

Análisis programático de nuevas alternativas de construcción para la generación de energía del sector sur del Proyecto Hidroeléctrico Ituango.

German Alexander Prias Guzmán

Asesor:

Abel Anibal Delrio Cortina

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería

Maestría en Gerencia de Proyectos

2022

Abel Anibal Delrio Cortina

Director Trabajo de Grado

Jurado

Jurado

Medellín-2022

Agradecimientos

Cada capítulo de la vida contiene diferentes y muy importantes personajes que nos acompañan en la corta construcción de nuestra historia como seres humanos.

Agradezco a todas las personas que de una u otra forma me acompañaron en el recorrer de este camino académico y me dieron la fortaleza necesaria para cumplir con este objetivo.

Resumen

El pasado 28 de abril de 2018, el proyecto Hidro Ituango sufrió uno de los hechos más inéditos en el mundo de la construcción de hidroeléctricas y fue que a razón de la obstrucción que se presentó en uno de sus túneles de desviación del río, se aceleró el llenado del embalse de forma no programada, generando un posible sobrepaso del agua sobre la Presa, afectando las comunidades aguas abajo del proyecto por el crecimiento súbito de los niveles del río.

En pro de evitar la catástrofe, la empresa EPM responsable de la construcción, decide dar paso del agua sobre el sistema de generación de energía, sistema que, al no estar finalizado, sufrió daños y afectaciones en las estructuras del macizo rocoso y construcciones de todo el sistema de generación.

Dada esta coyuntura, se plantea este trabajo de investigación con el objetivo principal de analizar posibles alternativas valoradas desde la perspectiva de viabilidad constructiva y comparativa a nivel programático que proporcionen argumentos sólidos para reconstruir la Caverna de Máquinas del sector sur. El comparativo se desarrolló entre reconstruir las cuatro unidades faltantes en el mismo sector o en sectores diferentes, usando un análisis de programación y secuencias constructivas lógicas, con lo que se determinaron las diferencias entre las alternativas estudiadas.

La metodología aplicada para la realización del proyecto tiene un enfoque cuantitativo que permite reunir la información necesaria para el soporte técnico de identificación de la mejor alternativa constructiva usando parámetros de lecciones aprendidas de la construcción inicial del proyecto y otras tomadas de las experiencias de

expertos consultados que determinan la viabilidad de la secuencia de construcción y el análisis programático de la alternativa, dando un alcance que permita comparar la condición actual contra la alternativa propuesta e identificar sus ventajas y desventajas. Como parte del proceso de análisis de la mejor alternativa, se recurrió a la identificación de los referentes bibliográficos considerados relevantes en casos de procesos constructivos de cavernas de gran porte. De esta manera, Se revisaron diez y siete documentos en Science Direct, con los criterios de “triple restricción ampliada en proyectos de hidroeléctricas”, “secuencias constructivas lógicas en la construcción de proyectos hidroeléctricas” y “buenas prácticas de ingeniería en la construcción de proyectos hidroeléctricas”. Como resultado relevante se identificó la falta de literatura referente a la construcción de hidroeléctricas con obras subterráneas, por lo tanto, los temas relacionados a la triple restricción se abordaron de forma general desde la perspectivas de construcción proyectos de hidroeléctricos, el análisis de secuencias constructivas se abordó con el apoyo de literatura de excavaciones subterráneas en minería, identificando análisis similares de estabilidad y secuencias constructivas como la planteada en esta investigación, por último, en relación a las buenas prácticas de ingeniería, se identificó el apoyo en la normatividad americana y nacional donde se puede contar como referente para la toma de decisiones de planeación y construcción de obras. Finalmente, se concluye que la alternativa identificada es constructivamente lógica y cumple con todos los requisitos necesarios de construcción de las estructuras principales para la puesta en servicio de las cuatro unidades del sector sur, adicionalmente se identifica una ganancia programática en la construcción de la

alternativa propuesta versus la construcción en su localización actual. Este proyecto debe ser complementado con un estudio investigativo geológico y geotécnico que brinde mayor información frente a las características del sector identificado.

Palabras clave: Obstrucción, túneles, casa de máquinas, hidroeléctrica, presa.

Abstract

Last April 28, 2018, the Hidro Ituango project suffered one of the most unprecedented events in the world of hydroelectric construction and it was that due to the obstruction that occurred in one of its river detour tunnels, the filling of the reservoir was accelerated in an unscheduled manner, generating a possible overtopping of the water over the dam, affecting the communities downstream of the project due to the sudden growth of the river levels.

In order to avoid the catastrophe, the company EPM, responsible for the construction, decided to let the water flow over the power generation system, which, not being finished, suffered damages and affectations in the structures of the rock massif and constructions of the whole generation system.

Given this situation, this research work is proposed with the main objective of analyzing possible alternatives valued from the perspective of constructive and comparative viability at a programmatic level that provide solid arguments to rebuild the power house in the southern sector. The comparative was developed between reconstructing the four missing units in the same sector or in different sectors, using a programming analysis and logical constructive sequences, thus determining the differences between the alternatives studied.

The methodology applied for carrying out the project has a quantitative approach that allows gathering the necessary information for the technical support of identifying the best construction alternative using parameters of lessons learned from the initial construction of the project and others taken from the experiences of experts consulted that

determine the feasibility of the construction sequence and the programmatic analysis of the alternative, giving a scope that allows comparing the current condition against the proposed alternative and identifying its advantages and disadvantages. As part of the process of analysis of the best alternative, we resorted to the identification of bibliographic references considered relevant in cases of construction processes of large caverns. In this way, ten and site documents were reviewed in Science Direct, with the criteria of "triple extended constraint in hydroelectric projects", "logical construction sequences in the construction of hydroelectric projects" and "good engineering practices in the construction of hydroelectric projects". As a relevant result, it was identified the lack of literature related to the construction of hydroelectric power plants with subway works, therefore, the topics related to the triple constraint were approached in a general way from the perspective of construction of hydroelectric projects, the analysis of construction sequences was approached with the support of literature on subway excavations in mining, Finally, in relation to good engineering practices, support was identified in the American and national regulations, which can be used as a reference for decision making in planning and construction of works.

Finally, it is concluded that the identified alternative is constructively logical and meets all the necessary requirements for the construction of the main structures for the commissioning of the four units in the southern sector, additionally a programmatic gain is identified in the construction of the proposed alternative versus the construction in its current location. This project should be complemented with a geological and geotechnical research study to provide more information on the characteristics of the identified sector.

Keywords: Obstruction, tunnels, powerhouse, hydroelectric, dam.

Tabla de Contenido

Lista de tablas.....	13
Lista de figuras.....	14
Introducción	15
Problema	17
Justificación	21
Objetivos.....	25
Objetivo General.....	25
Objetivos Específicos.....	25
Alcance	26
Limitaciones o restricciones	27
Metodología	28
Generalidades.....	28
Diseño cuantitativo, no experimental	30
Enfoque Metodológico.....	33
Recolección de datos.....	34
Instrumento de recolección de datos.....	34
Técnicas de procesamiento de datos.....	35
Herramientas para el procesamiento de datos.....	36
Resumen de contenido	40
Marco teórico	41
Marco conceptual.....	44
Gestión de integración	45

	11
Gestión del alcance del proyecto	46
Gestión del alcance del cronograma del proyecto	47
Gestión de costos	48
Gestión de las comunicaciones del proyecto	48
Gestión de los riesgos del proyecto	49
Gestión de conocimiento.....	50
Lecciones aprendidas.....	50
Estado del arte.....	52
Marco legal.	54
Conclusión del apartado 1.....	62
Desarrollo del Proyecto.....	64
Fase 1 Fase de identificación de alternativas	64
Fase 2 . Estudio de la alternativa	79
Conclusión del apartado 2.....	87
Resultados y discusión.....	89
Desventajas.	92
Discusión.....	95
Conclusiones.....	97
Bibliografía	98
Apéndices.....	103
Apéndice A. Cronograma de situación actual.....	104
Apéndices B. Esquemas de Alternativa estudiada formato DWG.....	105
Apéndices C. Actividades y cantidades formato Excel.	106

	12
Apéndice D. Cronograma de alternativa de construcción.....	107
Apéndice E. Comparativo de cronogramas de obra.....	108

Lista de Tablas

Tabla 1. Registro de lecciones aprendidas	59
Tabla 2. Listado de WBS sistema de generación sector sur	75
Tabla 3. Beneficios de la construcción de la Alternativa.....	91
Tabla 4. Riesgos identificados	93

Lista de Figuras

Figura 1. 3D Hidro Ituango.....	66
Figura 2. Obra subterránea actual	67
Figura 3. Perfil longitudinal de Hidro Ituango.....	67
Figura 4. Perfil longitudinal de las Cavernas en Hidro Ituango	69
Figura 5. Foto 1. Caverna de Máquinas	70
Figura 6. Foto 2 Caverna de Almenara	71
Figura 7. Foto 3 Caverna de transformadores.....	72
Figura 8. Foto 4 Túnel de descarga.....	73
Figura 9. Cronograma situación actual	76
Figura 10. Listado específico de actividades	78
Figura 11. Vista 3D Modulación.....	80
Figura 12. Vista 3D Modulación.....	81
Figura 13. Vista 3D Modulación	82
Figura 14. Listado de actividades y cantidades	83
Figura 15. Cronograma de alternativa de construcción	84
Figura 16. Listado específico de actividades de la alternativa.....	86
Figura 17. Comparativo de cronogramas de obra.....	89

Introducción

El desarrollo social de un país se puede evidenciar en la calidad de vida de las personas que conforman esa sociedad. Contar con servicios básicos es un principio fundamental para aportar en la mejora de la calidad de vida de las personas. Contar con sistemas de generación de energía amigables con el medio ambiente es una tarea claramente establecida por el mismo ser humano, para con ello dejar de depender de sistemas de generación que contaminan más nuestro ecosistema como es el caso de los combustibles fósiles (Cubillos & Saavedra, 2011).

El proyecto Hidroeléctrico Ituango nace de la iniciativa de producir el 17% de energía para nuestro país y cubrir la gran demanda que se proyecta tener por el crecimiento de la población en los siguientes años (Grupo EPM, 2017).

Con los acontecimientos descritos del 28 de abril de 2018 en el proyecto, la necesidad de entrar en servicio toma mucha más relevancia al determinar la cantidad de afectaciones que se desprenden de un suceso inédito como fue el taponamiento de los túneles, el llenado anticipado del embalse y la obligada necesidad de inundar las obras subterráneas para evitar una catástrofe incalculable con el desbordamiento de la Presa y las afectaciones a las comunidades aguas abajo del proyecto (Agencia EFE, 2019).

En pro de mitigar las afectaciones causadas por dichos acontecimientos, el siguiente trabajo de investigación presenta un análisis programático de nuevas alternativas de construcción para la generación de energía del sector sur del Proyecto Hidroeléctrico Ituango, y con esto, aumentar la posibilidad de contar con el sistema de generación completo lo antes posible, mitigando los impactos económicos y dando

cumplimiento con los compromisos que tiene el proyecto referente al suministro de energía.

Basados en los procesos de gestión de proyectos que establece la guía PMBOK (2017), se desarrollaron una serie de fases que permiten determinar un arreglo óptimo del análisis programático que, desde una óptica gerencial, permita evaluar técnicamente la viabilidad de construcción del sistema de generación del sector sur en otro sector o definitivamente concluir que programáticamente es mejor mantener la condición actual de diseño.

Problema

El 10 de mayo de 2018 Empresas Públicas de Medellín (EPM) como responsable por la construcción del proyecto Hidroeléctrico Ituango, decidió liberar el paso del agua por las estructuras subterráneas sin estar culminadas las obras, todo esto a razón del lleno anticipado del embalse por el taponamiento del túnel de auxiliar de desviación (Agencia EFE, 2019)

El taponamiento de los túneles que realizan la tarea de desviar el río durante el periodo de tiempo que tarda la construcción de la Presa y obras asociadas para la contención del embalse y el sistema de caudal ecológico es el detonante de la condición de emergencia que se vivió en el proyecto Hidro Ituango (CONSULTING, SKAVA, 2019). Con el taponamiento del túnel de desviación se anticipó el llenado del embalse del río, sin tener las estructuras de contención de agua principales listas como la Presa y el Vertedero. EPM decidió encausar las aguas por las obras subterráneas tales como los túneles de conducción y sistemas de generación para evitar la catástrofe humana ambiental por el rebose del embalse en la Presa (Agencia EFE, 2019).

El paso incontrolado de agua por el sistema de generación de energía, causó daños muy graves en la estructura de las obras que se adelantaban a la fecha, por causa de los diferentes fenómenos físicos presentados como socavación, cavitación, golpe de ariete, entre otros, se causaron varios derrumbes, daños de tipo geológico, afectaciones al macizo rocoso, y en especial, afectaciones al sistema subterráneo de generación del sector sur de proyecto (CONSULTING, SKAVA, 2019).

Actualmente, el sistema de generación del sector sur se encuentra bajo diferentes

zonas de derrumbes, y se estima que el sistema de túneles de conducción tiene una cantidad de material derrumbado cercano a los 150.000 m³, y la zona sur de Casa de Máquinas, Almenara y los sistemas de comunicación del lado sur presentan otro derrumbe cercano a los 80.000m³ de materiales rocosos y arcillosos; adicionalmente del material proveniente de los derrumbes generó taponamientos de los túneles de descarga, empeorando la situación.

Los daños y afectaciones de las obras en general, y específicamente del sistema de generación de energía del sector sur, se atribuyen a los altos niveles de caudal que sometieron al túnel de desviación del río Cauca a trabajar en una condición superior para la cual fue diseñado y el incremento de los caudales que se presentó por la temporada de invierno que se tenía durante el periodo (IDEAM, 2018, pág. 3), generó procesos erosivos que causaron derrumbes dentro del túnel de desviación, y finalmente taponaron la salida del agua (SKAVA, CONSULTING, 2019, pág. 29).

Tomando como base la guía de conocimientos PMBOK (2017) donde indica: “...dentro de los activos de los procesos de la organización está la base del conocimiento, mencionando que las lecciones aprendidas son una de las herramientas fundamentales dentro de la propia organización...”

El problema principal a estudiar es la consolidación de la información de lecciones aprendidas frente a sucesos similares en otras hidroeléctricas que permitan analizar la factibilidad programática de la construcción del sistema de generación del sector sur, determinando su ubicación ideal e implementando la gestión de integración y cronograma como factores determinantes asociados a la gestión de recursos que indiquen

la viabilidad constructiva de las alternativas, comparando con la situación actual de diseño; permitiendo generar indicadores que faciliten la revisión del cliente sobre la viabilidad de las alternativas de acuerdo a una perspectiva costo-beneficio.

EPM realizó acercamientos con la empresa CONSULTING SKAVA con el fin de recopilar un informe causa raíz, con lo que se presentan entre las posibles hipótesis, fallas técnicas en la concepción de los diseños para la excavación de túneles de desviación del río (CONSULTING, SKAVA, 2019, pág. 23), el tiempo de exposición a la presión del agua de obras subterráneas no diseñadas para tal fin tales como túneles no hidráulicos que soportaron el paso no controlado de agua, las características de los materiales empleados en la construcción, tratamientos ejecutados en la roca excavada que no garantizan la estabilidad de las estructuras, entre otras posibles. Son hipótesis que por la condición del embalse no se podrán demostrar, impidiendo concluir con exactitud las causas que desataron esta situación en el proyecto Hidroeléctrico Ituango.

La consideración actual que tiene EPM como responsable de la construcción es recuperar esta zona y desarrollar la construcción del sistema de generación del sector sur como está considerado en su proyecto original.

La dificultad de estabilización de este sector, la incertidumbre de no poder conocer la magnitud real de los derrumbes y afectaciones causadas en el macizo rocoso, asociadas a la necesidad de pensar que la Hidroeléctrica debe operar por un periodo superior a 50 años, genera cierto grado de incertidumbre sobre recuperar y trabajar en esta misma zona alterada, y más, poder garantizar a las empresas aseguradoras la estabilidad y viabilidad del proyecto.

Adicionalmente, el incumplimiento de las obligaciones para con la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), por parte de EPM es tan crítico que requiere que el funcionamiento de la hidroeléctrica sea en el tiempo pactado, debido a los altos costos que conlleva la no generación de energía.

Con lo anterior, se formulan las siguientes preguntas:

Al momento del cierre de los túneles de desviación, ¿Cómo fue el proceso de análisis de riesgos que se genera de las lecciones aprendidas de la construcción de hidroeléctricas?

En estos momentos, ¿Qué tipo de alternativas constructivas es posible aplicar para que, validadas con un soporte programático, permitan colocar en operación el total de las unidades de generación en el menor tiempo, manteniendo los criterios de lecciones aprendidas como referente para su desarrollo?

Justificación

La situación actual que atraviesa EPM como responsable por la construcción y puesta en servicio del proyecto hidroeléctrico Ituango, es extremadamente particular y sin igual en el mundo. El presente proyecto de investigación es relevante debido a la falta de análisis basados en estudios de lecciones aprendidas en obras similares de infraestructura que permitan la correcta implementación de estrategias en gestión de proyectos para el desarrollo técnico de la reconstrucción del sistema de generación de energía del sector sur en el proyecto hidroeléctrico Ituango en el menor tiempo posible, siendo la hidroeléctrica afectada por los diferentes problemas que se generaron a razón de los eventos ocurridos el pasado 28 de abril 2018 por el taponamiento del túnel del sistema GAD, lo cual obligo al llenado anticipado del embalse y dar paso del agua por el sistema de generación de energía en construcción, causando:

Daños de tipo geológico y estructural en la zona de la caverna de unidades generadoras, que, para ser solucionados requieren de la realización de todos los trabajos de reforzamiento de la estructura que sean necesarios.

Derrumbes en las estructuras subterráneas por el paso incontrolado del agua; siendo necesario garantizar la estabilización del macizo rocoso donde se localizarían las estructuras.

Depósito de material de derrumbe sobre las unidades de generación, con cerca de 150.000 m³ de material, por lo cual es necesaria la remoción para efectos de finalización de la construcción de las unidades generadoras, permitiendo tener un paso de agua

controlado que brinde un mejor manejo de los niveles del embalse seguros para el proyecto y la comunidad ribereña.

Llenado anticipado del embalse del río, por lo que es muy importante contar con un sistema alternativo al vertedero el cual tiene una capacidad de evacuación de 22.600 m³/seg (Hidroeléctrica Ituango, 2012, pág. 54) para el control de los niveles de agua del embalse que pueden alcanzar crecientes de hasta 20.000m³ para un período de retorno de crecientes del río de 500 años.

