$ 36,399	\$ 473,866	78%
24/Julio	\$ 18,371.82	\$ 388,418	\$ 36,399	\$ 510,265	76%
25/Julio	\$ 9,929.15	\$ 398,357	\$ 10,554	\$ 520,819	76%
26/Julio	\$ 5,497.13	\$ 403,854	\$ 17,570	\$ 538,389	75%
27/Julio	\$ 29,449.75	\$ 433,304	\$ 83,186	\$ 621,575	70%
28/Julio	\$ 33,389.00	\$ 466,693	\$ 34,569	\$ 656,144	71%
29/Julio	\$ 42,913.98	\$ 509,607	\$ 34,920	\$ 691,064	74%
30/Julio	\$ -	\$ 509,607	\$ 22,331	\$ 713,395	71%
31/Julio	\$ -	\$ 509,607	\$ 22,331	\$ 735,726	69%
01/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 9,722	\$ 745,449	68%
02/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 2,016	\$ 747,465	68%
03/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 92,535	\$ 839,999	61%
04/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 45,933	\$ 885,933	58%
06/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 43,768	\$ 929,700	55%
06/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 43,768	\$ 973,468	52%
07/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 43,768	\$ 1,017,235	50%
08/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 31,159	\$ 1,048,394	49%
09/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 71,257	\$ 1,119,651	46%
10/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 34,503	\$ 1,154,154	44%
11/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 30,427	\$ 1,184,581	43%
12/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 38,134	\$ 1,222,716	42%
13/Agosto	\$ -	\$ 509,607	\$ 37,783	\$ 1,260,499	40%



Prom.	Total Vendido	Proyección Venta	
\$ 30,577	\$ 458,657	\$ 936,413	74%

Cantidades para Cumplir Programa		
Dias Faltantes	Prom. diario por vender	Total por Vender
15	\$ 31,850	\$ 477,756.45

VENTA REAL

venta	\$ 509,606.88
Gasto General	\$ 370,082.09
Utilidad	\$ 132,555.04
Subtotal	\$ 1,012,244.00
IGV (18%)	\$ 182,203.92
SUBTOTAL + IGV	\$ 1,194,447.92

VENTA PROGRAMADO A FIN DEL PERIODO DE VALORIZACION

venta	\$ 1,260,498.79
Gasto General	\$ 370,082.09
Utilidad	\$ 132,555.04
Subtotal	\$ 1,763,135.92
IGV (18%)	\$ 317,364.47
SUBTOTAL + IGV	\$ 2,080,500.38