

Fecha de elaboración: 23.04.2021			
Tipo de documento	TID: pdf	Obra creación:	Proyecto investigación: X
Título: Análisis optimización de procesos en licitaciones EPC de subestaciones de alta tensión mediante el cálculo de calibre y metraje de cables de control y fuerza en equipos de patio			
Autor(es): Daniel Gómez Ospina, Andrés Felipe Pinillos Monsalve			
Tutor(es): Jamilton Benavides			
Fecha de finalización: 15.05.2021			
Temática: Análisis optimización de procesos en licitaciones EPC de subestaciones de alta tensión			
Tipo de investigación: Cuantitativa, cualitativa			
Resumen:			
<p>El siguiente análisis se ha centrado en el impacto económico del cálculo de cableado de control y fuerza en un proyecto de subestaciones de alta tensión EPC, también el tiempo de estimación en la fase de preingeniería y con base a esto realizar una propuesta de optimización. Los tiempos son muy ajustados para la presentación de las ofertas, lo cual podría incurrir a errores y así repercutir negativamente en los intereses de la empresa, por esto en el área de ofertas EPC se busca la innovación y optimización de los procesos, se identifica una oportunidad de mejora en uno de los procesos de la ejecución de las ofertas al desarrollar una herramienta de cálculo, se lograría disminución en tiempos de los recursos asignados a la actividad, aumento de tiempo para el análisis de resultados, se tendría una base de cálculo confiable y estandarizada, por ende, facilitaría el proceso de la ejecución y revisión de la oferta.</p>			
Palabras clave: Conductor, optimización, control y fuerza, subestación, software, ofertas, alta tensión			
Planteamiento del problema:			
<p>Típicamente en la presentación de licitaciones EPC los tiempos de preparación son muy reducidos, para poder estimar el valor EPC de una subestación se requieren realizar diferentes actividades, en una oferta, hay proceso de lectura de pliegos y alcance, análisis de disposiciones físicas y diagramas unifilares, desarrollo de la pre ingeniería básica, valoración económica y preparación de la documentación técnica de la oferta, además por ser un área donde se buscan oportunidades de contratos, se manejan ofertas en simultaneo, por lo tanto la optimización de los tiempos de ejecución y mejoras en la estandarización de los procesos se convierte en una necesidad para dar abasto con la densidad de trabajo. Por la limitación de tiempo, se deben estimar con base a la experiencia un gran número de partidas en la elaboración de la oferta, entre estas se encuentra el cableado de control y fuerza, para determinar exactamente la cantidad y tipo de cables a utilizar, se realiza la ingeniería de detalle luego de la adjudicación del contrato, en la etapa de oferta, típicamente se estima con base a la experiencia del diseñador con apoyo de proyectos ejecutados y ofertas similares ya presentadas.</p> <p>El tiempo de estimación de este ítems es muy reducido, por lo cual aumenta el porcentaje de error, en un proyecto ejecutado por la empresa, se realizó el comparativo del rubro de</p>			

cableado de baja tensión, entre el costo ofertado y el costo real de ejecución, el cual arrojó el resultado de sobrecosto en la actividad, es decir, la cantidad de metros del cable ofertado, fue menor al cableado necesario para ejecutar el proyecto, lo cual significó reducción en la utilidad final esperada por la empresa, con base a esto, con este análisis se busca optimizar el proceso, con una herramienta de cálculo automatizada que permita disminuir tiempos de ejecución y permita disminuir la probabilidad de error entre el valor calculado en la oferta y el valor ejecutado en el proyecto, por ende, analizar su impacto económico sobre la oferta.

Pregunta: ¿Es posible disminuir costos de operación y aumentar la confiabilidad de una oferta EPC con la optimización del tiempo del proceso de estimación del cableado de control fuerza mediante un software y cuál sería su impacto económico en el costo total en una oferta EPC?

Objetivos:

Objetivo general

Analizar optimización de procesos en ofertas EPC por medio del cálculo de calibre y cantidad de cable de control y fuerza para cumplir con los requerimientos técnico-económicos y mejorar tiempos para estimación de cantidades en la fase de preingeniería de proyectos licitados por la empresa.

Objetivos específicos

Estudiar la normatividad eléctrica relacionada con los requerimientos de cables de control y fuerza en subestaciones de alta tensión

Clasificar cables de control y fuerza por requerimiento de los sistemas y equipos de patio adentro de la subestación.

Analizar beneficios de optimización de tiempos de ejecución del proceso y costos asociados.

Plantear herramienta de cálculo que automatice el cálculo de cables de control y fuerza requeridos para el correcto funcionamiento los sistemas en una subestación de alta tensión.

Marco teórico:

Una subestación eléctrica es una exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, para el transporte, distribución o consumo, la energía se transforma a niveles adecuados de tensión, con determinados requisitos de calidad. La conforman diferentes equipos los cuales tienen como función principal, controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección.

Los principales equipos que conforman una subestación de alta tensión son:

Interruptor: Dispositivo de maniobra capaz de interrumpir, establecer y llevar las corrientes normales o asignadas del circuito y las anormales o de cortocircuito, mediante la conexión o desconexión de circuitos.

Seccionador: Dispositivo de maniobra utilizado para aislar los interruptores, porciones de la subestación o circuitos, para mantenimiento; en configuración de barras son utilizados para seccionar la forma de conectar los circuitos a los barrajes

Pararrayos: Dispositivo para la protección del sistema de potencia y sus componentes contra las sobretensiones, ya sea producida por descargas atmosféricas o por maniobras en el sistema durante fallas.

Transformadores de instrumentos: Dispositivos de monitoreo que censan, por medio de un acople inductivo, capacitivo u óptico, el cambio de estado de los parámetros de tensión y corriente del sistema.

Las maniobras en los equipos de las subestaciones eléctricas, son realizadas gracias al cableado de control y fuerza de alta tensión, los cuales juegan un papel fundamental en el correcto funcionamiento de estos.

Elementos principales de un cable de control y fuerza

Los elementos básicos constituyentes de los cables son los siguientes:

Conductor: Elemento metálico de cobre con la función de conducir la corriente eléctrica.

Aislamiento: Envoltente aislante aplicada sobre cada conductor.

Relleno: Material de relleno de intersticios entre conductores aislados para dar forma cilíndrica al conjunto.

Asiento de pantalla: Envoltente del relleno sobre la que se aplica la pantalla y que protege al aislamiento.