Inconvenientes en el control del embalse del río frente a posibles crecientes, siendo necesario el pronto inicio de la generación de energía para tener el sistema de evacuación del agua por las turbinas generadoras, obteniendo una capacidad de evacuación de 1.348m³/seg (Hidroeléctrica Ituango, 2012) de forma controlada y segura para el proyecto.

Otra situación que se suma a la problemática, es el pago de multas ante CREG, por lo cual se tienen sanciones muy perjudiciales para el proyecto, así como el lucro cesante, presentándose la solución de colocar en servicio lo antes posible las unidades generadoras, evitando sanciones y de esta forma cumplir con el propósito principal del proyecto.

Por último, el gran problema de racionamiento de energía que enfrentaría el país al no contar con el suministro energético del 35% que se tiene estimado aportara Hidro Ituango.

Las implicaciones que se generaron para EPM a nivel político son de gran responsabilidad, como los temas tratados en los debates con el Consejo de Medellín:

“...Otro de los puntos tocados en el debate de control político a EPM, fue el de las repercusiones económicas que traerá la emergencia y los caminos que la empresa debe tomar. Para el concejal Bernardo Alejandro Guerra, la empresa debió desinvertir en UNE (en la que participa con el 50 %) y se deben revisar inversiones como las que se tiene en Oruro (Bolivia), Adasa (Chile) y Gas Oriente. “El escenario de desinversión debe ser definitivo. No hay otra manera de salvar el proyecto. Aseguradores de riesgo dicen que es el momento, no de que le entregue réditos al Municipio de Medellín, sino que este le ayude a EPM”, acotó y concluyó que los impactos estimados, entre 2018 y 2022, en caja son de \$9,6 billones, “lo que traerá muchas dificultades al próximo alcalde...” (Álvarez, 2018).

Por todo lo anterior, es necesario actuar de forma adecuada ante la necesidad generación de producción de energía para el país, con la implementación de estrategias en gestión de proyectos que aporten en la reconstrucción del sistema de generación de energía del sector sur que permitan su puesta en servicio en el menor tiempo posible y de forma segura para los constructores y comunidades cercanas; manteniendo los estándares normativos nacionales e internacionales en procesos de construcción, permitiendo otorgar un alto nivel de seguridad en relación a la estabilidad del macizo rocoso, garantizando el control del embalse con el paso del agua por las estructuras finalizadas y diseñada para tal fin y adicionalmente la puesta en operación de las unidades en un menor tiempo al establecido actualmente, que permitirá dar cumplimiento con los compromisos adquiridos en la subasta de energía, evitando acarrear multas económicas.

Las estrategias constructivas que se deben implementar a razón de tener una nueva localización, determinarán la efectividad en la construcción, tiempos de desarrollo

y lo más importante, permitirán la simultaneidad de actividades que logren alcanzar el objetivo principal de puesta en generación de energía, así como atender los compromisos económicos ante la CREG.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar el estudio de factibilidad técnica y plazo de diferentes alternativas de reconstrucción del sistema de generación de energía del sector sur mediante la aplicación del conocimiento de lecciones aprendidas, gestión de la integración y gestión del cronograma que se relacionan en el PMBOK.

Objetivos Específicos

Identificar las características técnicas de lecciones aprendidas frente a la ejecución de proyectos de hidroeléctricos que permitan argumentar la viabilidad técnica de reconstrucción del sector sur en otra localización.

Examinar la caracterización de las alternativas de reconstrucción del sistema de generación de energía mediante la aplicación de las herramientas de gestión de integración y cronograma de la guía PMBOK.

Determinar la viabilidad técnica de la mejor alternativa de reconstrucción del sistema de generación de energía del sector sur en el proyecto hidroeléctrico Ituango que permita su reconstrucción en el menor tiempo posible.

Alcance

El alcance del proyecto está enmarcado en proponer una alternativa de construcción del sistema de generación del sector sur del proyecto hidroeléctrico Ituango en una localización diferente a la definida actualmente en los planos de construcción; determinar las actividades necesarias para llevar a cabo dicha propuesta; desarrollar los esquemas en 3 dimensiones que expliquen la propuesta; y, finalmente realizar el análisis programático de la alternativa que permita tener un comparativo entre la situación actual del proyecto y la alternativa planteada para de esta forma identificar el diferencial de tiempo de construcción entre las dos situaciones.

Limitaciones o restricciones

Entre las limitaciones que identificamos tendría el proyecto:

Este proyecto se desarrolla con fines académicos para la maestría en gerencia de proyectos, y no hace parte de la toma de decisiones por parte de EPM para su implementación y/o ejecución.

Toda la información suministrada para el planteamiento de las alternativas hace parte del estudio de una idea centrada en determinar la viabilidad constructiva de todo el sistema de generación del sector sur en otra localización y su componente cronológico, por lo tanto, carece del análisis geotécnico y geológico necesario para concluir su viabilidad, dicho estudio hace parte de otro análisis e investigación específicos.

Los conceptos concluyentes de la secuencia constructiva determinada hacen parte de las reuniones específicas con personal experto y experiencia propia del autor del proyecto, por lo tanto, pueden existir otros procedimientos constructivos que apliquen para el desarrollo del proyecto.

El tiempo de ejecución del proyecto es una limitante en relación al cumplimiento de las fechas de entrega parciales que dependen de las revisiones de los asesores del proyecto.

Metodología

Generalidades.

Cada proyecto es único y como tal tiene sus desafíos y particularidades que lo componen, diferenciándolo de cualquier otro proyecto, existiendo varias formas de gestionar proyectos acordes a las necesidades o los intereses de las empresas.

Le experiencia del mercado nos ofrece diferentes metodologías o estándares que se han propuesto por diferentes organismos internacionales y con éxito contundente en la aplicación de los mismos. Estas metodologías tienen muchas cosas comunes, mantienen el objetivo de contar con la gerencia de proyectos y, además, con el uso de herramientas diferentes.

El Project Management Institute PMI, nos ofrece su guía de conocimiento PMBOK (2017) que por tener un reconocimiento mundial, gracias a su conceptualización estándar y uso de lenguaje internacional, la hace principalmente reconocida para su implementación en la búsqueda del objetivo principal de este proyecto, de forma que se pueda determinar la viabilidad técnica de la reconstrucción del sistema de generación del lado sur del proyecto hidroeléctrico Ituango y posteriormente buscar su aplicabilidad en otro tipo de proyecto de infraestructura similares.

Para la implementación de la metodología a nivel PMBOK, tendremos la gestión de Integración donde “...Los directores de proyecto son responsables de guiar al equipo para trabajar en conjunto, centrándose en lo que es realmente esencial a nivel de proyecto. Esto se logra a través de la integración de procesos, conocimientos y personas...” (PMI. 2017. Pág. 66).

La aplicación de los conceptos conocidos a lo largo de la construcción de los proyectos permite generar eficiencia y eficacia en la búsqueda del cumplimiento de los objetivos, las lecciones aprendidas son una herramienta que permite mantener el registro y la trazabilidad de la manera en que fueron resueltas las diferentes situaciones que se presentaron en los proyectos (Cardona Parra, 2019), esto, con el propósito de fortalecer la búsqueda de objetivos del proyecto y evitar sobrecostos por procesos lentos o complejos durante la planeación o ejecución y fortalecer la eficiencia económica del proyecto frente a la complejidad de construcción o puesta en servicio, teniendo en cuenta las características de embalse del sector (Locatelli, Palermo, & Mancini, 2015).

Existen herramientas que permiten al gerente de proyectos ser eficaz en la toma de decisiones y más aún, ser competitivo y productivo en la ejecución de sus proyectos, teniendo la aplicación de la triple restricción ampliada como una de estas herramientas, que, con su aplicación en los procesos de gestión permite mantener un control frente a las implicaciones de las restricciones en los diferentes procesos. Los altos costos que se pueden generar en la ejecución de proyectos de gran envergadura por los retrasos en tiempo y puesta en funcionamiento son muy estudiados y analizados (Jenkins, 2016). Otros autores en la búsqueda de un análisis de la eficiencia de la producción de los proyectos hidroeléctricos vs el costo de implementación, han implementado modelos matemáticos que les permita conceptualizar de una mejor manera la viabilidad de construcción de los proyectos, identificando las dificultades para actuar de forma eficiente (Abdus Samad Azad a, 2020). Otra característica muy relevante es el conocimiento de la información y la posible manipulación de los resultados para terminar

favoreciendo el desempeño o desarrollo de un proyecto, y la importancia de conocer sobre el negocio y aplicar las experiencias y conceptos básicos se torna de suma importancia para evitar engaños o generación de falsas expectativas frente a los proyectos (Schulz & Skinner, 2022).

Diseño cuantitativo, no experimental

Dado que el objeto principal de la investigación, será el estudio de factibilidad constructiva, se tendrá una teoría de diseño no experimental, que aplicará de manera transversal y dará sustento teórico suficiente para generar un análisis crítico de la alternativa, se procederá a realizar una investigación de tipo exploratorio-descriptivo para identificar las posibles alternativas de reconstrucción del sistema de generación del sector sur del proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Según Hernández Sampieri (2003), el tipo de diseño no experimental se define como la investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables, y en la que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos. No se modifica ninguna variable por la concepción de la construcción.

Para Hernández Sampieri (2003), el diseño no experimental se divide tomando en cuenta, el tiempo durante el cual se recolectan los datos, estos son:

Diseño Transversal, donde se recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único, su propósito es describir variables y su incidencia de interrelación en un momento dado.

Diseño Longitudinal, donde se recolectan datos a través del tiempo en puntos o periodos, se complementa la información para hacer inferencias respecto al cambio,

establecer sus determinantes y sus consecuencias.

La determinación de una nueva ubicación requiere el complemento de varios estudios (Jeftenić, Rašeta, Kolaković, Kolaković, & Mandić, 2021), identificar posibles sitios y realizar los análisis necesarios es un trabajo en equipo que requiere la conceptualización de diferentes especialistas y el desarrollo de secuencias lógicas y metodologías de trabajo eficientes para lograr el cumplimiento de los tiempos establecidos en los cronogramas de trabajo (Jean-François Cyr, 2011). Para el desarrollo específico de esta investigación se contó con la colaboración de tres especialistas cuyos perfiles laborales se enmarcan en; Especialistas en movimiento de tierras con experiencia superior 30 años, especialista en construcción de obras subterráneas con experiencia superior 30 años y especialista y experto en planeación y programación de obras, con experiencia superior a 40 años.

El poder rescatar las experiencias de otros proyectos se conforma en la materia prima fundamental para sustentar la metodología de construcción (Thomas Gislera, 2018).

En vista de la dificultad que existe en relación a la identificación de experiencias exactas frente a secuencias constructivas o metodologías de excavación para hidroeléctricas, nos apoyamos en experiencias y artículos de procesos de minería (Xia-Ting Feng, 2021), donde se muestran análisis de deformación de las cavernas o la modelación de modelos finitos para considerar la estabilidad de las cavernas durante la excavación y construcción de las obras principales (Andrea Lisjak a, 2014). Otros documentos que relacionan la importancia de la ejecución de procesos lógicos de

construcción donde no se afecten unas obras al momento de ejecutar trabajos de excavación con cavernas cercanas en otras, es (Ran, 2019), y estudios apoyados en la modelación en 3D de secuencias de construcción de túneles con (Beyabanaki Amir Reza, 2017) y (Han, Liu, & Mcmanus, 2019), son fuentes de consulta, donde las secuencias lógicas de construcción son evidentes e identificadas en las etapas de planeación para permitir el correcto desarrollo de las actividades de forma segura y eficiente.

El enfoque dado al desarrollo de la aplicación de las buenas prácticas de ingeniería está enmarcado en la ética y la responsabilidad de ejecutar las actividades acordes a la lógica y la necesidad del desarrollo de las tareas, respetar los procesos y el medio ambiente con estudios serios y confiables (Robert Pella, 2019).

Es muy importante resaltar que por buscar rapidez en la conclusión de los trabajos muchas veces se incurre en equivocaciones que se tornan determinantes para el fracaso de los proyectos (Huang, 2013) y se debe tener la mayor información para generar los casos de estudio necesarios que permitan contar con un análisis de riesgo lo más completo posible que facilite la toma de decisiones en un momento determinado (Marengo, 2013)

Para este proyecto como se indicó anteriormente, se usó el diseño no experimental ya que la base fundamental de la información se recopiló de la experiencia anteriormente obtenida en la construcción inicial de las obras, igualmente las posibles alternativas de reconstrucción, fueron de tipo exploratorio basados en supuestos técnicos que surgieron de consultas propias a expertos de construcción de actividades similares.

Su aplicación de manera transversal se indicará a razón de tomar como base inicial las duraciones y secuencia empleada en la construcción inicial del sector sur,

previo a la contingencia que ocasionó los daños en el sistema de generación. Según los diseños de investigación transaccional o transversal se recolectaron los datos en un solo momento, en un tiempo único. Su propósito es describir variables, y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado.

Enfoque Metodológico

El siguiente trabajo se desarrolla desde un planteamiento metodológico de enfoque cuantitativo, ya que la necesidad de la identificación de las mejores características de las posibles alternativas de reconstrucción es vital para la conclusión que permita tomar las mejores decisiones, igualmente es la que está más acorde a la necesidad de comparación de las diferentes posibilidades encontradas.

El método empleado fue bajo el análisis cuantitativo de datos, el cual se elaboró bajo la técnica de análisis de contenido de documentos, textos, registros fotográficos, especificaciones técnicas y toda la información relacionada con el proyecto. tomando como referencia Carlos Monje donde indica "...La pretensión explicativa es característica de los estudios cuantitativos, de donde se deriva la predicción, la manipulación técnica y el control sobre los acontecimientos o hechos, preferencialmente del mundo natural..." (C.A. Monje 2011, pag.15).

Para el proyecto se determinó un alcance de tipo correlacional, con el cual se logró determinar y comparar la mejor alternativa de construcción estudiada, contra la situación actual de diseño conocida, esto permite bajo argumentos sólidos, generar las mejores recomendaciones al cliente. Según Hernández define la investigación correlacional como el ejercicio con la cual se relacionan las variables que se tiene, las

cuales serán analizadas de forma que se pueda generar una conclusión ampliamente argumentada (Hernández S. R., Fernández C. C and Baptista L.P. 2003).

Recolección de datos.

Para soportar el análisis del problema, se realizó la recolección de datos necesarios que fueron base para el desarrollo y fundamentación de la investigación. Esta información técnica consta de los planos donde está diseñada la construcción actualmente, especificaciones técnicas de construcción, fotografías y antecedentes referentes al evento ocurrido que causó los daños de las instalaciones actuales, e identificación de los tiempos tomados durante la ejecución de las obras antes de la contingencia presentada.

La información se puede consultar en documentos de carácter público emitidos por EPM en sus diferentes comunicados y sitios web, adicionalmente toda la información proporcionada en los pliegos de la licitación inicial del proyecto.

Instrumento de recolección de datos.

Como instrumento de revisión documental de la información que se tiene de la construcción inicial del proyecto, se utilizó información contenida en los documentos tales como: especificaciones técnicas de construcción, datos históricos de actividades ejecutadas, tiempos de rendimientos de las actividades desarrolladas, planos y diseños usados en la construcción, adicionalmente se realizaron diseños básicos con la localización de la otra alternativa identificada, a las cuales se les realizó el cronograma de obras de modo que se pueda analizar y comparar la alternativa propuesta, bajo los mismos criterios de la opción actual.

Otro instrumento a utilizado fue el Grupo focal, donde se contó con los aportes del personal experimentado en obras similares, los cuales dieron indicaciones sobre mejorar la alternativa propuesta y profundizar en la construcción de las actividades preliminares que finalmente conformaron el cronograma de actividades, igualmente revisaron la secuencia de construcción de las actividades determinando la secuencia planteada para la construcción de la alternativa.

Técnicas de procesamiento de datos.

Conocidos los antecedentes y parámetros definidos para la construcción, basados en los estándares establecidos en las especificaciones técnicas del proyecto actual, se identificaron las posibles zonas que bajo el uso de modelaciones graficas permitieron la construcción de una nueva alternativa del sistema de generación de energía del sector sur, el uso de herramientas de diseño asistido por computador, permitió evidenciar el nuevo sector de construcción.

Como resultado de las simulaciones anteriormente mencionadas se generaron esquemas con medidas a escala y en diferentes visuales, permitiendo construir el soporte de la documentación que generó los reportes preliminares de la nueva localización del sistema de generación del sector sur. La propuesta grafica de la localización alternativa cumple con las recomendaciones necesarias establecidas en las especificaciones técnicas del proyecto actual, adicionalmente se realizaron todos los cálculos necesarios de dimensiones en túneles y cavernas, así como cantidades de materiales a excavar y cantidades de concretos a construir.

Dichos esquemas se elaboraron previo a la lluvia de ideas desarrollada con la

ayuda de los integrantes del grupo focal que alimentó la primera instancia de alternativas.

Basados en la información anterior se implementó la utilización de cronogramas de actividades diagrama de Gantt, el cual debe reflejar la cantidad de tiempo que tardara cada una de las actividades necesarias que se ejecutaran y considerar los incrementos posibles de las duraciones por el cumplimiento de las normas de bioseguridad, adicionalmente se debe integrar un diagrama de Hitos, que permita identificar los hechos más importantes asociados a la identificación de las fechas de inicio y fin de las estructuras más relevantes del sistema de generación.

Herramientas para el procesamiento de datos.

La elaboración de los esquemas con las alternativas se desarrolló con la ayuda de software de diseño AutoCAD, igualmente el cálculo de las cantidades de las actividades se desarrolló con la ayuda de la misma herramienta y adicionalmente plantillas de Excel que permitieron unificar y cuantificar todos los datos necesarios que fueron el suministro para la elaboración del cronograma de actividades.

Para la elaboración de los cronogramas se trabajó con el software Synrho, el cual permitió la construcción del cronograma bajo el uso de diagramas de Gantt y diagrama de Hitos, este insumo será utilizado para el análisis de las de las alternativas y desarrolla la integración de la línea de tiempo del cronograma con las alternativas gráficas en tres dimensiones permitiendo visualizar las secuencias lógicas necesarias para la construcción de todas las estructuras de generación.

Esta información fue evaluada bajo los criterios de las buenas prácticas de la construcción de obras y se deben considerar la implementación de todos los protocolos de

bioseguridad establecidos por la ley. Adicionalmente debe ser comparada con el cronograma de las actividades de sistema sur en la localización actual; este cronograma se construyó bajo los mismos criterios de diagramas de Gantt y diagrama de Hitos, esto para tener el mismo punto de partida y facilidad de análisis visual.

