

	FORMATO
	RESUMEN ANALÍTICO EN EDUCACIÓN - RAE

1. Información General	
Tipo de documento	Proyecto aplicado.
Acceso al documento	Trabajo proyecto aplicado para optar al título de Maestría en Gerencia de Proyectos.
Título del documento	Análisis programático de nuevas alternativas de construcción para la generación de energía del sector sur del Proyecto Hidroeléctrico Ituango.
Autor(es)	German Alexander Prias Guzmán
Publicación	Año 2022
Palabras Claves	Obstrucción, túneles, casa de máquinas, unidades generadoras, hidroeléctrica, presa, secuencia de construcción, cronograma de obras

2. Descripción
<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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</p>

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.

3. Fuentes

- 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.
- Consortio 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>
- Economia.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.
- Hidroeléctrica 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). *hidroeléctrica-de-ituango-el-megaproyecto-que-colombia-necesita*. Obtenido de <http://laotraopinion.net/desarrollo-de-infraestructura/hidroeléctrica-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.

4. Contenidos

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.

1. Metodología

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 causo 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 alternara 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 alimento 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 determinarían la ruta a seguir en pro del cumplimiento de los objetivos establecidos previamente:

Fase 1. Fase de identificación de alternativas

Actividades a desarrolladas:

Etapas 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.

Etapas 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.

Etapas 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:

- Etapas 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 determinó 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.

2. 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

Elaborado por:

German Alexander Prias Guzmán.

Fecha de elaboración del
Resumen:

23

04

2022