Pantalla: Envoltente metálica con funciones de protección electromagnética.

Cubierta: Envoltente externa con función de protección del conjunto del cable, sin función eléctrica

Se utilizarán cables de control multiconductores, con voltaje de operación de 600V o más. Diferentes equipos de potencia interconectarán estos cables y los tableros ubicados en el búnker o sala de control, canalizarán las señales de mando, enclavamientos, indicación, alarmas, alimentación CA, alimentación CD, medición y disparos. Estos irán soportados en todo su trayecto sobre canastas tipo escalera, las cuales no se deberán llenar en la medida de lo posible, más de un 70% de su área transversal total, la cubierta exterior debe ser de material no metálico y retardantes de la llama. No se permite una cubierta metálica por debajo, ni sobre la cubierta exterior no metálica. Si se instalan en lugares mojados, los cables de tipo TC deben ser resistentes a la humedad y a agentes corrosivos”

Normatividad

NTC 3942 (ICEA S73-532): Esta norma se aplica a los materiales, construcción y ensayos cables de control multiconductores cables de extensión de termopares, y cables de instrumentación, hasta e incluyendo 125 °C nominales.

RETIE: Esta norma se aplica a los alambres y cables, aislados o desnudos, usados como conductores eléctricos de control y sistemas de puesta a tierra de las instalaciones eléctricas, las cuales deben cumplir los requisitos generales y particulares, igualmente aplica a cables de acero galvanizados.

NTC2050: Esta norma se aplica a los requisitos generales de los conductores y sus denominaciones de tipos, aislamiento, rótulos, etiquetas, resistencia mecánica, capacidad de corriente nominal y usos.

Método:**Tipo de investigación**

En este trabajo según la naturaleza de los objetivos, se plantea el tipo de investigación mixto, ya que involucra aspectos cuantitativos y cualitativos

Metodología de la investigación

Recolección documental de la empresa: La información sobre licitaciones EPC de subestaciones de alta tensión es difícil de encontrar ya que es confidencial, debido a que las empresas que prestan el servicio contratos EPC son pocas en el sector, por lo cual se realiza una recolección de información interna en la empresa que presta el servicio y con base a su experiencia, establecer la manera más adecuada de optimizar sus procesos

Entrevista: Se realizan entrevistas a las personas que actualmente participan en la estimación de cantidades electromecánicas, particularmente a los encargados del metraje del cableado de control y fuerza con el fin de determinar la forma en la cual se está llevando a cabo el proceso y con base formular la oportunidad de mejora, también se tiene en cuenta el área de compras y de esta forma identificar la problemática y retrocesos que se han tenido por errores en estimación del metraje de control y fuerza, por último con el personal en obra, debido a que son los encargados de darle un buen uso a las cantidades de cableado, ya que si la persona encargada de instalar el cable en obra se equivoca, se pueden perder valiosos metros lineales, entonces recolectar según la experiencia toda la información sobre el tema y los equipos que componen el proceso, de esta forma identificar puntos críticos y disminuir la probabilidad de error.

Mediciones: Se analiza el proceso actual como se está realizando y cuál es el rendimiento de la persona encargada en realizar la actividad, el valor de metraje propuesto en la fase de oferta se compara con un proyecto en ejecución.

Observación en sitio de obra: En la ingeniería de detalle se confirman las cantidades reales según la disposición física de la subestación y de los equipos, tableros y elementos a los cuales se necesita tender el cableado, según este metraje que le entregan a la persona encargada en sitio, verificar que los metrajes estén acordes a lo real y de esta forma identificar cual es el desfase o error general en metros lineales, para una obra de esta magnitud.

Página 36 hasta página 41

Resultados, hallazgos u obra realizada:

Una vez definidos los objetivos, se realiza un diagnostico general del proceso del cableado de control y fuerza en una empresa que presta servicios EPC en el sector de la energía, particularmente en el área de ofertas, ya que es donde se realiza la ingeniería básica para establecer el presupuesto asociado a este ítem. Se pueden analizar varios puntos claves del presente trabajo, inicialmente en el área de ofertas es de vital importancia disminuir los tiempos de elaboración de las ofertas, mejorar el rendimiento y confiabilidad, se evidencia la oportunidad de mejora y/o necesidad de estandarizar el sub proceso del cálculo del metraje del cableado de control y fuerza y la propuesta es mediante un software con el cual se pueda realizar una mejor revisión de este ítem, también se identifica que el presupuesto

con el cual va a contar el área de proyectos y con el cual se va a realizar el proceso de compra del metraje total de cableado de control y fuerza depende del área de ofertas, desde este punto inicial se debe disminuir la probabilidad de error entre la cantidad ofertada versus ejecutado.

Realizando un análisis del proyecto, se puede evidenciar en la Tabla 14, que la diferencia entre cantidad ofertada y ejecutada es de 5.600 m de cable, el cual repercute directamente en los costos de la oferta, debido a que se tenía presupuestada para esta actividad un presupuesto de 53.349 USD para el suministro y para el montaje 15.594 USD, al final del proyecto se necesitó inyectar más dinero que el presupuestado 84.124 USD para el suministro y 10.223 USD para el montaje lo que significa que en costo total, se tuvieron pérdidas de 36.167 USD entre suministro y montaje, lo cual disminuye la utilidad final del proyecto.

Luego de este hallazgo y/o lección aprendida, se evidencia que se necesita un proceso de estandarización de este subproceso y de esta forma disminuir costos de operación debido a que con datos iniciales y un proceso estandarizado se optimizarán los tiempos de ejecución de la actividad y aumentará la confiabilidad disminuyendo riesgos entre la oferta y la ejecución del proyecto.

La propuesta consiste con base a la experiencia del personal que ha venido elaborando esta actividad, organizar ideas y conceptos, plasmarlos en una hoja de cálculo universal o general, el cual será la base de toda oferta con datos de entrada típicos de las subestaciones para llevar a cabo estos cálculos, como configuración de la subestación, si es centralizada o distribuida, con el fin de identificar si todos los tableros de control y proyección de la subestación estarán ubicados en un mismo edificio o se repartirán en el patio, esto lo define cada cliente, también el número de bahías y equivalencia de distancia entre ellas, número de equipos de patio y tipo de equipo, en la Tabla 16 se puede evidenciar la importancia de identificar qué tipos de equipos hay en la subestación, ya que dependiendo de esto se determinan las señales que debe llevar, la cantidad de cables y de que calibre.