Como conclusión, se tomarán todos los informes parciales elaborados anteriormente y basados en los resultados de los comparativos de los cronogramas elaborados, se presentó el consentimiento sobre la mejor propuesta de construcción, tomando como insumo determinante la alternativa que tome el menor tiempo en la puesta en servicio del sistema de generación del sector sur del proyecto Hidroeléctrico Ituango. Desarrollo del proyecto.

Para el desarrollo del proyecto, fue necesario establecer 3 fases de seguimiento que determinaran la ruta a seguir en pro del cumplimiento de los objetivos establecidos previamente:

Fase 1. Fase de identificación de alternativas

Actividades a desarrolladas:

Etapa 1: se realizó una reunión de iniciación para determinar las características generales del proyecto y se estableció por medio de lluvia de ideas y grupos focales el material necesario para la construcción del plan de dirección que permitió enrutar al equipo de trabajo en el desarrollo del proyecto.

Etapa 2: se recopiló toda la información existente del proyecto, especificaciones técnicas, planos de construcción actuales, fotos del estado actual del proyecto, informes de avance de las obras.

Etapa 3: teniendo como referencia la información anterior, los análisis de las lecciones aprendidas y la literatura relacionada con análisis de la triple restricción ampliada, secuencias de construcción y aplicación de buenas prácticas de ingeniería consultadas desde el buscador Science Direct, se realizó el análisis e identificación de las posibles zonas de reubicación del sistema de generación del sector sur, partiendo de la ubicación actual y creando un borrador esquemático, el cual fue finalmente analizado con los expertos, se seleccionó la alternativa estudiada y de forma paralela se construyó las WBS del cronograma de obras de la condición actual del proyecto que permita tener un punto de partida en relación a tiempos y recursos que se emplearían en la construcción de las obras y de esta forma construir posteriormente el cronograma de las actividades a realizar con la alternativa propuesta.

Fase 2. Análisis de las alternativas

Actividades a desarrolladas:

Etapa 4: se realizó una reunión con los expertos para la presentación de las zonas identificadas como alternativas de la reconstrucción para tener un concepto técnico que permitió realizar la modulación de la alternativa.

Etapa 5: se realizó la modulación de la alternativa definida con los expertos, apoyados en la ayuda de los diseñadores bajo el uso de software de modelación de diseños, generando modelos en 3D que permitieron evidenciar a escala la ubicación de las obras y su distribución.

Etapa 6: Se determino la definición de actividades para proceder con todos los cálculos de longitudes de túneles, cantidades de excavación, tratamientos, volúmenes de

concreto etc. suministro necesario para la elaboración del cronograma y cálculo de recursos de la alternativa estudiada.

Etapa 7: se construyó el cronograma de actividades con los datos identificados en la etapa 6, se contó con el software Synchro especializado para el diagrama de Gant, adicionalmente se contó con la asesoría de los especialistas, bajo reuniones de socialización, por medio de las cuales se realizó el análisis de rendimientos y secuencia de ejecución de las obras.

Fase 3. Fase de evaluación y conclusiones

Actividades a desarrolladas:

Etapa 8: se realizó un comparativo de los cronogramas elaborados de las diferentes alternativas estudiadas para definir a nivel programático las diferencias que se presentan en las diferentes propuestas de construcción.

Etapa 9: Análisis de los beneficios esperados, tomando como premisas los factores de seguridad del proyecto y posibles afectaciones por sanciones económicas.

Etapa 10: Discusión y conclusiones generales, donde se determine una posible toma de decisiones para la construcción de la alternativa, o se generen espacios de profundización de los análisis estudiados.

Resumen de contenido

Este documento está construido en tres capítulos, los cuales desarrollan el estudio de análisis programático de una alternativa técnicamente validada para la construcción del sector sur de generación de energía del proyecto hidroeléctrico Ituango. El primer capítulo está enfocado a desarrollar el marco teórico conceptual, estado del arte y marco legal, suministro básico para generar el soporte del estudio. El segundo capítulo, desarrolla el proyecto en general, está dividido en dos fases que a su vez contienen una serie de etapas que paso a paso toman la información, conceptúa, analiza, sustenta gráficamente y programáticamente la alternativa planteada. Por último, tenemos el tercer capítulo que contiene la fase tres del proyecto, donde se realiza el comparativo entre los análisis programáticos en tiempo que tiene la alternativa de construcción y la condición actual del proyecto, permitiendo generar unas conclusiones que finalmente establecen las bases de las discusiones necesarias que determinen viabilidad o incentiven a desarrollar más estudios complementarios de la alternativa propuesta.

Marco teórico

El desarrollo del siguiente apartado está enfocado en determinar el marco sobre el cual se soportará el fundamento de desarrollo del proyecto que establece como sus principios de ejecución.

Tomando como referencia el resumen de lecciones aprendidas determinado por las diferentes experiencias del equipo de expertos que apoyaron el desarrollo de la iniciativa y las lecciones identificadas a lo largo de la construcción del proyecto Hidro Ituango, se consolidan los parámetros que determinan la viabilidad de la secuencia constructiva y su respectivo análisis programático de la alternativa construcción del sector sur de las unidades de generación de la hidroeléctrica.

El término proyecto abarca muchas connotaciones y para cada ejecutor puede tener un significado diferente; para definir un proyecto “se debe tener claro que debe tener un inicio y un fin, igualmente es único y puede ser un producto, servicio o resultado (PMBOK, 2017, pág. 36)

Según la Organización Internacional de estandarización ISO (ISO 10006 (international Organization for Standarization), 2018, pág. 24) define el Proyecto como:

“Proceso único, que consiste en un conjunto de actividades coordinadas y controladas con fecha de inicio y fin, llevadas a cabo para lograr un objetivo conforme con los requisitos específicos y requerimientos específicos, incluyendo limitaciones de tiempo, costo y recursos”

Para los ingenieros o arquitectos el termino proyecto es más común a la construcción, un proyecto de infraestructura se define como:

“como aquel que busca el mejoramiento y construcción de nuevos bienes o servicios que buscan el bien común en miras del desarrollo de un país, por ejemplo: Carreteras, puertos, aeropuertos, hidroeléctricas, etc.” (Fonseca Meneses, 2018, pág. 7).

Tomando como referencia el PMBOK como la agrupación de conocimientos, los cuales son registrados en la guía, la cual consolida los conocimientos de diferentes actores que de forma voluntaria, decidieron participar en la conformación del documento, consolidando entonces un recuento de conocimientos y buenas prácticas que involucran procesos, técnicas, habilidades. Para desarrollar un proyecto con éxito, la dirección de proyectos es fundamental en la concepción y desarrollo de un proyecto, el PMI (Project Management Institut) la define: *“Como la aplicación de conocimientos, habilidades, técnicas y conjunto de herramientas que nos permite alcanzar los requerimientos del proyecto”* (PMBOK, 2017, pág. 36).

Conocer el alcance total de la obra a desarrollar (SCOPE) es igualmente muy importante para lograr con éxito y cumplimiento del cronograma de actividades, permitiendo evitar sobre costos en los proyectos, hace parte de la conclusiones del artículo escrito por Rómel, Gilberto y Aldo para la revista *Jornal of Construction Engineering* donde después de analizar en diferentes proyectos el desarrollo de diferentes tareas vs la planeación inicial determinada se identificó que el objetivo principal se logra cuando se tiene pleno conocimiento de la obra a ejecutar. Por lo tanto, la importancia de

conocer el alcance es fundamental en la gestión de Planeación de cronograma del proyecto (Solís-Carcaño, Corona-Suárez, & García- Ibarra, 2015).

El éxito de un proyecto es un principio básico para los intereses de quienes se benefician de los resultados (Stakholder) y de quienes lo desarrollan (Empresas) la aplicación de la gestión de proyectos es clave para el logro de los objetivos propuesto (Whitty & Maylor, 2009).

El Brigadier Bernard Schriever de la fuerza área de los estados Unidos, fue el primero en integrar todos los elementos de un proyecto mostrando el programa y el presupuesto, ejecutados en paralelo y no en secuencia como se acostumbraba, desde entonces tenemos histogramas, cronogramas, conceptos de ciclo de vida de un proyecto y el conocimiento básico de la perspectiva de un proyecto como conocimiento general (Morris, Pinto, & Söderlund, 2012).

El método basado en la optimización del cronograma desarrollado en base en las actividades principales del proyecto, relacionadas con la integración de los recursos que permitiera fijar una línea base y poder medir los posibles desfases de cada actividad fue muy determinante en cuanto a aceptación como método (Kolisch, 1996), en línea con Baccarini debe existir una diferencia amplia entre analizar el producto final de un proyecto entregado con éxito desde el punto de vista de cumplimiento y el éxito de la gestión del proyecto medido desde los términos fundamentales de tiempo, costo y calidad; no es lo mismo decir que el proyecto fue exitoso cuando la empresa incurrió en muchos gastos para el cumplimiento de los objetivos (D. Baccarini, 1999).

Las técnicas de PERT/CPM son comúnmente conocidas en la administración de proyectos y siendo una metodología tradicional que asocia la duración y el costo, consigue determinar la duración de un proyecto (Taha, 2006).

El CPM permite encontrar la duración de un proyecto cuando se conoce con certeza las duraciones de las actividades, mientras que el PERT permite incorporar incertidumbre en estas duraciones, pero considera sólo las duraciones esperadas para identificar la ruta crítica (Muñoz, 2010.)

Marco conceptual

La situación actual de infraestructura en Colombia se citará un artículo de Bancoldex para el año 2013: “En los últimos años se ha ido desarrollando un amplio consenso sobre el pesado lastre que representa la carencia de adecuada infraestructura en Colombia para los propósitos de lograr acelerar el crecimiento hacia el 6% anual de forma sostenida (respecto del 4.5% que se observa actualmente por quinquenios) y para incrementar la productividad multifactorial hacia un mínimo del 2% (respecto del promedio histórico reciente del 1% anual) (Sergio Clavijo, 2013)

En Colombia tenemos a diario noticias donde se conocen muchos desaciertos en el desarrollo de proyectos de Infraestructura, actualmente tenemos gran cantidad de vías, colegios, (Dinero, 2020) pendientes por construir y con grandes sumas de dinero que el Consejo Superior de Política Fiscal (Confis) aprobó con inversiones de 11.5 billones para 50 obras de infraestructura, generando cerca de 105.000 de empleos en las regiones (Dinero, 2020), sabemos la dificultad que tiene el país a nivel nacional para desarrollar muchos de estos proyectos, por lo tanto, la importancia de la aplicación de los conceptos

de referencia que nos brinda el lenguaje universal de la guía PMBOK en los proyectos de infraestructura, hace que la vinculación con otras empresas de talla mundial se facilite al tener claros conceptos como Cronograma, Costos, gestión de riesgos etc. que conlleven a poder alcanzarlos con éxito los objetivos de cada proyecto.

Los proyectos de gran envergadura por su complejidad y gran cantidad de actividades asociadas entre ellas generan gran importancia a la hora de definir su secuencia y planeación, causando en la mayoría de los casos una dinámica y variación en el tiempo. Los modelos de simulación son herramientas que permiten gracias al apoyo digital tener control e identificación de actividades o identificación simultaneidad en la ejecución; una buena modelo de simulación ayuda a planear y construir un cronograma lógico para el desarrollo del proyecto (Alzraiee, Zayed, & O. Moselhi, 2015).

Siguiendo las recomendaciones básicas que forman parte de las directrices para la Gerencia de proyectos, contenidas en el PMBOK Project Management Institute, (PMBOK, 2017), se proporciona la base conceptual usada para el desarrollo de este proyecto, en razón a la aplicación de los procesos de Gestión del Cronograma del Proyecto y Gestión de integración; permitiendo establecer parámetros que se fundamentan en los procesos teóricos.

Gestión de integración

Desarrollar el plan para la dirección del proyecto: Es el proceso de definir, preparar y coordinar todos los componentes del plan y consolidarlos en un plan integral para la dirección del proyecto. El beneficio clave de este proceso es la producción de un documento comprehensivo que define la base para todo el trabajo del proyecto y el modo

en que se realiza el trabajo (PMBOK, 2017, pág. 84), con la aplicación del plan de dirección, se determina el plano inicial que seguirá el proyecto y servirá como referencia al director del proyecto y sus integrantes para contar con el punto de partida y construir de forma inicial el rumbo del proyecto.

Gestionar el Conocimiento del Proyecto es el proceso de utilizar el conocimiento existente y crear nuevo conocimiento para alcanzar los objetivos del proyecto y contribuir al aprendizaje organizacional. Los beneficios clave de este proceso son que el conocimiento organizacional previo se aprovecha para producir o mejorar los resultados del proyecto y que el conocimiento creado por el proyecto está disponible para apoyar las operaciones de la organización y los futuros proyectos o fases (PMBOK, 2017, pág. 98), su aplicación es fundamental en el aporte y conformación de la estructuración del proyecto, tener presente las lecciones aprendidas de otros proyectos y evitar cometer los mismos errores, genera una optimización de tiempo y costos en los proyectos.

Gestión del alcance del proyecto

Crear la EDT/WBS: El trabajo planificado está contenido en el nivel más bajo de los componentes de la EDT/WBS, denominados paquetes de trabajo. Un paquete de trabajo se puede utilizar para agrupar las actividades donde el trabajo es programado y estimado, seguido y controlado. En el contexto de la EDT/WBS, la palabra trabajo se refiere a los productos o entregables del trabajo que son el resultado de la actividad realizada, y no a la actividad en sí misma (PMBOK, 2017, pág. 157), la organización y presentación de forma rápida y completa es fundamental para el análisis gerencial que se

debe tener, el uso de las WBS, permite ser más eficientes en tiempo al poder interpretar la información principal del proyecto en forma resumida.

Gestión del alcance del cronograma del proyecto

La Gestión del Cronograma del Proyecto incluye los procesos requeridos para administrar la finalización del proyecto a tiempo. Los procesos de gestión del Cronograma del Proyecto son:

Planificar la Gestión del Cronograma—Es el proceso de establecer las políticas, los procedimientos y la documentación para planificar, desarrollar, gestionar, ejecutar y controlar el cronograma del proyecto.

Definir las Actividades—Es el proceso de identificar y documentar las acciones específicas que se deben realizar para elaborar los entregables del proyecto.

Secuenciar las Actividades—Es el proceso de identificar y documentar las relaciones entre las actividades del proyecto.

Estimar la Duración de las Actividades—Es el proceso de realizar una estimación de la cantidad de periodos de trabajo necesarios para finalizar las actividades individuales con los recursos estimados.

Desarrollar el Cronograma—Es el proceso de analizar secuencias de actividades, duraciones, requisitos de recursos y restricciones del cronograma para crear el modelo del cronograma del proyecto para la ejecución, el monitoreo y el control del proyecto (PMI, 2017, pág. 173)

Teniendo en cuenta la importancia de la gestión de cronograma en proyectos donde por el alto volumen de actividades, es importante registrar y acompañar, se hace

primordial conocer el funcionamiento y composición del mismo, determinando el punto de partida para la ejecución de las actividades y control de las mismas, contar con el plan detallado de las actividades a realizar, les proporciona a los integrantes del proyecto un ayuda primordial en el desarrollo del proyecto.

Gestión de costos

La gestión de los Costos del Proyecto se ocupa principalmente del costo de los recursos necesarios para completar las actividades del proyecto. La gestión de los Costos del Proyecto debería tener en cuenta el efecto de las decisiones tomadas en el proyecto sobre los costos recurrentes posteriores de utilizar, mantener y dar soporte al producto, servicio o resultado del proyecto (PMBOK, 2017, pág. 233).

La importancia de la gestión de costos en uno de los pilares fundamentales en el desempeño y éxito de un proyecto, el adecuado control de cada componente de las actividades ejecutadas es fundamental para evitar sobre costos y poder mantener el proyecto sobre el presupuesto inicial estimado, adicionalmente permite identificar los posibles desvíos que se puedan presentar en materia económica en el proyecto.

Gestión de las comunicaciones del proyecto

La gestión de las Comunicaciones del Proyecto incluye los procesos necesarios para asegurar que las necesidades de información del proyecto y de sus interesados se satisfagan a través del desarrollo de objetos y de la implementación de actividades diseñadas para lograr un intercambio eficaz de información (PMBOK, 2017, pág. 365).

La Gestión de las Comunicaciones del Proyecto consta de dos partes:

Asegurar que la comunicación sea eficaz.

Implementar estrategias de comunicación.

La importancia de la gestión de comunicación es sin lugar a dudas el motor principal en la gestión de proyectos, se evidencia a diario para un gerente o personal directivo encargado del proyecto, enviando email, participando en reuniones, enviando cartas etc. Hace parte de la gestión de comunicación, por lo tanto, se debe mantener todo el cuidado necesario a esta gestión para minimizar al máximo las equivocaciones entre el equipo de trabajo y todos los clientes o personal implicado en un proyecto.

Gestión de los riesgos del proyecto

Incluye los procesos para llevar a cabo la planificación de la gestión, identificación, análisis, planificación de respuesta, implementación de respuesta y monitoreo de los riesgos de un proyecto. Los objetivos de la gestión de los riesgos del proyecto son aumentar la probabilidad y/o el impacto de los riesgos positivos y disminuir la probabilidad y/o el impacto de los riesgos negativos, a fin de optimizar las posibilidades de éxito del proyecto (PMBOK, 2017, pág. 395).

El conocer los riesgos que puede contener un proyecto determina el punto de partida a la hora de decidir hacer un proyecto o dimensionar el nivel de riesgo al que se somete una compañía a la hora de licitar para un proyecto. Es primordial realizar con veracidad un análisis apropiado para los riesgos que se pueden presentar en el proyecto a ejecutar, esto determina el éxito de los objetivos con la culminación del proyecto entre los estándares definidos de tiempo y costo que finalmente puedan entrar a calificar los proyectos de infraestructura.

Gestión de conocimiento

Contar con una base de conocimiento mínima para el desarrollo de una actividad es evitar cometer errores que pueden costar tiempo y dinero para cualquier proyecto. Conocemos la frase de Pail Presto “ quien no conoce su historia está condenado a repetir sus errores” las lecciones aprendidas es sin duda una de las mejores formas de poder registrar ese nuevo conocimiento adquirido a lo largo de una situación especial presentada en el desarrollo de un proyecto y tiene como objetivo suministrar la información necesaria para evitar que en un futuro se cometa el mismo error que afecto tanto el proyecto en dicho momento, con esto se garantiza el aprendizaje en la empresa y se mantiene la mejora continua en sus proyectos. En el PMBOK® nos encontramos con la definición de Lecciones Aprendidas como “El conocimiento adquirido durante un proyecto, que muestra cómo se trataron los eventos del proyecto o como deberán abordarse en el futuro con el propósito de mejorar el desempeño futuro” (PMBOK, 2017, pág. 722).

Lecciones aprendidas.