Página 42 hasta página 53

Conclusiones:

Ante la competencia que se vive en el área de ofertas, costos y presupuestos en empresas con modalidad de contratos EPC, el tiempo y correcto desarrollo de la ingeniería básica se convierten en factores valiosos, para los cuales constantemente se realiza búsqueda de innovación o procesos de optimización.

Es posible disminuir costos de operación optimizando tiempos de ejecución de la actividad mediante el desarrollo de un software con datos de entrada necesario como distancias y cantidad de equipos.

Es posible mejorar el proceso de revisión y/o verificación de las cantidades electromecánicas y de esta forma mejorar la confiabilidad y disminuir riesgos de la oferta EPC mediante el desarrollo del software planteado, incluyendo una página de verificaciones.

Un común denominador entre los entrevistados es que el tiempo asignado para el desarrollo de las ofertas es muy corto, ya que en esta área recaen todas las oportunidades de negocio de la compañía, por lo tanto, simultáneamente el personal debe atender varias ofertas, con la automatización de subprocesos como el del presente trabajo, mejorará el rendimiento del personal.

Las comparaciones realizadas entre el proceso de oferta y proyecto, expone la necesidad mejorar el proceso de estimación de las ofertas en el sub proceso de la ingeniería básica del cableado de control y fuerza dado que los resultados muestran pérdidas económicas, mostrando con estos hallazgos la viabilidad del proyecto presentado.

Las entrevistas realizadas demuestran la importancia de aprovechar al máximo los recursos con los que se cuenta, con la ayuda del mismo personal que desempeña la actividad y la experiencia de los involucrados, se pueden identificar procesos que se puedan mejorar y como es el caso del presente proyecto, con poca inversión se puede lograr mejorar un ítem que ya le ha producido pérdidas a la empresa.

Página 54 hasta página 56

Productos derivados:

Cable, T., Itc, I., & Pltc, C. (n.d.). Índice Generalidades. 4–15.

Cables, C. (n.d.). Manual Técnico de Cables de Energía Índice. 11–12.

CDRC SIC Centro de Despacho Económico de Carga Sistema Interconectado Central. (2016). Guía Técnica: Criterios de Diseño para las Nuevas Subestaciones en Aire (AIS) del Sistema de Transmisión Nacional del SIC CDEC SIC. 48. <https://sic.coordinador.cl/wp-content/uploads/2015/08/Guía-Técnica-Criterio-Diseño-Subestaciones-VA1.pdf>

CENTElsa. (n.d.). Catálogo de precios.

CENTElsa. (1844). C a b l e s F l e x i b l e s. 69.

EDP. (2013). Especificación Técnica Cables de Fuerza , Medida y Control para Subestaciones y Centros de Reparto Especificación Técnica Cables de Fuerza , Medida y Control para Subestaciones y Centros de. 1–10.

ELECTROBASTOS. (n.d.). ELECTROABASTOS. Retrieved April 11, 2021, from <https://tienda.electroabastos.mx/sfg/index/index/formid/3/>

ENEL. (2004). Especificación técnica cables aislados de baja tensión para subestaciones.

ETAP. (n.d.). Software para Análisis y Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia.

Flyvbjerg, B., & Holm, M. S. (2002). Works Projects. Journal of the American Planning Association, 68(3), 279–295. <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Underestimating+Cost+in+Public+Works+Projects#0>

General Cable. (2012). Serving industrial, specialty and commercial applications.

HLC. (n.d.). ¿Qué es un contrato EPC? <https://www.hlsac.com/noticias/que-es-un-contrato-epc-2/>

HMV Ingenieros Ltda - Impulsando el. (2018). Subestaciones.

HMV, P. S. (n.d.). Sistema de Información Corporativo. Retrieved April 11, 2021, from https://apps.hmv.com/2015/PortalSIC/Proyecto/wf_PROY_CNT_FacturasEnProductosIni.aspx?id=423&lang=es-CO&IdContract=2256&idContrato=2256&idUserLevel=0&idProyecto=20738&sippal=1&sisim=0

ICE. (2012). Procedimiento para tendido de cables de control en una subestación eléctrica. 6–8.

IEEE Std 525-1978. (1978). IEEE Guide for Selection and Installation of Control and Low-Voltage Cable Systems in Substations. 16.

INGENIEROS, H. (n.d.). Proyectos “ EPC ” de Subestaciones y Líneas de Transmisión.

INGENIEROS, H. (2006). Asesoría para la Valoración de los Costos Unitarios de las Unidades Constructivas para la Actividad de Transmisión de Energía Eléctrica en Colombia.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1998). Código eléctrico colombiano NTC2050. Código Eléctrico Colombiano, 847.

Mejía Villegas S.A. (2016). Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión., 2 ed.

PROCABLES. (2020). LISTA DE PRECIOS No68.

Rodríguez, G., Gil, J., & García, E. (1996). Tradición y enfoques en la investigación cualitativa. *Metología de La Investigación Cualitativa*, 23–36. <http://www.albertomayol.cl/wp-content/uploads/2014/03/Rodriguez-Gil-y-Garcia-Metodologia-Investigacion-Cualitativa-Caps-1-y-2.pdf>

Sarduy Domínguez, Y. (2007). El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(3), 0–0. <https://doi.org/10.1590/S0864-34662007000300020>

Torres, A. I. Z. (2011). Rentabilidad y Ventaja Comparativa: Un análisis de los Sistemas de producción de Guayaba en el Estado de Michoacán. *Director*, 1–119.