Un aparte muy determinante para el estudio y constitución estratégica del desarrollo de proyectos es poder contar con toda la experiencia vivida de las empresas en proyectos similares, de esta forma poder alimentar el conocimiento con las experiencias vividas y tomar las medidas necesarias para evitar errores o usar los aciertos en el nuevo proyecto que se desea construir.

Para esto tomando como referencia la guía de conocimientos PMBOK en su sexta edición, define las lecciones aprendidas como uno de los apartes más importantes en la

gestión de proyectos en las empresas, claro está que aprender de la historia es evitar cometer los mismos errores en el presente, facilitar la documentación y poder registrar dichos sucesos es la clave para las empresas contar con esa base de datos y abrir la misma al personal estratégico de la empresa para apoyarse de dichos conocimientos y aumentar productividad, evitar errores y buscar la mejora continua.

El registro de dicha información debe ser claro y preciso que permita contextualizar a los lectores frente a situaciones similares que se puedan presentar en el proyecto que se va a desarrollar, la guía de conocimientos del PMBOK 6, determina los aspectos básicos que deben contener los registros de lecciones aprendidas:

Categoría de la situación presentada (La categorización es decisión de la organización).

Descripción de la situación.

Impacto de la situación en el proyecto y organización.

Recomendaciones y acciones propuestas (Estas son las lecciones aprendidas aprovechables en el proyecto actual y futuros).

Adicionalmente define la utilización de los registros de lecciones aprendidas así:

Se utiliza como insumo en gran parte de procesos de la gestión de proyectos.

A medida que se ejecuta el proyecto se le agregan nuevas entradas o se modifican las existentes, al ir identificando nuevas lecciones aprendidas. Esto ocurre repetidas veces a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

La identificación y registro de estas lecciones aprendidas es realizado por las mismas personas que están ejecutando el trabajo de proyecto.

Las lecciones aprendidas no tienen por qué limitarse a escritos, también se pueden usar imágenes, fotos, audios, videos y otros medios.

La importancia final radica en contar con una base de datos para consultas futuras, de esta forma la organización puede constantemente estar consultando y actualizando la información, enriqueciendo ese banco de datos, aprovechando al máximo la información entre todos los integrantes de la compañía (PMBOK, 2017).

Estado del arte

La determinación de la producción de energía de una hidroeléctrica se define por la capacidad de producción instalada que tiene cada proyecto y normalmente al ser proyectos ambiciosos de gran capacidad también son de gran complejidad para su construcción; las desviaciones en términos de costos y tiempo de ejecución comparado con los costos y plazos programados no son realmente muy satisfactorios, según los estudios de la Universidad de Oxford (Ansar, Flyvbjerg, Budzier, & D. Lunn, 2014) the Institute for Energy (Sovacool, Gilbert, & Nugent, 2014) the Environment, and Awojobi & Jenkins (Awojobi & Jenkins, 2015) que analizaron ejemplo entre 58 y 235 proyectos hidroeléctricos en todo el mundo, encontraron resultados de valores en sobre costos de los proyectos que varían entre el 27 % al 99% y hasta un 44% en términos de tiempo de ejecución; condición que determina mucha importancia para el análisis y adecuada planeación.

La gestión de integración del proyecto que según la guía PMBOK:
“La Gestión de la Integración del Proyecto incluye los procesos y actividades para identificar, definir, combinar, unificar y coordinar los diversos procesos y actividades de

dirección del proyecto dentro de los Grupos de Procesos de la Dirección de Proyectos. En el contexto de la dirección de proyectos, la integración incluye características de unificación, consolidación, comunicación e interrelación. Estas acciones deberían aplicarse desde el inicio del proyecto hasta su conclusión.

La Gestión de la Integración del Proyecto incluye tomar decisiones sobre: Asignación de recursos, Equilibrio de demandas que compiten entre sí, Examen de enfoques alternativos, Adaptación de los procesos para cumplir con los objetivos del proyecto, y Gestión de las interdependencias entre las Áreas de Conocimiento de la Dirección de Proyectos.” (PMBOK, 2017, pág. 69)

La gestión de integración es sin duda muy importante en la concepción de un proyecto, el vincular todas las áreas y poder estar enterado de todo el desarrollo del proyecto es muy importante para que un gerente de proyecto se mantenga informado para facilitar la adecuada toma de decisiones que se presentan en la dinámica de los proyectos. La gestión de Cronograma que como se indica en la guía PMBOK:

“La programación del proyecto proporciona un plan detallado que representa el modo y el momento en que el proyecto entregará los productos, servicios y resultados definidos en el alcance del proyecto y sirve como herramienta para la comunicación, la gestión de las expectativas de los interesados y como base para informar el desempeño” (PMBOK, 2017, pág. 175).

Como el punto de partida e insumo principal que abordaremos en torno al estudio de la factibilidad de las diferentes alternativas de construcción del sistema de generación, el cronograma se fundamental para el comparativo de las diferentes posibilidades encontradas y permitir concluir desde el punto de vista programático la mejor alternativa que permita al cliente tomar la mejor decisión.

Actualmente los modelos Building information modelling (BIM) proporcionan una versatilidad para los constructores, generando un ambiente de análisis completo que gracias a la integración de gráficos visuales en 3D, y la adición de una cuarta dimensión (Tiempo) de cronogramas, facilita la identificación y análisis de desarrollos de procesos constructivos, posibles interferencias y optimización de recursos en estacas de tiempo diferentes, beneficiando en costos y tiempo (H., Musa, P, H., & Oti, 2020).

Marco legal.

Para el desarrollo de los trabajos que se deben realizar en la construcción del proyecto Hidroeléctrico Ituango, tenemos principalmente el manifiesto de la licencia ambiental, otorgado por los entes legales del gobierno y que rige el cumplimiento de los requisitos definidos en su resolución y modificaciones, como documentación legal tenemos:

[Resolución 0155 de 2009 Licencia Ambiental](#)

[Resolución 0764 13 09 2012](#)

[Resolución 1891-Mofificación Licencia Ambiental](#)

[Resolución 1980 12 octubre 2010 2a modificación](#)

[Resolución 2101 de oct 28 de 2009](#)

Las consultas realizadas referentes a las resoluciones se realizan desde la información pública de la documentación del Proyecto Hidroeléctrico Ituango (Proyecto Hidroeléctrico Ituango, 2016).

Otro de los aspectos importantes a tener en cuenta son los establecidos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG donde se tiene Ley 1715 de mayo 13 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional y se establece que:

“El pasado 25 de abril de 2014, la Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG publicó la Resolución CREG 026 “Por la cual se establece el Estatuto para Situaciones de Riesgo de Desabastecimiento en el Mercado Mayorista de Energía como parte del Reglamento de Operación”. Esta resolución sirve como mecanismo que define las reglas para la operación y administración del mercado de energía mayorista bajo condiciones de riesgo de desabastecimiento.” (Mercado Energético Colombiano, 2014, pág. 114)

Adicionalmente tenemos las resoluciones:

Resolución 317 de 2008 Por la cual se declara de utilidad pública e interés social los terrenos necesarios para la construcción y operación del Proyecto Hidroeléctrico Pescadero-Ituango.

Resolución 254 de 2010, Por la cual se declara de utilidad pública e interés social zonas adicionales necesarias para la construcción y operación del Proyecto Hidroeléctrico Ituango.

Registro de lecciones aprendidas.

Las lecciones aprendidas según el PMBOK son muy importantes para la gestión de proyectos en una organización, pues es a través de éstas que se documentan las causas de los errores y aciertos, conocimiento que luego puede aprovecharse en futuras iniciativas (PMOinformática, 2018).

Aprender de los errores es una forma trascendental de poder evitar tener las mismas pérdidas de recursos económicos, accidentes de trabajo, que se pueden presentar a lo largo del desarrollo de un proyecto, o incluso en su etapa inicial de licitación. Esta identificado por la guía PMBOK que el problema es no dejar registro de los diferentes casos que se puedan presentar y con ello se incurre en que la experiencia de lo vivido queda solo para las personas que enfrentaron dicha situación, en caso que estas personas se retiren de la compañía el conocimiento y la experiencia se iría con ellos.

La importancia de contar con un registro adecuado es vital para lograr dicho objetivo y cada empresa es responsable de tener un histórico y adecuado manejo de la base de datos que determine para proteger y propagar esta información con sus empleados o personal estratégico de forma que se consolide una mejora continua en la compañía.

Entre algunas de las lecciones aprendidas identificadas y a tener en cuenta para el desarrollo de este proyecto, podemos identificar:

Revestimiento de concreto en túneles hidráulicos: No se consideró en los diseños la construcción de un revestimiento en concreto del túnel hidráulico que tendría la responsabilidad de mantener la desviación del río Cauca durante un periodo de 5 meses, mientras se construía los tapones definitivos.

Control y registro en el cambio de diseños: Los diferentes documentos que se reciben contienen planos y cambios en los diseños iniciales entregados para construcción, es necesario contar con el control y seguimiento contractual de dichos cambios para documentar los diferentes impactos que se pueden presentar en mayores tiempos de ejecución de las actividades por cuenta de los cambios en el alcance de las actividades.

Falta de disponibilidad de equipos de trabajo: El uso de equipos en mal estado o de muchas horas de trabajo, generan constantemente retrasos en la ejecución de actividades, si el proyecto requiere equipos de mejor calidad o más nuevos es necesario evaluar compra de equipos nuevos o alquiler de equipos.

Trabajos superpuestos: Se realizan trabajos de instalación de acero en el pozo de presión a una altura de 50m, bajo el pozo se desarrollan trabajos simultáneos de localización de puntos de referencia.

Lleno de oquedad en concreto: Con el paso del agua no controlado por los pozos de presión 1 y 2, se generó una oquedad a lo largo de los pozos de 63m de altura.

Análisis y control de la ruta crítica: Contar con un seguimiento oportuno del desarrollo de las actividades y la identificación adecuada de la ruta crítica del proyecto, permite alertar de forma anticipada todos los posibles riesgos que se pueden presentar en

la ejecución del proyecto y más en las actividades que tienen que ver con la ruta crítica de la obra.

Perforaciones exploratorias: No se contó con una exploración adecuada de mapeo geológico del sector a excavar, solo se realizaron 2 perforaciones exploratorias para definir un área de excavación de 800m² aproximadamente y una profundidad de hasta 30m. Lo anterior conlleva a los ajustes en los tratamientos del sector durante las excavaciones.

Inyecciones de consolidación: Se mando a inyectar desde una la plazoleta 435 la conducción superior 2, terminados los trabajos se identifica lechada en la batea del túnel.

Inspección de túneles con video: Necesidad de conocer el estado de túneles tapados por derrumbes o tapones existentes.

A continuación, presentamos una tabla donde se recrean algunas de las lecciones aprendidas en la construcción de las obras y que deben ser tenidas en cuenta como soporte del diseño de la alternativa planteada para la construcción y análisis de la viabilidad constructiva de la misma.

Tabla 1.*Registro de lecciones aprendidas.*

Título	Descripción del Impacto en los objetivos del proyecto	Lección Aprendida / Recomendaciones	Clasificación acorde al impacto
Revestimiento de concreto en túneles hidráulicos	Afectaciones en la culminación de las obras por el llenado del embalse de forma no controlada, obligando a inundar Casa de Maquinas retrasando todo el proyecto y generando un riesgo para las comunidades aguas debajo del proyecto	El análisis geológico de las zonas donde se tiene intervenciones debe ser muy exhaustivo para poder prever posibles inestabilidades de la roca. Reforzar con concreto y revestimiento metálico los sistemas de conducción de agua en todo tipo de proyectos se torna algo costoso, pero es más seguro para la vida útil del proyecto, sin embargo, cada caso debe ser revisado específicamente por el diseñador del proyecto.	Media
Control y registro en el cambio de diseños	Mayores tiempos de ejecución de las actividades impactando el resultado final del proyecto con atrasos no estimados por el aumento del alcance de las actividades.	Se debe tener un control documental y un registro escrito de los cambios de diseño que se puedan presentar por parte del diseñador y evitar reclamaciones a futuro por atrasos en las obras.	Media

Falta de disponibilidad de equipos de trabajo	Los equipos claves para el desarrollo de actividades como de perforación en los procesos de excavación de túnele, constantemente se encontraban varados y con repuestos de importación que terminaban afectando los rendimientos de cada frente de trabajo donde se requirió el equipo.	Se debe considerar la duración de los proyectos y de las actividades y realizar el respectivo análisis económico referente a la compra o alquiler de equipos, adicionalmente revisar el estado de horas trabajadas de los equipos propios en caso de tenerlos para evitar pérdidas de tiempo en el frente de trabajo.	Bajo
Trabajos superpuestos	Buscando tener la simultaneidad de actividades, se presenta una caída de material y afectan la integridad de un colaborador, los trabajos se suspenden para realizar las respectivas investigaciones y se impacta el tiempo estimado para el desarrollo de las actividades.	Socialización de alcance de las actividades a desarrollar con todos los colaboradores para entender los riesgos y tener la oportunidad de mitigarlos. Adicionalmente se instalan protecciones colectivas de forma más estricta que se evite la caída de materiales en trabajos superpuestos,	Alta
Lleno de oquedad en concreto	Inestabilidad del sector de excavación de los pozos de presión, su cercanía con el embalse genero un alto riesgo de socavación y perdida absoluta del control del proyecto.	La altura de caída de los concretos no es normativa y el mito de segregación de los agregados no es válido, la garantía de un concreto adecuado de lleno debe ser considerado previamente en el laboratorio para garantizar que a medida que se coloca concreto, el mismo busca su Angulo de	Alta

		<p>reposo natural y mantiene las características de resistencia requeridas para cada diseño.</p>	
<p>Análisis y control de la ruta crítica</p>	<p>Atrasos en la culminación de las obras por el desvío de recursos en actividades que no correspondían con la ruta crítica de la obra, afectando la entrega del producto en el tiempo estimado previamente.</p>	<p>Los seguimientos semanales permitieron identificar rápidamente los posibles desvíos que se presentarían al cabo de un tiempo en el proyecto, el control de obra de forma anticipada permitió evitar esos desvíos y mantener la mejor optimización de los recursos en todo momento.</p>	<p>Alta</p>
<p>Perforaciones exploratorias</p>	<p>No contar con el mapeo exhaustivo de las condiciones geológicas y geotécnicas de las zonas a intervenir, afecta el análisis del tratamiento de estabilización necesario que se debe ejecutar.</p>	<p>poder contar con toda la información de los tratamientos a realizar, permite dimensionar apropiadamente el recurso y prever los materiales a utilizar de forma anticipada, con lo anterior no se tienen atrasos en el frente de obra por falta de definición de diseños de tratamientos, más la espera de compra de</p>	<p>Media</p>

		materiales en caso de no tenerlos en la obra	
Inyecciones de consolidación	Se debe entrar con equipos a realizar la demolición del material para recuperar las condiciones del túnel, este túnel se encuentra bajo el nivel del embalse y completamente sumergido	No se tomó en cuenta la posibilidad que la lechada viajara a lo largo de las discontinuidades y cayo el material en el túnel.	Alta
Inspección de túneles con video	Por los derrumbes y construcción de tapones preventivos era necesario conocer la posibilidad de ingresar a la zona, pero era necesario determinar el estado actual de los túneles	implementación de tecnologías diferentes en parceria con otros contratistas.	Media

Conclusión del apartado 1.

Los conceptos básicos en los procesos de gestión que se implementan a lo largo del desarrollo del proyecto, generan unos pilares solidos para facilitar el análisis futuro que se debe realizar en el estudio de alternativas para proponer una localización diferente para la construcción del sistema de generación del sector sur.

Considerar la clasificación de las lecciones aprendidas acorde al impacto generado durante la etapa de construcción inicial del proyecto, permite evaluar de forma

critica, el análisis de la propuesta de alternativa de construcción que se podría presentar para optimizar la necesidad de generación de energía para el cliente EPM; manteniendo presente que se deben conservar los altos niveles de seguridad y calidad en cada proceso de construcción de dicha alternativa.

La recopilación de la información anterior permite crear ese soporte técnico necesario para fundamentar que por medio del análisis de lecciones aprendidas durante la construcción inicial del proyecto previo a los acontecimientos del 28 de abril del 2018 y otras lecciones que se identificaron a lo largo de las etapas de reconstrucción del proyecto, se puede inferir la necesidad de implementación del análisis de construcción del sector sur del sistema de generación de la hidroeléctrica en otra localización y generar los conceptos necesario de análisis programáticos y secuencia constructiva.

Desarrollo del Proyecto

La información identificada en el capítulo anterior permitió crear el soporte técnico para el desarrollo del análisis de las posibles alternativas a estudiar, basados en dichos parámetros este apartado examinara las alternativas y se concentrara en desarrollar el estudio grafico de la concepción de la alternativa, recopilara la información del estado actual de las condiciones de construcción del proyecto en su diseño actual para generar los cronogramas de obra tanto actual como de la alternativa seleccionada para conformar el mayor número de información necesaria.

A continuación, se muestra el desarrollo de las tres fases que componen el análisis de las alternativas y su respectiva conclusión acorde al estudio técnico realizado que da soporte de la conclusión establecida permitiendo generar un posterior debate argumentativo sobre la aplicación o no de la propuesta.

Fase 1 fase de identificación de alternativas

Como punto de partida se realizaron reuniones con el personal experto, en la cual se expuso la situación actual del proyecto, el alcance que se daría al estudio de alternativas para realizar los respectivos estudios y determinar el plan a seguir para el desarrollo del proyecto.

Para el caso específico del desarrollo de este proyecto, no se profundizará en la descripción específica de todo el proyecto hidroeléctrico, estos detalles pueden ser consultado en Proyecto Hidroeléctrico Ituango. (2016). *Hidroeléctrica Ituango* .

Obtenido de <https://www.hidroituango.com.co/licencia-ambiental>

El siguiente listado de estructuras generales, está plasmado con el fin de permitir definir el alcance de la evaluación del estudio de las alternativas técnicas a analizar en relación a la recuperación del sistema de generación del sector sur.

Las ilustraciones 1 y 2 muestran el alcance de las estructuras que actualmente considera el proyecto para la generación de energía, tomando como referencia estas estructuras, se realizó el planteamiento de la alternativa propuesta.

Componentes de estructuras generales del proyecto:

Caverna de Maquias.

Caverna de Almenara.

Caverna de pozos.

Túneles de conducción superior 5 – 6.

Galerías de acceso Caverna de Almenara.

Galerías de acceso Caverna de Maquinas.

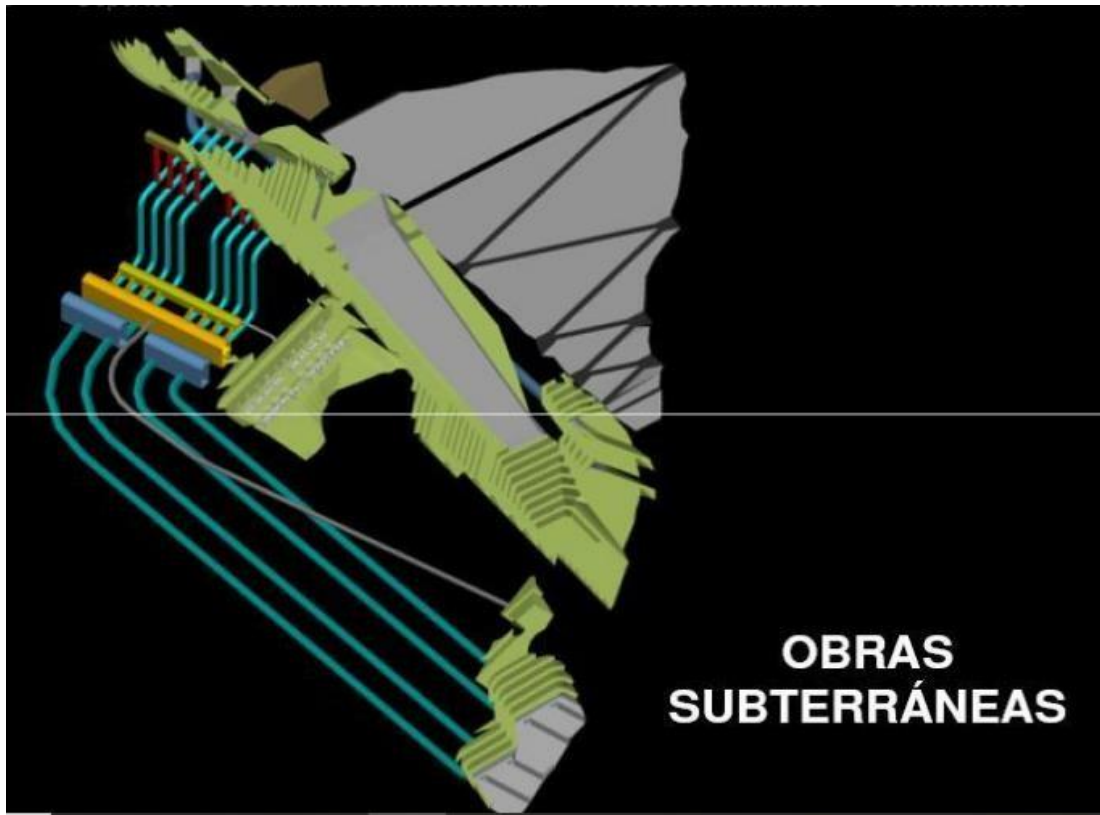
Túneles de Aspiración.

Pozos de presión 5 a 6.

Túneles de descarga 3 y 4.

Figura 1.

3D Hidro Ituango.

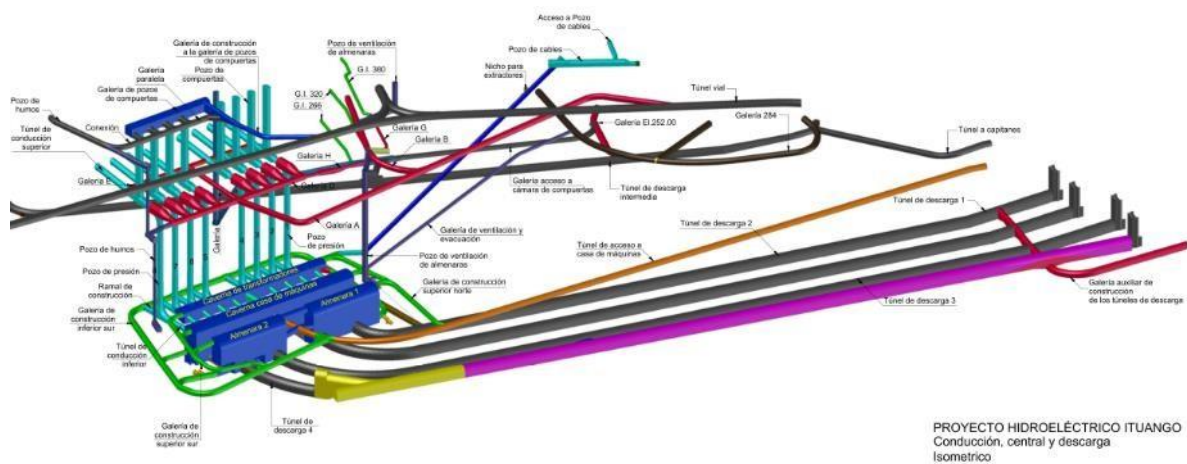


Fuente. La otra opinión (La Otra Opinión, 2018)

Figura general del proyecto Hidroeléctrico Ituango con los componentes generales de la concepción inicial del proyecto

Figura 2.

Obra subterránea actual.

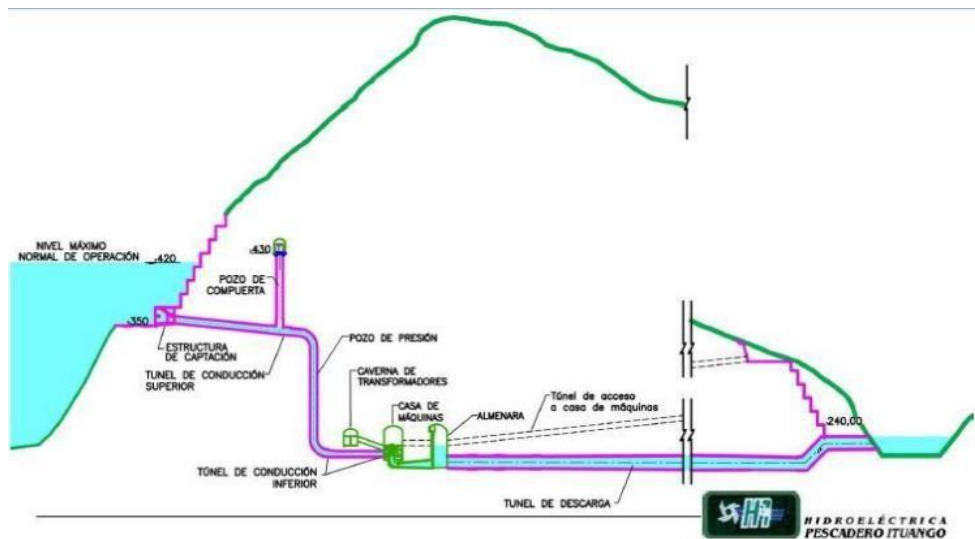


Fuente. propia

Condición general de obras subterráneas necesarias para la generación de energía de Hidro Ituango.

Figura 3.

Perfil longitudinal de Hidro Ituango.

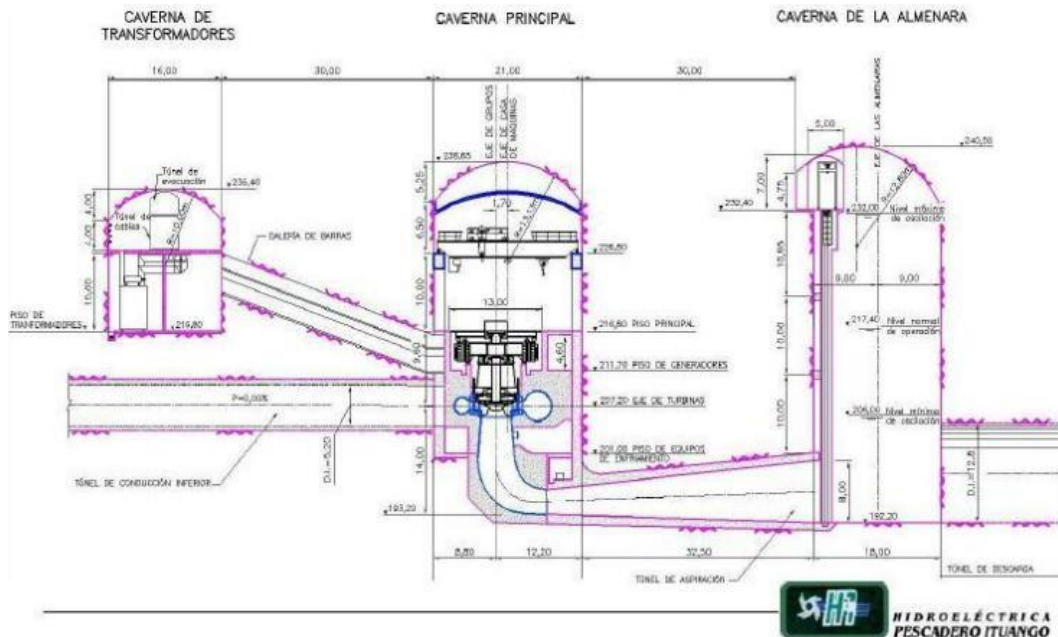


Fuente. La otra opinión (La Otra Opinión, 2018)

Se ilustra el perfil longitudinal del paso del agua desde la zona de embalse, pasando por el circuito de generación de energía y descargando nuevamente el agua en el cauce del río Cauca.

Figura 4.

Perfil longitudinal de las Cavernas en Hidro Ituango



Fuente. La otra opinión (La Otra Opinión, 2018).

La Figura 4 explica en detalle un perfil longitudinal de las Cavernas que componen el sistema de generación de la central hidroeléctrica Ituango, se ilustra las condiciones finales que tienen las Cavernas para la generación de energía.

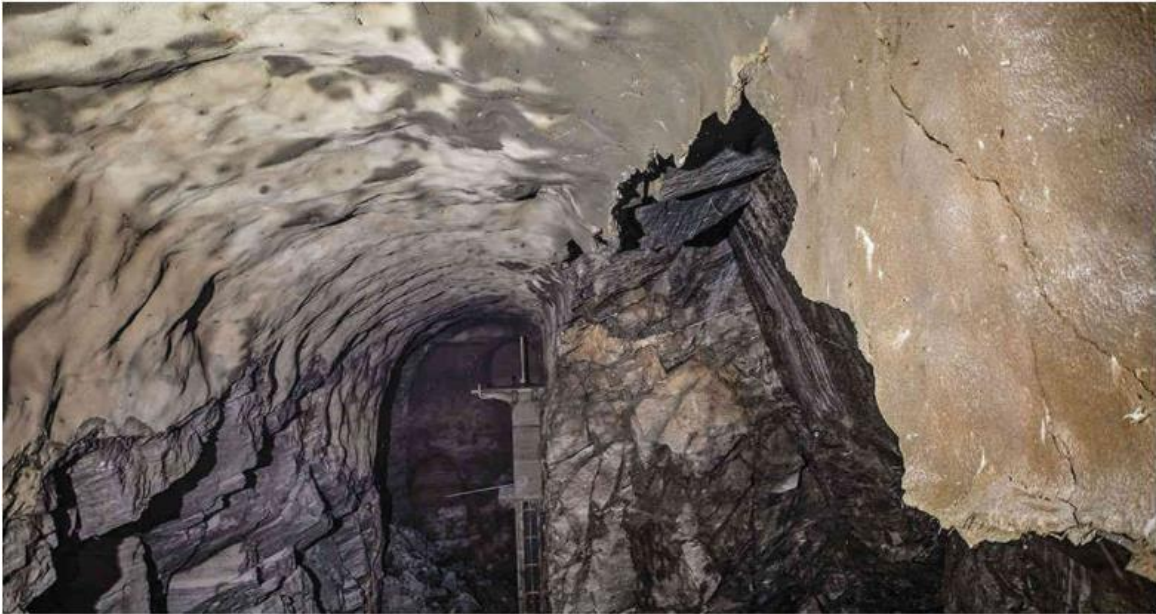
Las siguientes fotografías muestran el estado actual del sector sur, el cual presenta la mayor afectación a nivel geológico por la inundación del todo el sistema.

Figura 5.

Foto 1. Caverna de Máquinas.



Fuente. Revista Semana (Revista Semana, 2019) Foto Esteban Vega

Figura 6.*Foto 2 Caverna de Almenara*

Fuente. Revista Semana (Revista Semana, 2019) Foto Esteban Vega

La foto 2, representa la condición en que se encontró la Caverna de Almenara 1, después del paso del agua por el sistema de conducción y las cavernas del sistema de generación; se aprecia las grandes socavaciones causadas por el paso incontrolado del agua en el sector.

Figura 7.*Foto 3 Caverna de transformadores*

Fuente. Propia

En la foto 3 se identifica las condiciones en que se encontro la caverna de transformadores y el inicio de los trabajos de limpieza del material de derrumbe arrastrado por el paso incontrolado del agua dentro del circuito de generación de Hidroituango.

Figura 8.*Foto 4 Túnel de descarga.*

Fuente. Propia

La foto 4 muestra la condición del túnel de descarga, la fotografía evidencia que aún tiene agua pendiente de bombeo para cerca completamente el sector y permitir iniciar los trabajos de limpieza y remoción del material de derrumbe depositado a lo largo del túnel.

Las condiciones evidenciadas en los registros fotográficos, generan gran preocupación por las condiciones de inestabilidad que se presentaron en el sector de la construcción, igualmente se muestra la dificultad de calcular los daños presentados en las diferentes cavernas y túneles del complejo subterráneo del proyecto.

Listado de documento de consulta para el fortalecimiento de los criterios técnicos que determinan las bases conceptuales del desarrollo de las alternativas a analizar.

Informe de gestión 2018 hidro Ituango

<https://www.hidroituango.com.co/uploads/informedegestiin2018r-ea8c4c72ab.pdf>

Skava informe causa raíz física

<https://www.epm.com.co/site/estudio-causa-raiz-proyecto-ituango>

Informe de Sostenibilidad 2019 hidro Ituango

<https://2019.informedesostenibilidadepm.com.co/pdf/35.pdf>

Evolución de la situación en el Proyecto Hidroeléctrico Ituango:

<https://www.hidroituango.com.co/articulo/evolucion-de-la-situacion-en-el-proyecto-hidroelectrico-ituango/396>

Errores Técnicos, Estado Actual y Soluciones a la Problemática del Proyecto Hidroeléctrico Pescadero - Ituango (Hidroituango)

https://www.cdhal.org/wp-content/uploads/2019/02/Resumen-T%C3%A9cnico-de-los-Errores-de-Hidroituango-y-Posibles-Soluciones-MPG_1Febrero2019.pdf

Qué lección deja hidro Ituango para el país.

<https://uniandes.edu.co/es/noticias/ingenieria/que-leccion-deja-hidroituango-para-el-pais>

Lecciones aprendidas durante la fase de diseño de proyectos de generación de energía hidráulica en INTEGRAL S.A <https://repository.eafit.edu.co/handle/10784/11731>

Etapa 3 la creación de las WBS se encuentra definida a razón de la necesidad de contar con un control y seguimiento del desarrollo de la construcción de las estructuras principales que componen la alternativa y que son necesarias para la puesta en funcionamiento de las unidades 5 a 8. De la misma forma es necesario contar con criterios o parámetros similares en el manejo de WBS del cronograma actual para facilitar los análisis comparativos de tiempo que se establecerán más adelante en las conclusiones del desarrollo del trabajo.

Tabla 2.

Listado de WBS sistema de generación sector sur.

LISTADO DE WBS

Sistema de conducciones 5-8

Obras de casa maquinas

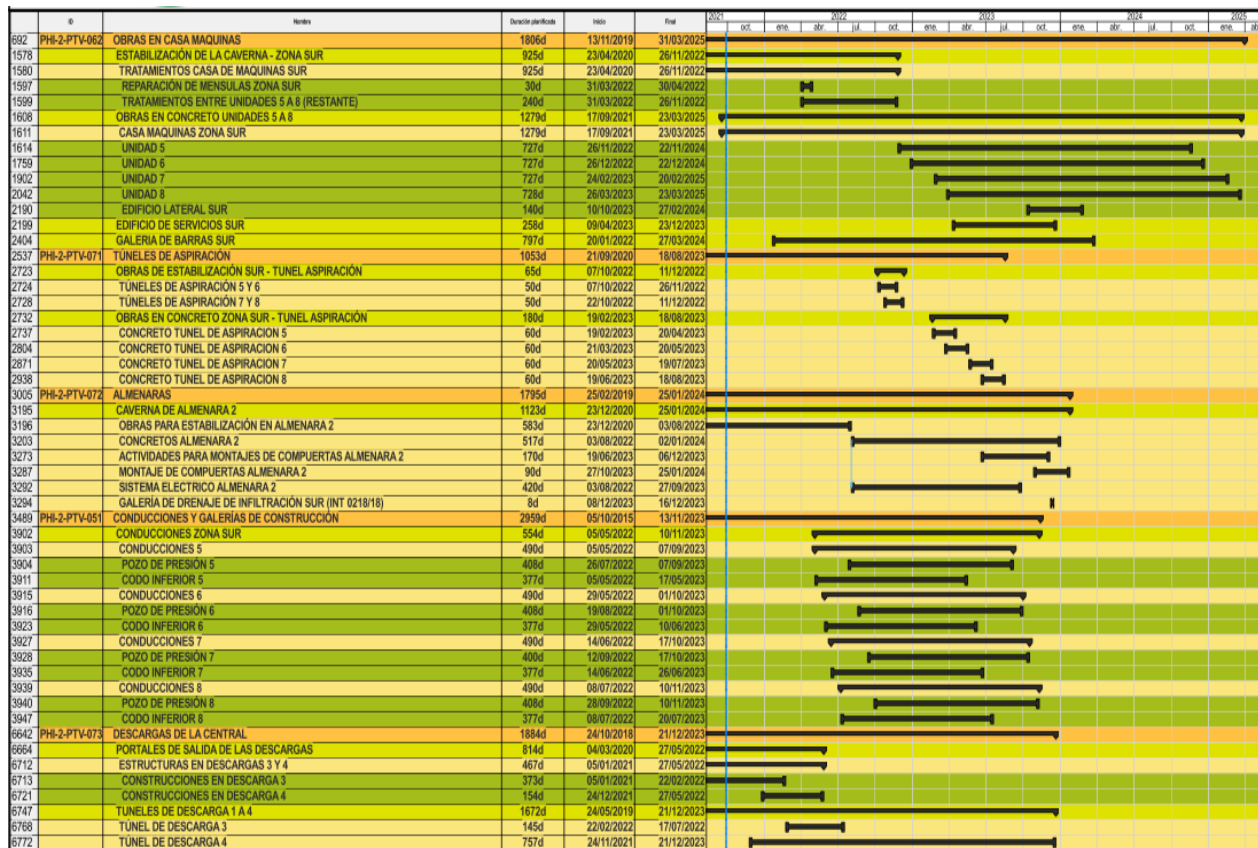
Túneles de aspiración

Cavernas de almenara

Túneles de descarga

Figura 9.