WIKIPEDIA. (n.d.). Engineering, procurement, and construction. https://en.wikipedia.org/wiki/Engineering,_procurement,_and_construction

**ANÁLISIS OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN LICITACIONES EPC DE
SUBESTACIONES DE ALTA TENSIÓN MEDIANTE EL CÁLCULO DE
CALIBRE Y METRAJE DE CABLES DE CONTROL Y FUERZA EN EQUIPOS
DE PATIO**



**GÓMEZ OSPINA DANIEL,
PINILLOS MONSALVE ANDRÉS FELIPE**



**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA UNITEC
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE PROYECTOS
ESCUELA DE INGENIERÍA
BOGOTÁ
12/04/2021**

**ANÁLISIS OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS EN LICITACIONES EPC DE
SUBESTACIONES DE ALTA TENSIÓN MEDIANTE EL CÁLCULO DE
CALIBRE Y METRAJE DE CABLES DE CONTROL Y FUERZA EN EQUIPOS
DE PATIO**



**GÓMEZ OSPINA DANIEL,
PINILLOS MONSALVE ANDRÉS FELIPE**

ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE PROYECTOS

JAMILTON BENAVIDES

DIRECTOR



CORPORACIÓN UNIVERSITARIA UNITEC

ESCUELA DE INGENIERÍA

BOGOTÁ,

12/04/2021

Contenido

1. Pregunta de investigación.....	12
2. Hipótesis	13
2.1 Hipótesis de trabajo	13
2.2 Hipótesis nula	13
2.3 Hipótesis alterna	13
3. Objetivos	14
3.1 Objetivo general.....	14
3.2 Objetivos específicos	14
4. Justificación	15
5. Marco referencial	16
5.1 Antecedentes.....	16
6. Marco conceptual.....	20
7. Marco teórico.....	23
7.1 Equipos que conforman una subestación	23
7.2 Elementos principales de un cable de control y fuerza	26
7.3 Calibres	27
7.4 Proyectos ejecutados.....	33

7.5	Normatividad	35
8.	Marco metodológico.....	36
8.1	Tipo de investigación	36
8.2	Metodología de la investigación.....	36
8.3	Análisis de la población involucrada.....	37
8.4	Enfoque de la investigación.....	39
	Enfoque cuantitativo.....	39
	Enfoque cualitativo	40
8.5	Instrumento	40
9.	Análisis y resultados.....	42
9.1	Entrevistas	43
9.2	Comparación oferta vs proyecto	45
9.3	Planteamiento de software	49
10.	Conclusiones.....	54
11.	Referencias	57

Listado de imágenes.

Imagen 1. Elementos básicos constituyentes de los cables (HVM Ingenieros Ltda - Impulsando el, 2018) 27

Imagen 2. Cables para control TC 600 V 90°C (Cable et al., n.d.) 27

Imagen 3. Ubicación de cajas de registro y tubos de Ingreso a gabinetes de control (ICE, 2012) 29

Imagen 4. SE Wallerfield (Autoría propia) 33

Imagen 5. SE Nueva Montería (Autoría propia) 34

Imagen 6. SE Purificación (Autoría propia) 34

Imagen 7. Disposición física subestación de alta tensión (HVM, n.d.) 52

Listado de tablas.

Tabla 1. Antecedentes (Autoría Propia - basada en diferentes autores)..... 16

Tabla 2. Marco conceptual (Autoría Propia - basada en diferentes autores)..... 20

Tabla 3. Conductor 14 AWG (Cable et al., n.d.)..... 28

Tabla 4. Conductor 12 AWG (Cable et al., n.d.)..... 28

Tabla 5. Conductor 10 AWG (Cable et al., n.d.)..... 28

Tabla 6. Capacidad de corriente permisible en conductores (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998). 30

Tabla 7. Propiedad de los conductores (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)..... 31

Tabla 8. Factores de ajuste (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)..... 32

Tabla 9. Tabla 250-95. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998)..... 32

Tabla 10. Análisis de involucrados 38

Tabla 11. Personal entrevistado (Autoría Propia - basada en diferentes autores) 43

Tabla 12. Análisis presupuesto ofertado versus ejecutado (HMV, n.d.)..... 45

Tabla 13. (APU) Análisis precio unitario tendido de cable de C&F (Autoría Propia - basada en diferentes autores)..... 48

Tabla 14. Resumen (Autoría Propia - basada en diferentes autores)	48
Tabla 15. Costo de implementación del software (Autoría Propia - basada en diferentes autores)	50
Tabla 16. Número de cables de control y fuerza separado por equipo (Autoría Propia - basada en diferentes autores).....	51

Introducción

El siguiente análisis se ha centrado en el impacto económico del cálculo de cableado de control y fuerza en un proyecto de subestaciones de alta tensión EPC (Engineering, Procurement and Construction), también el tiempo de estimación en la fase de pre ingeniería y con base a esto realizar una propuesta de optimización.

El análisis se ha centrado en el área de ofertas de una empresa que presta servicios en el sector de la energía, este tipo de empresas compiten por la adjudicación de contratos EPC contra diferentes oferentes del sector, por lo cual el área de licitaciones es la encargada de competir y generar la adjudicación de los futuros proyectos con los cuales la empresa generará ingresos.

Los procesos de licitación son una forma de subasta donde un cliente da a conocer públicamente una necesidad, emiten pliegos, requerimientos de participación y diferentes empresas ofrecen prestar un servicio a cambio de dinero u otros beneficios, presentan su mejor oferta con base a las necesidades del proyecto (WIKIPEDIA, n.d.).

Una modalidad de contratación muy utilizada, son las ofertas “llave en mano” o EPC lo cual hace referencia a todo lo que incluye el contrato respecto al diseño, suministros y construcción, en este tipo de contrato, el contratista se obliga frente al cliente a cambio de un precio, cumplir con la responsabilidad global del proyecto (HLC, n.d.).

En las licitaciones EPC se busca estimar con una pre ingeniería básica un costo total por la ejecución de los servicios, típicamente en subestaciones de alta tensión, son muy ajustados los tiempos para la presentación de las ofertas, lo cual podría incurrir a errores y así repercutir negativamente en los intereses de la empresa, por esto en el área de ofertas EPC se busca la innovación y optimización de los procesos.

Para analizar esta problemática, se realiza énfasis en el cableado de control y fuerza, ya que es uno de los ítems en el proceso de licitación de una subestaciones de alta tensión que tiene mayor peso, ya que la unidad de medida para la estimación del costo es en metros lineales [m] y típicamente una subestación tradicional la cantidad en metraje de control y fuerza es en kilómetros [km], desde el punto de vista técnico, estimar la cantidad de este metraje demanda un tiempo considerable para el responsable en la preparación de la oferta, ya que con base a la experiencia y planos de disposición física, se debe calcular las distancias desde el equipo de interés hasta el respectivo tablero, sea de control, protección o agrupamiento, determinar dependiendo del equipo el número de cables necesarios, para qué fin se van a utilizar y con base a esto determinar los calibres de los cables multiconductores.