Cronograma situación actual



Nota. Análisis programático planteado para la construcción de las obras faltantes del sistema de generación del sector sur en la condición actual de diseños y localización, contemplando un periodo de tiempo para la recuperación de las condiciones de las cavernas que permita la reconstrucción de las unidades 5 a 8 y almenaras de forma segura. Consulta link de apéndice A

Figura 10

Listado específico de actividades

Nombre	Duración planificada	Inicio	Final
OBRAS EN CASA MAQUINAS	1806d	13/11/2019	31/03/2025
ESTABILIZACIÓN DE LA CAVERNA - ZONA SUR	925d	23/04/2020	26/11/2022
TRATAMIENTOS CASA DE MAQUINAS SUR	925d	23/04/2020	26/11/2022
REPARACIÓN DE MIENSULAS ZONA SUR	30d	31/03/2022	30/04/2022
TRATAMIENTOS ENTRE UNIDADES 5 A 8 (RESTANTE)	240d	31/03/2022	26/11/2022
OBRAS EN CONCRETO UNIDADES 5 A 8	1279d	17/09/2021	23/03/2025
CASA MAQUINAS ZONA SUR	1279d	17/09/2021	23/03/2025
UNIDAD 5	727d	26/11/2022	22/11/2024
UNIDAD 6	727d	26/12/2022	22/12/2024
UNIDAD 7	727d	24/02/2023	20/02/2025
UNIDAD 8	728d	26/03/2023	23/03/2025
EDIFICIO LATERAL SUR	140d	10/10/2023	27/02/2024
EDIFICIO DE SERVICIOS SUR	258d	09/04/2023	23/12/2023
GALERIA DE BARRAS SUR	797d	20/01/2022	27/03/2024
TÚNELES DE ASPIRACIÓN	1053d	21/09/2020	18/08/2023
OBRAS DE ESTABILIZACIÓN SUR - TUNEL ASPIRACIÓN	65d	07/10/2022	11/12/2022
TÚNELES DE ASPIRACIÓN 5 Y 6	50d	07/10/2022	26/11/2022
TÚNELES DE ASPIRACIÓN 7 Y 8	50d	22/10/2022	11/12/2022
OBRAS EN CONCRETO ZONA SUR - TUNEL ASPIRACIÓN	180d	19/02/2023	18/08/2023
CONCRETO TUNEL DE ASPIRACION 5	60d	19/02/2023	20/04/2023
CONCRETO TUNEL DE ASPIRACION 6	60d	21/03/2023	20/05/2023
CONCRETO TUNEL DE ASPIRACION 7	60d	20/05/2023	19/07/2023
CONCRETO TUNEL DE ASPIRACION 8	60d	19/06/2023	18/08/2023
ALMENARAS	1795d	25/02/2019	25/01/2024
CAVERNA DE ALMENARA 2	1123d	23/12/2020	25/01/2024
OBRAS PARA ESTABILIZACIÓN EN ALMENARA 2	583d	23/12/2020	03/08/2022
CONCRETOS ALMENARA 2	517d	03/08/2022	02/01/2024
ACTIVIDADES PARA MONTAJES DE COMPUERTAS ALMENARA 2	170d	19/06/2023	06/12/2023
MONTAJE DE COMPUERTAS ALMENARA 2	90d	27/10/2023	25/01/2024
SISTEMA ELECTRICO ALMENARA 2	420d	03/08/2022	27/09/2023
GALERIA DE DRENAJE DE INFILTRACIÓN SUR (INT 0218/18)	8d	08/12/2023	16/12/2023
CONDUCCIONES Y GALERÍAS DE CONSTRUCCIÓN	2959d	05/10/2015	13/11/2023
CONDUCCIONES ZONA SUR	554d	05/05/2022	10/11/2023
CONDUCCIONES 5	490d	05/05/2022	07/09/2023
POZO DE PRESIÓN 5	408d	26/07/2022	07/09/2023
CODO INFERIOR 5	377d	05/05/2022	17/05/2023
CONDUCCIONES 6	490d	29/05/2022	01/10/2023
POZO DE PRESIÓN 6	408d	19/08/2022	01/10/2023
CODO INFERIOR 6	377d	29/05/2022	10/06/2023
CONDUCCIONES 7	490d	14/06/2022	17/10/2023
POZO DE PRESIÓN 7	400d	12/09/2022	17/10/2023
CODO INFERIOR 7	377d	14/06/2022	26/06/2023
CONDUCCIONES 8	490d	08/07/2022	10/11/2023
POZO DE PRESIÓN 8	408d	28/09/2022	10/11/2023
CODO INFERIOR 8	377d	08/07/2022	20/07/2023
DESCARGAS DE LA CENTRAL	1884d	24/10/2018	21/12/2023
PORTALES DE SALIDA DE LAS DESCARGAS	814d	04/03/2020	27/05/2022
ESTRUCTURAS EN DESCARGAS 3 Y 4	467d	05/01/2021	27/05/2022
CONSTRUCCIONES EN DESCARGA 3	373d	05/01/2021	22/02/2022
CONSTRUCCIONES EN DESCARGA 4	154d	24/12/2021	27/05/2022
TUNEL DE DESCARGA 1 A 4	1672d	24/05/2019	21/12/2023
TUNEL DE DESCARGA 3	145d	22/02/2022	17/07/2022
TUNEL DE DESCARGA 4	757d	24/11/2021	21/12/2023

Nota. frentes de trabajo que se deben implementar para la puesta en operación del sistema de generación del sector sur, completando con las duraciones de las actividades que se deben construir.

Fase 2*Estudio de la alternativa.*

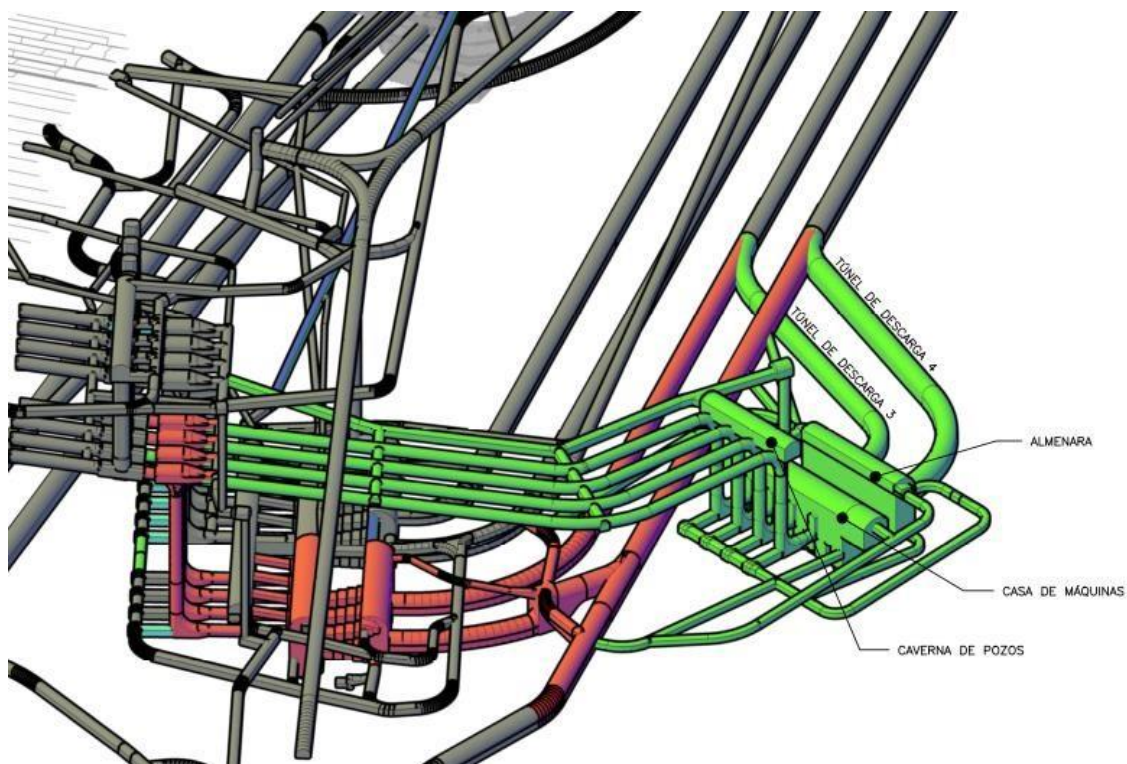
Etapa 4. Después de la realización y análisis de la información recopilada de la fase 1, se pudo determinar la posibilidad de implementar una modulación de la construcción de las obras definidas en las WBS en un sector aguas debajo de la ubicación actual, teniendo en cuenta que el alcance de esta alternativa no tiene análisis geológicos de la nueva ubicación se tienen en consideración aspectos igualmente importantes en relación a productividad u operabilidad de las unidades de generación instaladas.

Etapa 5

Modulación de la alternativa definida para determinar los conceptos constructivos y ajustes necesarios en diseños específicos.

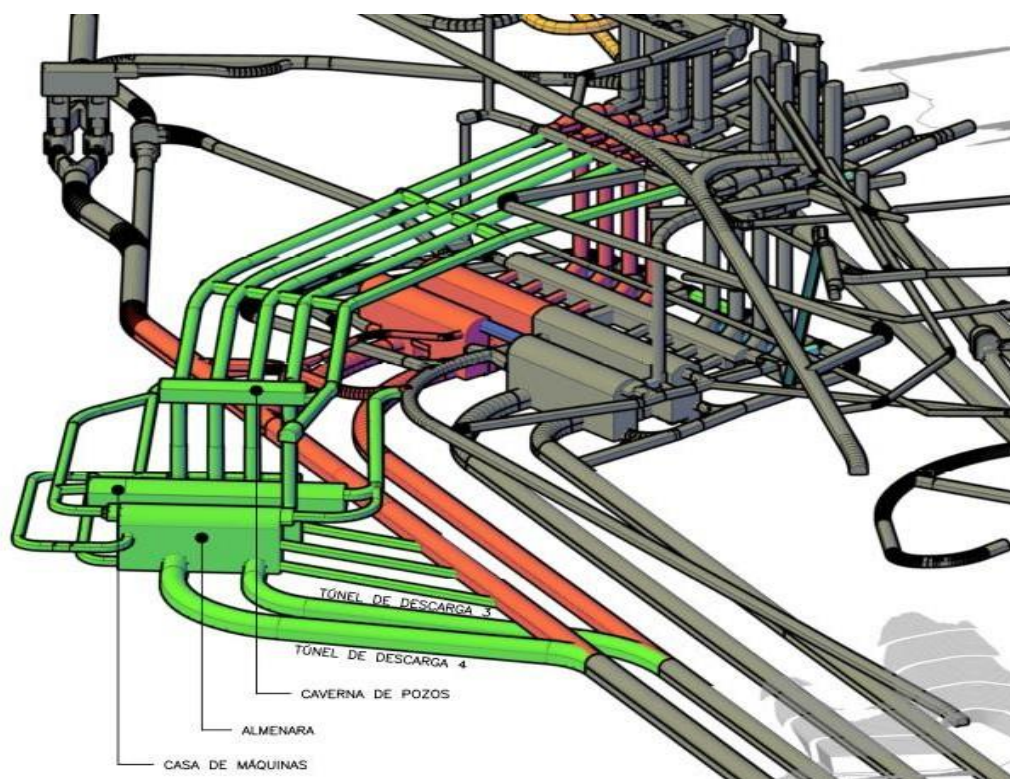
Figura 11.

Vista 3D Modulación.



Fuente. Propia

La Figura 11 desarrolla una visual en sentido Sur – Norte en tres dimensiones de la alternativa estudiada como propuesta de construcción del sector sur del proyecto Hidro Ituango, se identifica la nueva localización de todo el complejo de generación del sector sur.

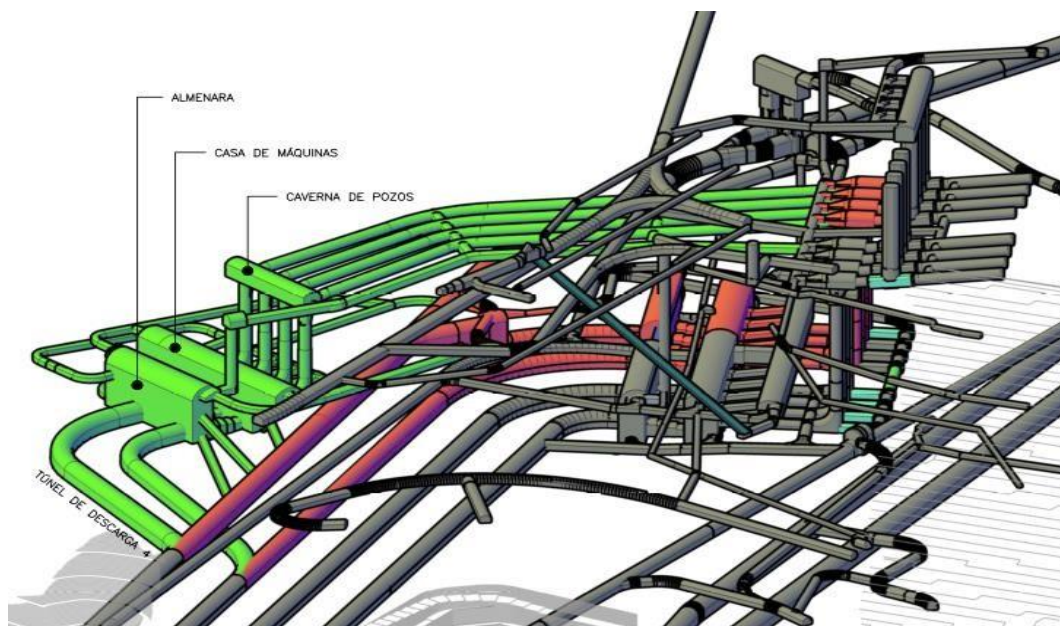
Figura 12.*Vista 3D Modulación*

Fuente. Propia

La Figura 12 desarrolla una visual en sentido Este – Oeste en tres dimensiones de la alternativa estudiada como propuesta de construcción del sector sur del proyecto Hidro Ituango, se identifica la nueva localización de todo el complejo de generación del sector sur y la conexión con los túneles de descarga.

Figura 13.

Vista 3D Modulación.



Fuente. Propia

La Figura 13 desarrolla una visual sentido Norte – Sur en tres dimensiones de la alternativa estudiada como propuesta de construcción del sector sur del proyecto Hidro Ituango.

Consulta link de apéndice B.

Etapas 6

Con base en los análisis de localización y diseños mostrados en las ilustraciones anteriores, se realiza el listado de actividades y cálculo de cantidades de las estructuras definidas por el estudio y modelación en 3D, condicho insumo se complementa la

información para realizar en análisis programático del tiempo que tardara la construcción de la alternativa propuesta.

Figura 14.

Listado de actividades y cantidades.

NOMBRE	VOLUMEN (m3)	ANCHO (m)	HASTIALES (m)	ALTURA (m)	ÁREA (SECCIÓN) (m2)	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)
Almenara	87548.85						
Caverna de Casa de máquinas	142135.27						
Caverna de pozos	16079.40	13.50	10.88	14.25	178.66		90.00
Conducción superior 5	20924.60					7.60	471.17
Conducción superior 6	21634.27					7.60	489.10
Conducción superior 7	22443.04					7.60	507.05
Conducción superior 8	23249.53					7.60	525.05
Galería de acceso a Almenara EL.192.20	3777.02	5.00	3.75	5.00	23.12		162.95
Galería de acceso a Almenara EL.192.20	4602.40	5.00	3.75	5.00	23.12		199.31
Galería de acceso a Almenara EL.232.30	2211.26	5.00	3.75	5.00	23.12		103.66
Galería de acceso a Almenara EL.232.30	6596.78	5.00	3.75	5.00	23.12		285.64
Galería de acceso a Casa máquinas EL.199.00 norte	2216.26	5.00	3.75	5.00	23.12		95.60
Galería de acceso a Casa máquinas EL.199.00 sur	5369.26	5.00	3.75	5.00	23.12		232.41
Galería de acceso a Casa máquinas EL.230.00 norte	4675.31	5.00	3.75	5.00	23.12		201.55
Galería de acceso a Casa máquinas EL.230.00 sur	411.78	5.00	3.75	5.00	23.12		17.60
Galería de construcción 1 conducciones superiores	2668.52	6.40	4.80	6.40	37.89		100.00
Galería de construcción 2 conducciones superiores	2742.07	6.40	4.80	6.40	37.89		100.00
Pozo de presión 5	5926.86						108.88
Pozo de presión 6	5926.86						108.88
Pozo de presión 7	5926.86						108.88
Pozo de presión 8	5926.86						108.88
Ramales de construcción codos pozos de presión	7329.63						
Túnel de acceso a Conducciones superiores y caverna de pozos	14716.93	6.40	4.80	6.40	37.88		394.52
Túnel de aspiración 5	3209.88						30.00
Túnel de aspiración 6	3209.88						30.00
Túnel de aspiración 7	3209.88						30.00
Túnel de aspiración 8	3209.88						30.00
Túnel de descarga 3	48174.68	12.50	6.30	12.55	140.11		343.88
Túnel de descarga 4	69630.90	14.30	7.40	14.54	185.96		370.38

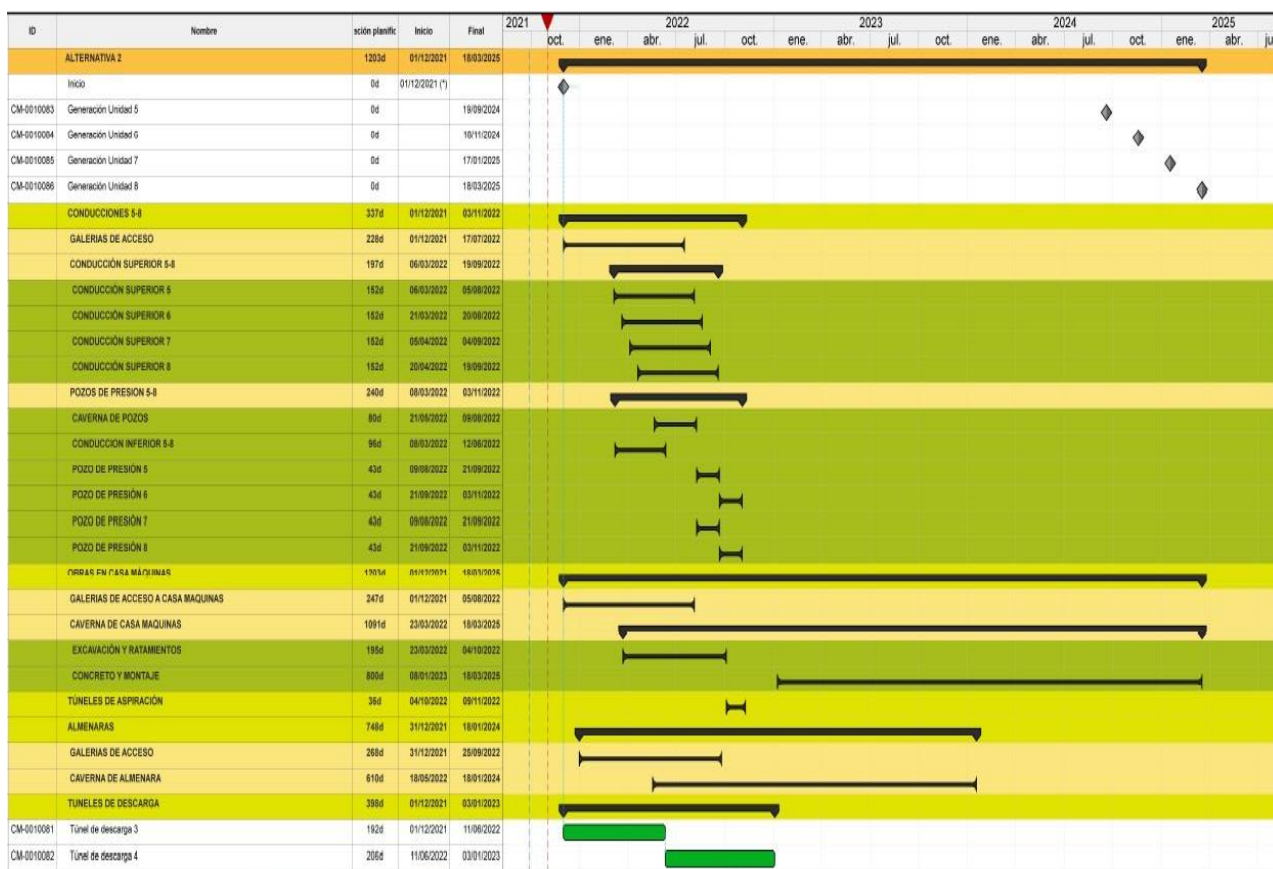
Nota. Consulta link de apéndice C.Etapa de Cronograma

Para el desarrollo de los cronogramas se utiliza el Software Synrho, que permite crear la secuencia de actividades y enmarcar los tiempos necesarios para la construcción de cada actividad, vinculando las mismas en una secuencia lógica y segura para su desarrollo.