A partir de este hecho y la experiencia adquirida en el área de ofertas EPC, se identifica una oportunidad de mejora en uno de los procesos de la ejecución de las ofertas de subestaciones de alta tensión, ya que actualmente en la empresa donde se va a analizar la posibilidad de optimización del proceso, no cuenta con una herramienta de cálculo estandarizada, lo cual aumenta la probabilidad de cometer errores humanos, al desarrollar una herramienta de cálculo con parámetros básicos de entrada, se lograrían la optimización en este proceso, lo cual conlleva a la disminución en tiempos de los recursos asignados a la actividad, aumento de tiempo para el análisis de resultados, se tendría una base de cálculo confiable y estandarizada, por ende facilitaría el proceso de la ejecución y revisión de los resultados.

Palabras clave: Conductor, optimización, control y fuerza, subestación, software, ofertas, alta tensión

Planteamiento del problema

Típicamente en la presentación de licitaciones EPC los tiempos de preparación son muy reducidos, para poder estimar el valor EPC de una subestación se requieren realizar diferentes actividades, en una oferta, hay proceso de lectura de pliegos y alcance, análisis de disposiciones físicas y diagramas unifilares, desarrollo de la pre ingeniería básica, valoración económica y preparación de la documentación técnica de la oferta, además por ser un área donde se buscan oportunidades de contratos, se manejan ofertas en simultaneo, por lo tanto la optimización de los tiempos de ejecución y mejoras en la estandarización de los procesos se convierte en una necesidad para dar abasto con la densidad de trabajo.

Por la limitación de tiempo, se deben estimar con base a la experiencia un gran número de partidas en la elaboración de la oferta, entre estas se encuentra el cableado de control y fuerza, para determinar exactamente la cantidad y tipo de cables a utilizar, se realiza la ingeniería de detalle luego de la adjudicación del contrato, en la etapa de oferta, típicamente se estima con base a la experiencia del diseñador con apoyo de proyectos ejecutados y ofertas similares ya presentadas.

El tiempo de estimación de este ítems es muy reducido, por lo cual aumenta el porcentaje de error, en un proyecto ejecutado por la empresa, se realizó el comparativo del rubro de cableado de baja tensión, entre el costo ofertado y el costo real de ejecución, el cual arrojó el resultado de sobrecosto en la actividad, es decir, la cantidad de metros del cable ofertado, fue menor al cableado necesario para ejecutar el proyecto, lo cual significó reducción en la utilidad final esperada por la empresa, con base a esto, con este análisis se busca optimizar el proceso, con una herramienta de cálculo automatizada que permita disminuir tiempos de ejecución y permita disminuir la probabilidad de error entre el valor

calculado en la oferta y el valor ejecutado en el proyecto, por ende, analizar su impacto económico sobre la oferta.

1. Pregunta de investigación

¿Es posible disminuir costos de operación y aumentar la confiabilidad de una oferta EPC con la optimización del tiempo del proceso de estimación del cableado de control fuerza mediante un software y cuál sería su impacto económico en el costo total en una oferta EPC?

2. Hipótesis

2.1 Hipótesis de trabajo

El desarrollo de un software dedicado para estimar las cantidades de metraje de cableado de control y fuerza de acuerdo con las normas técnicas vigentes, permitirá disminuir costos de operación y aumentar la confiabilidad de una oferta EPC de subestaciones de alta tensión.

2.2 Hipótesis nula

El desarrollo de un software, no permitirá disminuir costos de operación ni aumentar la confiabilidad de una oferta EPC de subestaciones de alta tensión ya que se debe invertir un tiempo para la capacitación del personal que va a realizar las funciones, lo cual consumiría mayor tiempo del recurso y al inicio se podrían cometer errores en la nueva forma de presentar las ofertas.

2.3 Hipótesis alterna

¿Podría tener un impacto negativo el implementar formas de trabajar más óptimas versus la forma de trabajar tradicional?

Es una hipótesis que genera diversos comentarios pero que podría tener lógica para las personas con muchos años en la compañía que se encuentran en una zona de confort, las cuales están en contra de los cambios e innovaciones.

¿La empresa tendría que realizar inversión en licencia de software?

Es uno de los factores más determinantes a la hora de implementar nuevas herramientas de trabajo, ya que se evaluará el costo beneficio y viabilidad del proyecto.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Analizar optimización de procesos en ofertas EPC por medio del cálculo de calibre y cantidad de cable de control y fuerza para cumplir con los requerimientos técnicos-económicos y mejorar tiempos para estimación de cantidades en la fase de preingeniería de proyectos licitados por la empresa.

3.2 Objetivos específicos

Estudiar la normatividad eléctrica relacionada con los requerimientos de cables de control y fuerza en subestaciones de alta tensión

Clasificar cables de control y fuerza por requerimiento de los sistemas y equipos de patio adentro de la subestación.

Analizar beneficios de optimización de tiempos de ejecución del proceso y costos asociados.

Plantear herramienta de cálculo que automatice el cálculo de cables de control y fuerza requeridos para el correcto funcionamiento los sistemas en una subestación de alta tensión.

4. Justificación

Ante la competencia que se vive en el área de ofertas, costos y presupuestos en empresas con modalidad de contratos EPC, el tiempo y correcto desarrollo de la ingeniería básica se convierten en factores valiosos, para los cuales constantemente se realiza búsqueda de innovación o procesos de optimización.

En el sector de la energía, particularmente en licitaciones de subestaciones de alta tensión, la adjudicación de un proyecto puede depender de un factor mínimo que permita estar por encima de los competidores, por esto en muchas empresas se enfocan en disminuir los tiempos de ejecución de procesos repetitivos y mejorar temas como los análisis y revisiones de los resultados, ya que un error puede significar no ser competitivos en el mercado o significar un riesgo para la empresa en caso de adjudicación.

Se identifica que el cableado de control y fuerza es uno de los ítems que más impacta el valor final de una oferta de subestaciones de alta tensión y típicamente llevar a cabo su pre ingeniería, demanda gran cantidad de recursos y tiempo de ejecución, por lo cual se plantea un análisis de optimización en el proceso tanto en tiempo de ejecución de la pre ingeniería básica y el impacto positivo que puede generar económicamente a la oferta.

5. Marco referencial

5.1 Antecedentes

Para definir el problema de investigación, se optó por consultar diferentes bases de datos, partiendo por la normatividad eléctrica, clasificación por tipo y calibre, listado de precios relacionados con los requerimientos de cables de control y fuerza en subestaciones de alta tensión, identificando así la importancia de uno de los componentes que tiene mayor cantidad y por ende mayor costo en el presupuesto de una oferta EPC de una subestación de alta tensión, evidenciando de esta forma antecedentes para la viabilidad del proyecto.