Dicho insumo permitirá conocer el tiempo que tomará la construcción de la alternativa propuesta, para posteriormente realizar la respectiva comparación contra la duración del cronograma de la situación actual, mostrado previamente.

Figura 15.

Cronograma de alternativa de construcción.



Nota. Con el insumo proporcionado en el listado de actividades mostrado, se construyó el siguiente cronograma, con el análisis programático de la propuesta planteada para la construcción de las obras faltantes del sistema de generación del sector sur en la nueva localización. Consulta link de apéndice D.

Figura 16.

Listado específico de actividades de la alternativa.

Nombre	acción planific	Inicio	Final
ALTERNATIVA 2	1203d	01/12/2021	18/03/2025
Inicio	0d	01/12/2021 (*)	
Generación Unidad 5	0d		19/09/2024
Generación Unidad 6	0d		19/11/2024
Generación Unidad 7	0d		17/01/2025
Generación Unidad 8	0d		18/03/2025
CONDUCCIONES 5-8	337d	01/12/2021	03/11/2022
GALERIAS DE ACCESO	228d	01/12/2021	17/07/2022
CONDUCCIÓN SUPERIOR 5-8	197d	06/03/2022	19/09/2022
CONDUCCIÓN SUPERIOR 5	152d	06/03/2022	05/08/2022
CONDUCCIÓN SUPERIOR 6	152d	21/03/2022	20/08/2022
CONDUCCIÓN SUPERIOR 7	152d	05/04/2022	04/09/2022
CONDUCCIÓN SUPERIOR 8	152d	20/04/2022	19/09/2022
POZOS DE PRESION 5-8	240d	08/03/2022	03/11/2022
CAVERNA DE POZOS	80d	21/05/2022	09/08/2022
CONDUCCION INFERIOR 5-8	96d	08/03/2022	12/06/2022
POZO DE PRESION 5	43d	09/08/2022	21/09/2022
POZO DE PRESIÓN 6	43d	21/09/2022	03/11/2022
POZO DE PRESIÓN 7	43d	09/08/2022	21/09/2022
POZO DE PRESIÓN 8	43d	21/09/2022	03/11/2022
OBRAS EN CASA MÁQUINAS	1203d	01/12/2021	18/03/2025
GALERIAS DE ACCESO A CASA MAQUINAS	247d	01/12/2021	05/08/2022
CAVERNA DE CASA MAQUINAS	1091d	23/03/2022	18/03/2025
EXCAVACIÓN Y RATAMIENTOS	195d	23/03/2022	04/10/2022
CONCRETO Y MONTAJE	800d	08/01/2023	18/03/2025
TÚNELES DE ASPIRACIÓN	36d	04/10/2022	09/11/2022
ALMENARAS	748d	31/12/2021	18/01/2024
GALERIAS DE ACCESO	268d	31/12/2021	25/09/2022
CAVERNA DE ALMENARA	610d	18/05/2022	18/01/2024
TUNELES DE DESCARGA	398d	01/12/2021	03/01/2023
Túnel de descarga 3	192d	01/12/2021	11/06/2022
Túnel de descarga 4	206d	11/06/2022	03/01/2023

Nota. La Figura 16 enlista los frentes de trabajo que se deben implementar para la construcción de la alternativa propuesta en la nueva localización del sistema de generación del sector sur, se genera del análisis planteado en los esquemas en 3D mostrados en las ilustraciones anteriores.

Conclusión del apartado 2.

Las imágenes recopiladas, junto con la información documentada de la situación que se encontró las cavernas de la central subterránea, evidencian claramente la magnitud de los daños apreciados, adicionalmente se generan muchas incertidumbres frente a la estabilidad del macizo rocoso, generando un panorama complejo frente a la decisión de mantener la construcción de las obras en el sector actual con tantos daños identificados en la zona.

El uso herramientas de diseño que permiten identificar las condiciones generales de la alternativa propuesta, es considerado como un insumo determinante para la secuencia de generación de las cantidades necesarias para el desarrollo de cada actividad y posteriormente poder estimar la duración en tiempo de cada una de las actividades para realizar la construcción del cronograma de trabajo para evaluar las actividades.

La aplicación de las herramientas de gestión de integración, gestión de cronograma entre otras relacionadas en la guía PMBOK, se puede concluir en este capítulo la importancia de la consolidación de la información que permitió reflejar en los diseños esquemáticos en 3D la posibilidad de construcción del sistema de generación del sector sur de la hidroeléctrica en otra localización; igualmente el uso de herramientas de gestión de cronogramas permitió construir los cronogramas de trabajo tanto de la situación actual como de la construcción de la alternativa, basados en principios básicos de secuencias constructivas y el uso y aplicación de las buenas prácticas de construcción para este tipo de proyectos.

Contar con toda esta información proporcionara al cliente los insumos necesarios para determinar la importancia de ahondar mucho más en la viabilidad de la alternativa.

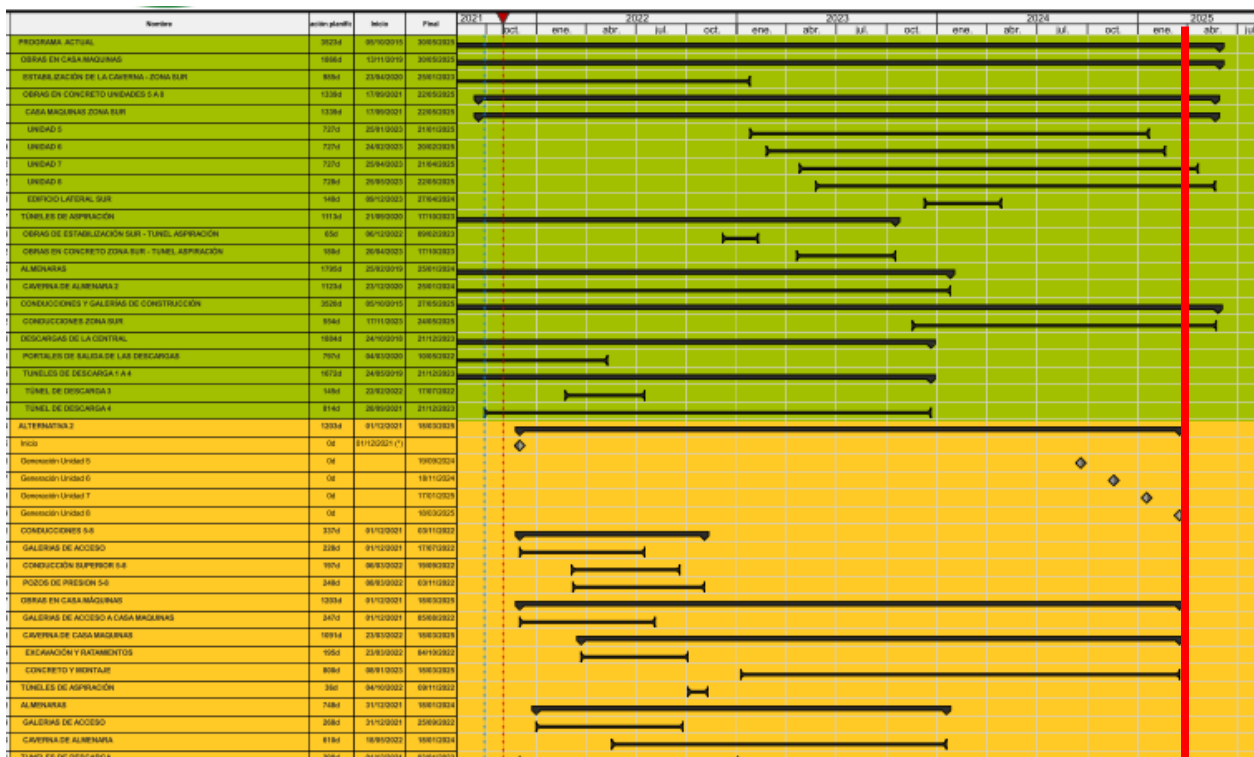
Resultados y discusión

Etapa 8. Comparativo de cronogramas.

Para facilitar el análisis de los resultados obtenidos, mostraremos en la Figura 17 el comparativo de los cronogramas analizados que determinaran el menor tiempo de construcción entre las situaciones planteadas.

Figura 17.

Comparativo de cronogramas de obra.



Nota. Comparativo de cronogramas de Gantt para el análisis gerencial de la diferencia de tiempos en la ejecución de las actividades relacionadas con el sistema de generación del sector sur del proyecto hidroeléctrico Ituango.

En la parte superior tenemos el resumen del cronograma para la recuperación de las obras en la condición actual, donde su fecha de finalización está marcada en el 30 de mayo del 2025; la línea roja de la Figura 17, muestra la fecha fin programada de la alternativa de construcción para el 18 de marzo 2025.

Por lo anterior descrito se tendría una diferencia de 73 días efectivos donde la alternativa de construcción propuesta finaliza antes que la condición actual de construcción de las unidades 5 a 8.

Se desarrolló un plan de negocio que identifique los beneficios, las desventajas y un análisis de riesgo que facilite la toma de decisión para desarrollar la propuesta de relocalización del sistema de generación de lado sur de la hidroeléctrica de Ituango.

Consulta link de apéndice E.

Etapa 9 Beneficios esperados

La necesidad de tener el control absoluto sobre el proyecto tanto en su periodo de construcción como de puesta en servicio es fundamental para EPM.

Entre los mayores beneficios de la propuesta se tendrían:

La ganancia en tiempo de construcción.

Reducir las pérdidas por lucro cesante de la generación de energía.

Disminuir los atrasos en relación a la puesta en generación de la hidroeléctrica.

Reducción de los riesgos durante la construcción al desarrollar las actividades en una zona geológicamente más estable.

Garantizar la durabilidad y estabilidad del proyecto para los siguientes 50 años.

Tabla 3.*Beneficios de la construcción de la Alternativa*

	Beneficio	¿Cómo?	¿Cuándo?
1	La seguridad en la estabilidad del proyecto.	Controlando los niveles del embalse con la puesta en servicio de las unidades generadoras	Con la puesta en servicio de mínimos 2 unidades generadoras, de tal forma que permita el paso del agua del embalse
2	Reducir las pérdidas por lucro cesante de la generación de energía.	Colocando en servicio las 8 unidades generadoras que te permitirá recibir el lucro por el servicio de energía vendido.	Con la finalización de la construcción de las 8 unidades y su puesta en servicio progresivo.
3	Disminuir los atrasos en relación a la puesta en generación de la hidroeléctrica.	La nueva localización permite independizar la construcción de los dos sistemas de generación tanto de lado norte como lado sur, facilitando el trabajo en paralelo para los dos frentes con simultaneidad de actividades.	Desde el momento en que la factibilidad del proyecto sea dada, la elaboración de diseños de detalle, permitirá planear y adelantar la movilización de recursos
4	Reducción de los riesgos durante la construcción al desarrollar las actividades en una zona	Construir en una zona que desde el punto de vista geológico y geotécnico que de mejores garantías es una de las grandes	Desde el momento que se inicien las actividades, ya que la condición de la zona a intervenir, tendría todos los

geológicamente más estable.	ventajas para la seguridad durante el tiempo de construcción como de generación.	tratamientos de refuerzo necesarios para garantizar la estabilidad.
5 Garantizar la durabilidad y estabilidad del proyecto para los siguientes 50 años.	Con la instalación de equipos de instrumentación para el monitoreo de la estabilidad del macizo rocoso.	Instalación realizada durante el proceso de construcción y posterior monitoreo continuo durante la generación de energía.
	Se deben mantener los estándares de seguridad y cumplir con toda la normatividad, especificaciones técnicas y demás requisitos necesarios para la construcción del proyecto bajo los parámetros de calidad de materiales y procesos constructivos.	Desde la compra de materiales, durante todo el proceso de construcción y los seguimientos de mantenimiento después de la puesta en generación; asociado de mantenimientos preventivos para los equipos.

Desventajas.

Entre las mayores desventajas que se pueden presentar tenemos:

Incremento en los costos de construcción que requieren liquides inmediata para concluir las obras en el tiempo estimado.

Atrasos en la concepción de los diseños de detalle por parte de las empresas diseñadoras del nuevo proyecto en su nueva localización.

Pérdidas de tiempo en la toma de decisión sobre la aceptación de los cambios de localización del sistema de generación del lado sur. (Toma de decisión)

Ingeniería de detalle que determina la imposibilidad de construcción del sistema, tomando más tiempo en el estudio de rediseño.

Tabla 4.

Riesgos identificados

Riesgo	Causa	Efecto	Nivel
Riesgo inundación del sistema de cavernas	<p>Por filtraciones de agua natural en techos.</p> <p>Por rompimiento de tapones o falla de los sistemas de compuertas.</p> <p>Zona alteridad desde la zona sur que se conecte con el embalse.</p> <p>Remoción de jarillones de protección.</p> <p>Crecente súbita del río Cauca</p> <p>Filtraciones de agua incontroladas.</p>	<p>Afectación zona de construcción de las obras.</p> <p>Atraso del cronograma de obras</p> <p>Afectación al tiempo de puesta de generación del proyecto.</p>	Alto
Riesgo Incendio y Explosión: Gases y líquidos bajo presión	<p>Por uso de equipos de soldadura al interior de las zonas de construcción.</p> <p>Por falla en los equipos que pueden generar conatos de incendio.</p> <p>Por el contacto de la ventilación</p>	<p>Quemaduras en el personal.</p> <p>incapacidad de los operarios.</p> <p>Descargas eléctricas en equipos y personal.</p>	Alto

	<p>cerca de las plantas de energía, las cuales generan constantemente calor.</p> <p>Por manejo y manipulación de aceites y combustibles para equipos o herramientas.</p> <p>Por explosiones de las plantas de energía al interior de las zonas de excavación.</p>	<p>Dolor de cabeza, náuseas</p> <p>provocar la muerte</p>	
<p>Riesgo de ejecuciones técnicas (Ruta Críticas)</p>	<p>Condiciones geológicas desfavorables no identificadas en los estudios.</p> <p>Sismos</p> <p>Procesos constructivos inadecuados.</p> <p>Falla en la ejecución e instalación de tratamientos definidos para la estabilización del macizo.</p> <p>Errores detectados en procesos constructivos o montajes.</p> <p>Errores en diseño detectados en campo.</p> <p>Por calidad de materiales.</p> <p>Por errores en cálculos de reparaciones.</p> <p>Por el estado natural de la base del proyecto.</p> <p>Caso fortuito e inesperado en campo</p>	<p>Daño de las obras del sistema sur de generación. (Casa de Máquinas, Almenaras, Cavernas de Transformadores, túneles de descarga y obras subterráneas adicionales)</p>	<p>Alto</p>
<p>Riesgo Equipos industriales de movimiento vertical:</p>	<p>Rotura de equipos</p> <p>Fatiga de equipo</p> <p>Inestabilidad del piso que soporta el equipo.</p> <p>Error en la manipulación del equipo por parte del</p>	<p>Accidente con el personal de obra</p> <p>Accidente con otros vehículos o equipos en sitio.</p> <p>Atraso de operación</p>	<p>Alto</p>

Transporte de carga	operario. Trabajos de izaje
------------------------	--------------------------------

Discusión.

Todo el análisis anteriormente descrito permite consolidar que la propuesta de cambiar la localización actual de la reconstrucción del sistema de generación del sector sur del proyecto hidroeléctrico Ituango es favorable ya que poder culminar las obras antes, es de gran beneficio para EPM como administrador de la construcción del proyecto.

La consideración de la operatividad de las ocho maquinas en el proyecto hidroeléctrico Ituango, permite garantizar el control de las condiciones iniciales del proyecto, donde la seguridad es fundamental para las comunidades aguas abajo del proyecto. Tener el control del paso del agua por las ocho unidades, permite que el paso del agua por la estructura del Vertedero, solo se realice en condiciones de crecientes del río y por lo tanto se preserva aun las la estabilidad de esta estructura.