“Analizar optimización de proceso de ofertas EPC”

Tabla 1. Antecedentes (Autoría Propia - basada en diferentes autores)

Autor	Objetivo	Conclusión
(ETAP, n.d.)	Identificar Software de optimización relacionados con el cableado de baja tensión	Analizar Software creado por diferentes empresas del sector eléctrico, las cuales le ayudan a optimizar los cálculos de variables eléctricas, muestra la necesidad en el sector eléctrico en el correcto cálculo mediante software, por lo tanto optimizar con cálculos automáticos se vuelve prioridad

<p>(CDRC SIC Centro de Despacho Económico de Carga Sistema Interconectado Central, 2016)</p>	<p>Establecer diferentes guías de diseño para el correcto cálculo y/o estimación de los elementos que componen una subestación de alta tensión</p>	<p>Los precios de los cables son dados por metro lineal, donde se pueden identificar los diferentes calibres de control y fuerza, estos precios se multiplican por la cantidad de metros lineales necesarios en una subestación</p>
<p>(INGENIEROS, 2006)</p>	<p>Analizar costos se suministró y construcción por unidades constructivas e identificar el costo del cableado de control y fuerza en un proyecto de subestaciones de alta tensión dependiendo de su configuración</p>	<p>Se logra identificar en los precios unitarios, el peso de cada ítem que compone un proyecto de una subestación dependiendo de su configuración de construcción y la importancia que tiene la correcta estimación del cableado</p>
<p>(INGENIEROS, n.d.)</p>	<p>Analizar el significado de proyectos EPC e identificar una empresa del sector eléctrico que se dedique a esta actividad y de esta forma analizar a que empresas se les puede realizar</p>	<p>En empresas como HMV INGENIEROS que se dedican a EPC de subestaciones de alta tensión se puede llevar acabo la optimización, ya que una de sus principales ramas de negocio,</p>

	un análisis de optimización en el proceso del cableado utilizado en la construcción de subestaciones	son los proyectos de subestaciones EPC.
(General Cable, 2012)	Identificar los diferentes tipos de cables de control y seleccionar los calibres típicos con los cuales se pueda realizar una base estándar del cable necesario para cada proyecto y de esta forma ahorrar tiempo en la ejecución de los proyectos	Existen gran variedad de cables de control en el mercado, la correcta selección de su calibre, depende de un estudio realizado por la ingeniería de detalle, un estudio de varios proyectos ejecutados
(CENTELSA, 1844)	Identificar los diferentes tipos de cables de fuerza y seleccionar los calibres típicos con los cuales se pueda realizar una base estándar del cable necesario para cada proyecto y de esta forma ahorrar tiempo en la ejecución de los proyectos	Existen gran variedad de cables de fuerza en el mercado, la correcta selección de su calibre, depende de un estudio realizado por la ingeniería de detalle, un estudio de varios proyectos ejecutados
(Instituto Colombiano de Normas	Revisar la información disponible en las normas	Para llevar correctamente a cabo una optimización, se debe

<p>Técnicas y Certificación, 1998)</p>	<p>colombianas sobre la ingeniería del cableado de control y fuerza</p>	<p>asegurar de seguir los lineamientos de las normas aplicables</p>
<p>(ENEL, 2004)</p>	<p>Establecer requisitos generales que debe cumplir el suministro, fabricación, ensayos de cables aislados de fuerza y control, destinados al montaje y puesta en servicio en subestaciones de alta tensión</p>	<p>Cada cliente aunque tenga sus propios requisitos, el tipo de cable y calibre no cambia en gran medida, lo que más cambia es la forma de transportarlo, en bandejas ó porta cables o tendidos directamente sobre el cárcamo</p>
<p>(Cables, n.d.)</p>	<p>Establecer requerimientos técnicos de los cables de control y fuerza, además indica las características según la normativa que deben cumplir</p>	<p>Los cables de control y fuerza, deben cumplir características técnicas, fabricación e instalación para su correcto funcionamiento.</p>
<p>(Cable et al., n.d.)</p>	<p>Dar a reconocer los cables típicos usados en subestaciones</p>	<p>Los cables tienen diferentes presentaciones y funciones</p>

6. Marco conceptual

Tabla 2.Marco conceptual (Autoría Propia - basada en diferentes autores)

Término	Definición	Fuente
Conductor	Elemento metálico de cobre con la función de conducir la corriente eléctrica.	(Mejía Villegas S.A, 2016).
Aislamiento	Envoltente aislante aplicada sobre cada conductor	(Mejía Villegas S.A, 2016).
Relleno	Material de relleno de intersticios entre conductores aislados para dar forma cilíndrica al conjunto.	(Mejía Villegas S.A, 2016)
Sobrecosto	Es un costo inesperado que se incurre por sobre una cantidad presupuestada debido a una subestimación del costo real durante el proceso de cálculo del presupuesto. El sobrecosto debería ser distinguido de la escala del costo, que es usado para expresar un crecimiento	(Flyvbjerg & Holm, 2002)

	<p>anticipado en el costo presupuestado debido a factores tales como la inflación.</p>	
<p>Rentabilidad</p>	<p>La rentabilidad es la relación que existe entre la utilidad y la inversión necesaria para lograrla, ya que mide tanto la efectividad de la gerencia de una empresa, demostrada por las utilidades obtenidas de las ventas realizadas y utilización de inversiones, su categoría y regularidad es la tendencia de las utilidades. Estas utilidades a su vez, son la conclusión de una administración competente, una planeación integral de costos y gastos y en general de la observancia de cualquier medida tendiente a la obtención de utilidades. La rentabilidad también es entendida como una noción que se aplica a toda</p>	<p>(Torres, 2011)</p>

	<p>acción económica en la que se movilizan los medios, materiales, humanos y financieros con el fin de obtener los resultados esperados.</p>	
--	--	--

7. Marco teórico

Una subestación eléctrica es una exteriorización física de un nodo de un sistema eléctrico de potencia, para el transporte, distribución o consumo, la energía se transforma a niveles adecuados de tensión, con determinados requisitos de calidad. La conforman diferentes equipos los cuales tienen como función principal, controlar el flujo de energía y garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de protección.

Las subestaciones convencionales de alta tensión, consiste en un número de circuitos de entrada y salida, donde el interruptor es el principal componente de un circuito, conectado a un punto común, barraje de la subestación, los transformadores de instrumentación, seccionadores y pararrayos, entre otros, también hacen parte del circuito y son equipos de alta tensión, con sistemas secundarios como son los de control, protección, comunicaciones y servicios auxiliares

7.1 Equipos que conforman una subestación

Los equipos que conforman las subestaciones, están controlados por los cables de baja tensión, son aquellos que se usan en sistemas que funcionan a 1000 V o menos. Para que dispositivos de utilización puedan operar, estos cables están diseñados, para suministrarles la energía requerida. Los cables de control e instrumentación son conductores eléctricos aislados, los cuales se utilizan para operar o transmitir información a los dispositivos que controlan la conmutación de potencia o los equipos de conversión. El área de la sección transversal de los conductores generalmente es N° 6 AWG o menor, y el ciclo de trabajo es tal que el calentamiento del conductor es insignificante (IEEE Std 525-1978, 1978).

Para el suministro e instalación de los cables de baja tensión, aplican requisitos técnicos que deben cumplir según la normativa vigente, todos los cables y accesorios que serán instalados en todas las obras del proyecto, deberán ser aptos para las condiciones ambientales del proyecto, los cables para instrumentación serán utilizados para las señales análogas de los equipos de medida y control, deberán cumplir con las características generales de los cables de control y los conductores deberán ser trenzados y agrupados por pares (twisted), los cables para instrumentación deberán tener, adicional a los cables agrupados por pares, un conductor de las mismas características de los demás conductores, con aislamiento color verde para conexión a tierra de los instrumentos, los cables de fuerza, serán utilizados en los circuitos de bajo voltaje de los sistemas de servicios auxiliares, circuitos de potencia, trifásicos, cuatro hilos, circuitos de potencia, fase- neutro, a dos hilos, circuitos de fuerza y control, monofásicos, dos hilos no aterrizados, aislados a 0.6/1.0 kV deberán ser del tipo multipolar para conductores con calibres menores o iguales al No. 2 AWG y de tipo mono polar para conductores con calibres mayores o iguales a 1/0 AWG, los conductores deberán ser fabricados con cobre de temple blando o recocido, sin revestimiento y del tipo de trenzado concéntrico clase B, los conductores de los cables mono polares y multipolares deberán tener un aislamiento de polietileno reticulado. Los conductores aislados de los cables multipolares deberán agruparse entre sí y enlazarse por medio de una cinta no metálica de un material no higroscópico, junto con los rellenos del mismo material del aislamiento, que se requiera para proporcionarle una sección circular al cable, una vez agrupados y entrelazados los conductores de los cables multipolares, se deberá disponer de una chaqueta común, Los cables deberán ser aptos para instalación en sistemas de bandejas porta cables, los cables de control aislados a 0,45/0,75 kV serán multipolares. Los

conductores deberán ser fabricados con cobre de temple blando o recocido, sin revestimiento y de tipo de trenzado concéntrico clase C, con aislamiento de polietileno reticulado. Los conductores deberán agruparse entre sí y enlazarse por medio de una cinta no metálica de un material no higroscópico, junto con los rellenos del mismo material del aislamiento, que se requiera para proporcionarle una sección circular al cable, una vez agrupados y entrelazados los conductores de los cables multipolares, se deberá disponer de una chaqueta común, son utilizados en un sistema 125 Vcc de dos hilos no aterrizados y en un sistema 230 Vca, con neutro sólidamente aterrizado, para el control, protección y señalización de los circuitos del proyecto.

Los cables serán instalados al aire libre en un sistema de bandeja porta cables tipo escalera, en un interior de cárcamos con paredes de hormigón y en ciertos tramos en canalizaciones aéreas y subterráneas, por lo tanto deberán ser adecuados para esta aplicación y para instalación en lugares húmedos y secos, las chaquetas y materiales no metálicos de los cables deberán ser libres de halógenos, retardantes a la llama y tener las características de no propagación (Cables, n.d.)

Los principales equipos que conforman una subestación de alta tensión son:

Interruptor: Dispositivo de maniobra capaz de interrumpir, establecer y llevar las corrientes normales o asignadas del circuito y las anormales o de cortocircuito, mediante la conexión o desconexión de circuitos.

Seccionador: Dispositivo de maniobra utilizado para aislar los interruptores, porciones de la subestación o circuitos, para mantenimiento; en configuración de barras son utilizados para seccionar la forma de conectar los circuitos a los barrajes

Pararrayos: Dispositivo para la protección del sistema de potencia y sus componentes contra las sobretensiones, ya sea producida por descargas atmosféricas o por maniobras en el sistema durante fallas.

Transformadores de instrumentos: Dispositivos de monitoreo que censan, por medio de un acople inductivo, capacitivo u óptico, el cambio de estado de los parámetros de tensión y corriente del sistema (Mejía Villegas S.A, 2016).

La presente especificación define las características que deben cumplir los cables utilizados en los circuitos de control, protección, medida y fuerza en las subestaciones de alta tensión, el presente documento fija tanto las características de las mangueras multipolares de interconexión de equipos y armarios eléctricos como los hilos utilizados en el cableado interno de los mismos.

Las maniobras en los equipos de las subestaciones eléctricas, son realizadas gracias al cableado de control y fuerza de alta tensión, los cuales juegan un papel fundamental en el correcto funcionamiento de estos.

7.2 Elementos principales de un cable de control y fuerza

Los elementos básicos constituyentes de los cables son los siguientes:

Conductor: Elemento metálico de cobre con la función de conducir la corriente eléctrica.

Aislamiento: Envoltente aislante aplicada sobre cada conductor.

Relleno: Material de relleno de intersticios entre conductores aislados para dar forma cilíndrica al conjunto.

Asiento de pantalla: Envoltente del relleno sobre la que se aplica la pantalla y que protege al aislamiento.

Pantalla: Envoltente metálica con funciones de protección electromagnética.