Tomando como referencias un valor por debajo del promedio del precio del Kw de energía en 220 pesos colombianos, y teniendo en cuenta que la capacidad de producción de las unidades 4 unidades del sector sur es de 1200 MW, tendríamos una producción diaria de 28.800 MW día. Teniendo las unidades listas 73 días antes de lo planeado actualmente, se tendría una cantidad de energía disponible de 2'102.400 MW, los cuales estimados con el valor promedio de 220 pesos se tendrían un total de 462'528.000 pesos por la venta de energía en ese periodo de tiempo estimado.

La implementación de la alternativa genera el beneficio programático de contar con el sistema de generación en un tiempo menor que el estimado actualmente, adicionalmente la condición de estabilidad del terreno donde se plantea la construcción es mejor comparando el sector actual el cual se afectó geológicamente con el paso no controlado del agua.

Conclusiones.

El proyecto desarrolló el estudio de la factibilidad de la construcción del sistema de generación del sector sur de la hidroeléctrica Ituango y determino que esquemáticamente, gráficos en tres dimensiones es posible cumplir con todas las estructuras necesarias para la puesta en servicio de cuatro unidades de generación. Adicionalmente basados en las experiencias de expertos consultores y personales se determinó tanto el cronograma de ejecución de dicha alternativa que proporcione los insumos necesarios para realizar el comparativo que determina el menor tiempo de construcción entre la condición actual y la alternativa propuesta.

El anterior proyecto no determina la viabilidad geotécnica y geológica del sector propuesto para la reconstrucción del sistema de generación del sector sur, este análisis por su complejidad, es necesario contar con la investigación a profundidad por un equipo de expertos.

Este proyecto no pretende ser determinante para una toma de decisión final por parte de EPM, sino generar la posibilidad de profundizar más en dicho análisis realizado que le permita fundamentar técnicamente el estudio de relocalización del sistema de generación del sector sur del proyecto hidroeléctrico Ituango.

Bibliografía

- Alan Elizondo, E. A. (2003). *Medición Integral del Riesgo de Crédito*. Limusa. 200 pp.
- Álvarez, V. A. (25 de julio de 2018). Concejales piden revisar remoción de capa vegetal en Hidroituango. *El colombiano*, págs.
<https://www.elcolombiano.com/antioquia/hidroituango-concejo-de-medellin-debatio-situacion-del-proyecto-XL9049734>.
- Alzraiee, H., Zayed, T., & O. Moselhi, “. (2015). Dynamic planning of construction activities using hybrid simulation. *Automation in Construction*, 49, 176–192.
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A., & D. Lunn. (2014). Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy*, 69, 43-56.
- Awojobi, O., & Jenkins, G. P. (2015). Were the hydro dams financed by the World Bank from 1976 to 2005 worthwhile? *Energy Policy*, 86, 222-232.
- Bishop, D. (2019). *How to build a winning business case*. Obtenido de IEEE Engineering Management Review, 47(2), 29-31.: <https://ieeexplore-ieee-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/document/8718273>
- Brigham, E. y. (2006). *Fundamentos de Administración Financiera (10ª ed.)*. Mexico: Cengage Learning Editores. 831 pp.
- Callahan, M. T. (1992). *Construction project scheduling*. New York: McGraw-Hill.
- Consorcio Integral e Hidroeléctrica Pescadero Ituango. (2007). *Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto*. Sociedad Hidroeléctrica Pescadero Ituango.

- CONSULTING, SKAVA. (2019). *Informe causa raíz física proyecto Hidroeléctrico Ituango*. Medellín.
- Cottrell, W. D. (1999). Simplified Program Evaluation and Review Technique (PERT). *Journal of Construction Engineering and Management*, 125.
- Crespo, L. B. (Mayo de 1999). *Técnicas de planificación de proyectos CPM*. Universidad de Castilla la Mancha.
- D. Baccarini. (1999). The Logical Framework Method for Defining Project Success. *Project Management Journal*, 30(4), 25–32.
- Dinero. (23 de 06 de 2020). *Dinero.com*. Obtenido de <https://www.dinero.com/buscador?query=obras%20de%20infraestructura>
- Dinero. (15 de 10 de 2020). *Dinero.com*. Obtenido de <https://www.dinero.com/pais/articulo/cuanto-aprobo-el-confis-para-infraestructura/303697>
- Economía.WS. (2007 - 2020). *Economía Web Site*. Obtenido de Diagrama de hitos: <http://www.economia.ws/diagrama-de-hitos.php>
- Fonseca Meneses, J. A. (2018). *Importancia de la metodología y gestión de proyectos de infraestructura en Colombia*. Bogotá: Fundación Universitaria de la Cámara de Comercio UNIEMPRESARIAL.
- Gitman, L. (2003). *Principios de Administración Financiera*. (10ª ed.). Mexico: Prentice Hall. 631 pp.

- H., A. F., Musa, A. M., P, C., H., T. J., & Oti, A. H. (2020). A BIM-based framework for construction project scheduling risk management. *International Journal of Computer Aided Engineering and Technology*, 182-218.
- Hernández, J. L. (2005). *Análisis Financiero*. Obtenido de Perú:
www.gestiopolis.com/canales5/fin/anfinancier.htm.
- Hidroelectrica Ituango. (30 de 08 de 2012). *issuu.com*. Obtenido de
https://issuu.com/recreativa2/docs/proyecto_hidroituango
- IDEAM. (2018). *Boletín Climatológico Mensual 0418*. Bogota: N/A.
- International Organization for Standardization ISO 10006. (15 de 07 de 2018). *Sistemas de gestión de la calidad — Directrices para la gestión de la calidad en los proyectos*. Obtenido de ISO 10006:2003:
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:10006:ed-2:v1:es>
- Kolisch, R. (1996). Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: theory and computation. *European Journal of Operational Research*, 320-333.
- La Otra Opinión. (2018). *hidroelectrica-de-ituango-el-megaproyecto-que-colombia-necesita*. Obtenido de <http://laotraopinion.net/desarrollo-de-infraestructura/hidroelectrica-de-ituango-el-megaproyecto-que-colombia-necesita/>
- Malcolm, D. G. (1959). Application of a technique for research and development program. *Roseboom, J. H., Clark, C. E*, 646-669.

- Management, P. (2017). *La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK) / Project Management Institute*. Project Management Institute.
- Marbelis Alejandra, N. R. (2009). Análisis financiero: una herramienta clave. *Revista Venezolana de Gerencia*, 607.
- Medellin. (17 de 05 de 2018). Nueva emergencia en Hidroituango mantiene en vilo a 12 municipios. *El tiempo*, págs.
<https://www.eltiempo.com/colombia/medellin/causas-de-la-nueva-emergencia-en-hidroituango-218440>.
- Mercado Energético Colombiano. (13 de Mayo de 2014). Obtenido de <https://www.xm.com.co/BoletinXM/Pages/RegulacionesMay2014.aspx>
- Montevideo, U. d. (2013). Gestión de los recursos: diagrama de Gantt. *IEEM Revista de Negocios*, 45-45.
- Morales Esguerra, E. N. (2019). *Deficiencias regulatorias sobre los efectos secundarios de la generación de energía eléctrica: un análisis del caso Hidroituango*. Repositorio Institucional Universidad Católica de Colombia - RIUCaC A. Tesis - Trabajos de Grado AA. Facultad de Derecho AAA. Pregrado Derecho.
- Morris, P. W., Pinto, J. R., & Söderlund, J. (2012). *The oxford handbook of project management*.
- Muñoz, D. F. (2010.). "Planeación y control de proyectos con diferentes tipos de precedencias utilizando simulación estocástica. *Información tecnológica*, 21(4).

Pillou, J.-F. (3 de Marzo de 2017). *Enciclopedia IT pro Gestión de proyectos*. Obtenido de

Diagrama de Gantt : <https://es.ccm.net/contents/580-diagrama-de-gantt>

PMI. (2017). *Project Management Institute (PMI)*. Obtenido de

<https://pmi.org.py/index.php/pmi/que-es-el-pmi>

PMI. (2017). La guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del

PMBOK) / Project Management Institute. En *Guía del PMBOK* (págs. 1-2).

Project Management Institute, Inc.

Proyecto Hidroeléctrico Ituango. (2016). *Hidroeléctrica Ituango* . Obtenido de

<https://www.hidroituango.com.co/licencia-ambiental>

Restrepo, V. (11 de junio de 2018). Nuevo derrumbe no afectó estabilidad de la presa:

Ungrd. *El Colombiano*, págs.

<https://www.elcolombiano.com/antioquia/hidroituango-derrumbe-no-afecto-estabilidad-de-presa-FK8837447>.

Revista Semana. (2019). Así quedó la casa de máquinas de Hidroituango. *Revista*

Semana.

Sergio Clavijo, A. V. (2013). *La inversión en infraestructura*. . Obtenido de

http://www.anif.co/sites/default/files/investigaciones/inversion_en_infraestructura

Apéndices

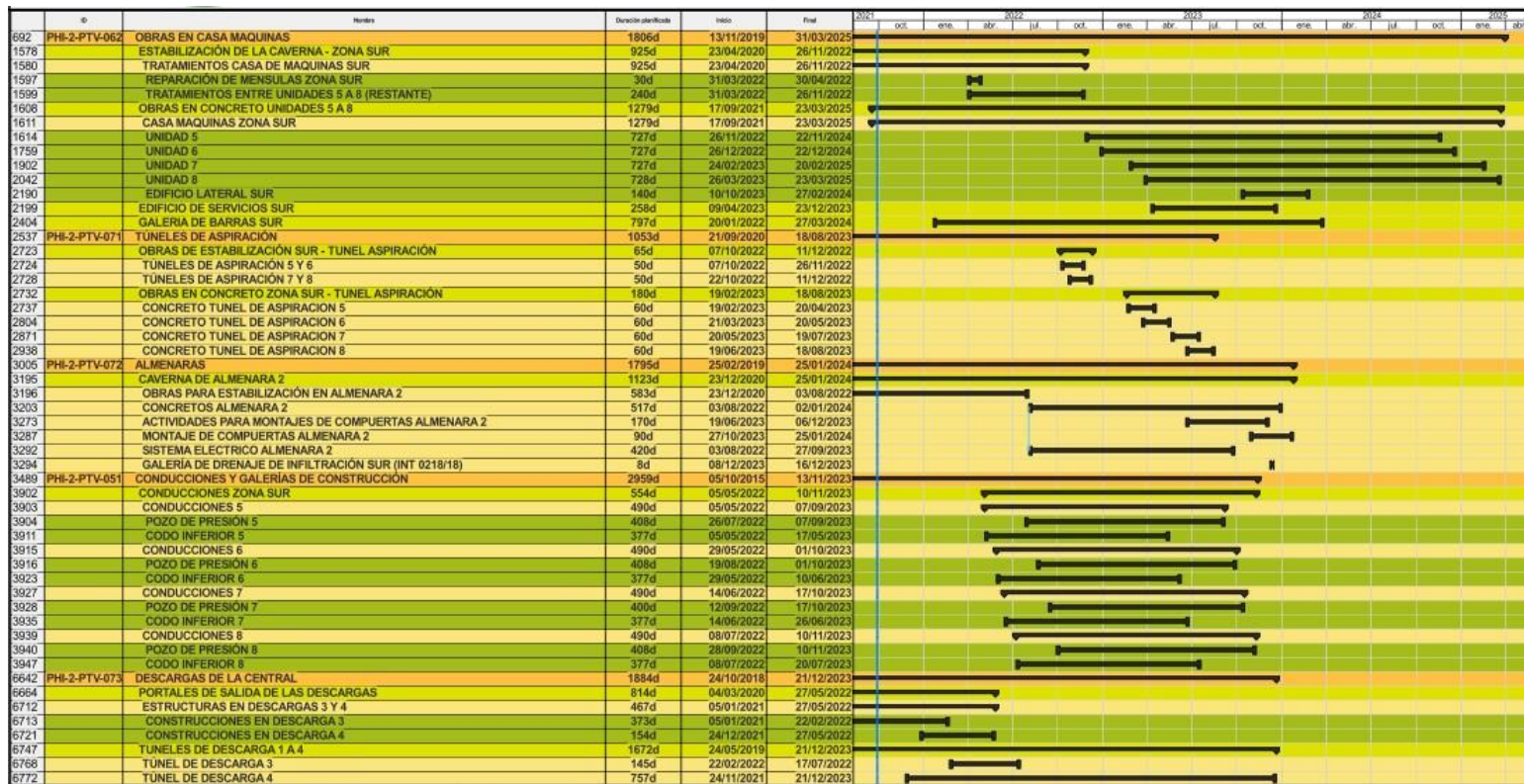
Apéndice A

Cronograma de situación actual

<https://unadvirtualedu->

[my.sharepoint.com/:b:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/EWcLKWDHnntEsyKtpauz0OkBAh4Gp9gmVeHr3XMO-](https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/EWcLKWDHnntEsyKtpauz0OkBAh4Gp9gmVeHr3XMO-)

[Vyh7w?e=BkBoxg](https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/EWcLKWDHnntEsyKtpauz0OkBAh4Gp9gmVeHr3XMO-Vyh7w?e=BkBoxg)



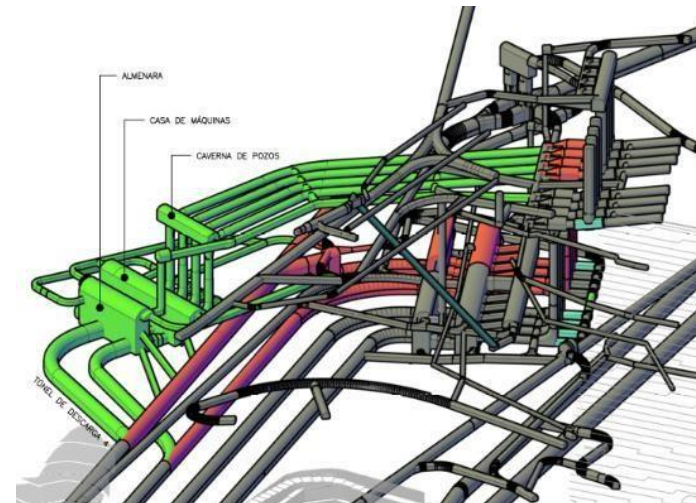
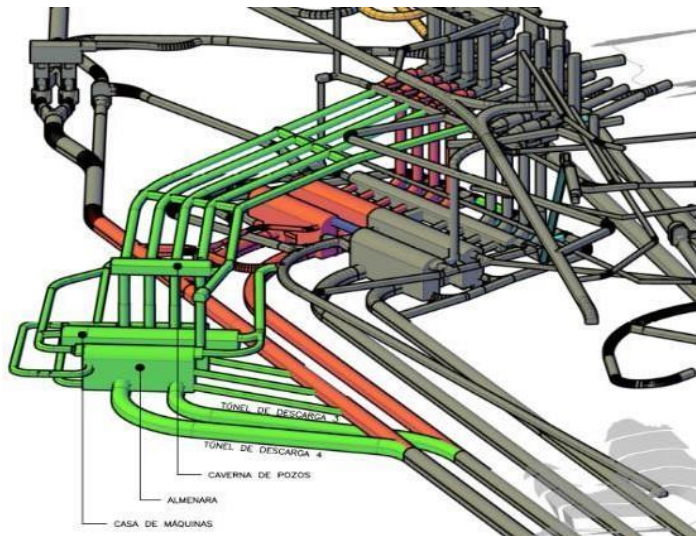
Apéndices B

Esquemas de Alternativa estudiada formato DWG

<https://unadvirtualedu->

[my.sharepoint.com/:u:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/EUQqKefzvapPrANhViNXQhgBbGHt7CxJSABEmHkQ9ubO](https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/:u:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/EUQqKefzvapPrANhViNXQhgBbGHt7CxJSABEmHkQ9ubO)

[vg?e=RG6vqy](#)



Apéndices C

Actividades y cantidades formato Excel.

<https://unadvirtualedu->

my.sharepoint.com/:x:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/EUy_O1cGMCpOhRs6

[Vu6qo00BS-jqYN4KyEciil_AhisoIQ?e=7EeVCa](https://my.sharepoint.com/:x:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/EUy_O1cGMCpOhRs6Vu6qo00BS-jqYN4KyEciil_AhisoIQ?e=7EeVCa)

NOMBRE	VOLUMEN (m3)	ANCHO (m)	HASTIALES (m)	ALTURA (m)	ÁREA (SECCIÓN) (m2)	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)
Almenara	87548.85						
Caverna de Casa de máquinas	142135.27						
Caverna de pozos	16079.40	13.50	10.88	14.25	178.66		90.00
Conducción superior 5	20924.60					7.60	471.17
Conducción superior 6	21634.27					7.60	489.10
Conducción superior 7	22443.04					7.60	507.05
Conducción superior 8	23249.53					7.60	525.05
Galería de acceso a Almenara EL.192.20	3777.02	5.00	3.75	5.00	23.12		162.95
Galería de acceso a Almenara EL.192.20	4602.40	5.00	3.75	5.00	23.12		199.31
Galería de acceso a Almenara EL.232.30	2211.26	5.00	3.75	5.00	23.12		103.66
Galería de acceso a Almenara EL.232.30	6596.78	5.00	3.75	5.00	23.12		285.64
Galería de acceso a Casa máquinas EL.199.00 norte	2216.26	5.00	3.75	5.00	23.12		95.60
Galería de acceso a Casa máquinas EL.199.00 sur	5369.26	5.00	3.75	5.00	23.12		232.41
Galería de acceso a Casa máquinas EL.230.00 norte	4675.31	5.00	3.75	5.00	23.12		201.55
Galería de acceso a Casa máquinas EL.230.00 sur	411.78	5.00	3.75	5.00	23.12		17.60
Galería de construcción 1 conducciones superiores	2668.52	6.40	4.80	6.40	37.89		100.00
Galería de construcción 2 conducciones superiores	2742.07	6.40	4.80	6.40	37.89		100.00
Pozo de presión 5	5926.86						108.88
Pozo de presión 6	5926.86						108.88
Pozo de presión 7	5926.86						108.88
Pozo de presión 8	5926.86						108.88
Ramales de construcción codos pozos de presión	7329.63						
Túnel de acceso a Conducciones superiores y caverna de pozos	14716.93	6.40	4.80	6.40	37.88		394.52
Túnel de aspiración 5	3209.88						30.00
Túnel de aspiración 6	3209.88						30.00
Túnel de aspiración 7	3209.88						30.00
Túnel de aspiración 8	3209.88						30.00
Túnel de descarga 3	48174.68	12.50	6.30	12.55	140.11		343.88
Túnel de descarga 4	69630.90	14.30	7.40	14.54	185.96		370.38

Apéndice D

Cronograma de alternativa de construcción

https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/:b:/g/personal/gapriasg_unadvirtual_edu_co/Edk-PP3vfDhIpREdyGxrwjQBktC_0g7RuVj5vdWFYtC2EA?e=m4XBsh