Cubierta: Envoltente externa con función de protección del conjunto del cable, sin función eléctrica (EDP, 2013)

En la Imagen 1 e Imagen 2, se puede observar los elementos básicos de los cables

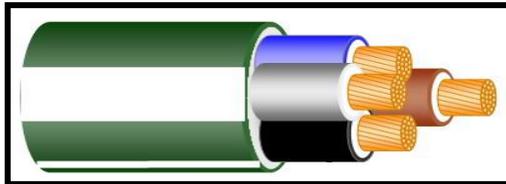


Imagen 1. Elementos básicos constituyentes de los cables (HVM Ingenieros Ltda - Impulsando el, 2018)

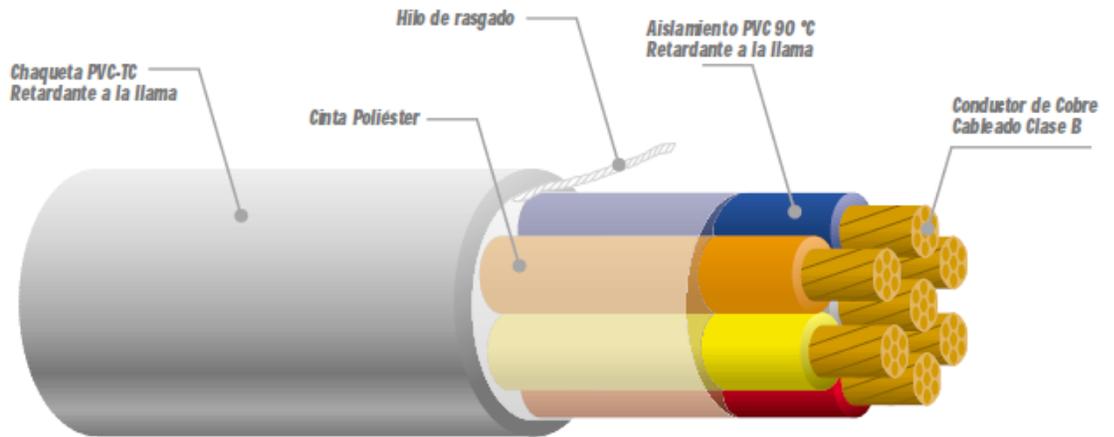


Imagen 2. Cables para control TC 600 V 90°C (Cable et al., n.d.)

7.3 Calibres

Los calibres típicos para los requerimientos de cada equipo se presentan en las tablas a continuación

Tabla 3. Conductor 14 AWG (Cable et al., n.d.)

NÚMERO DE CONDUCTORES	ESPOSOR DE LA CHAQUETA	MÁXIMA TENSIÓN DE HALADO	MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	CAPACIDAD DE CORRIENTE	DIÁMETRO TOTAL	PESO TOTAL
No. x AWG	mm	kgf	mm	A	mm	kg/km
2 x 14	1.14	29	37	20	9.27	114
4 x 14	1.14	57	43	16	10.67	167
7 x 14	1.14	102	51	14	12.66	263

Tabla 4. Conductor 12 AWG (Cable et al., n.d.)

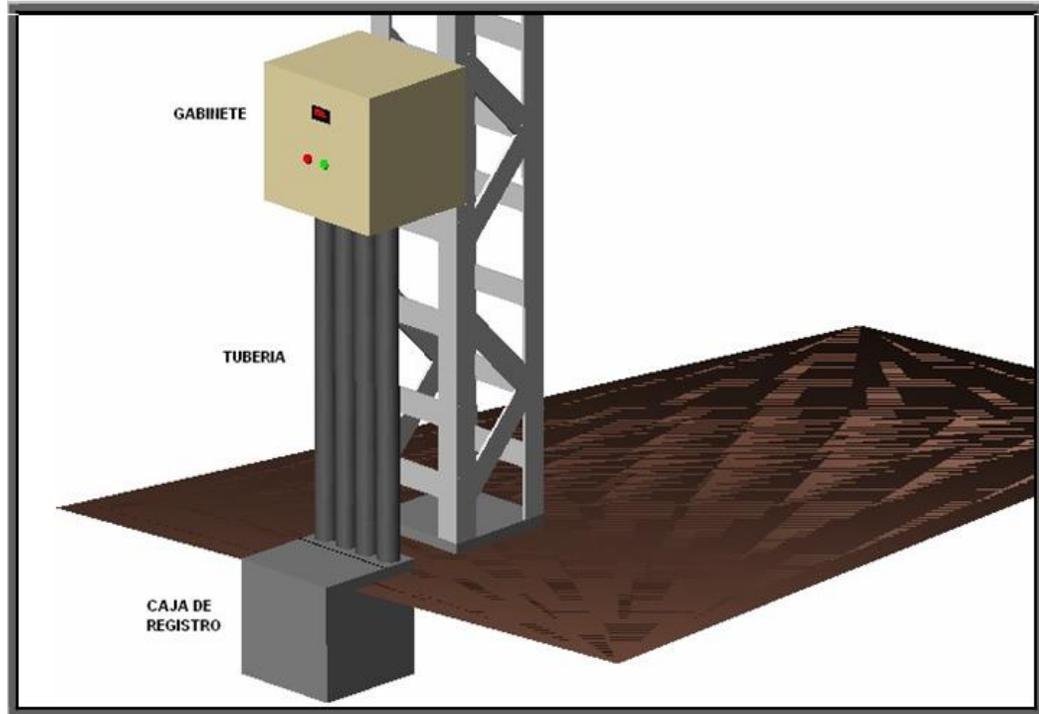
NÚMERO DE CONDUCTORES	ESPOSOR DE LA CHAQUETA	MÁXIMA TENSIÓN DE HALADO	MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	CAPACIDAD DE CORRIENTE	DIÁMETRO TOTAL	PESO TOTAL
No. x AWG	mm	kgf	mm	A	mm	kg/km
2 x 12	1.14	46	41	25	10.21	149
4 x 12	1.14	93	47	20	11.81	226
7 x 12	1.52	162	59	18	14.85	390

Tabla 5. Conductor 10 AWG (Cable et al., n.d.)

NÚMERO DE CONDUCTORES	ESPOSOR DE LA CHAQUETA	MÁXIMA TENSIÓN DE HALADO	MÍNIMO RADIO DE CURVATURA	CAPACIDAD DE CORRIENTE	DIÁMETRO TOTAL	PESO TOTAL
No. x AWG	mm	kgf	mm	A	mm	kg/km
4 x 10	1.14	74	53	24	13.23	316

Se utilizarán cables de control multiconductores, con voltaje de operación de 600V o más. Diferentes equipos de potencia interconectarán estos cables y los tableros ubicados en el búnker o sala de control, canalizarán las señales de mando, enclavamientos, indicación, alarmas, alimentación CA, alimentación CD, medición y disparos. Estos irán soportados en todo su trayecto sobre canastas tipo escalera, las cuales no se deberán llenar en la medida de lo posible, más de un 70% de su área transversal total.

En la Imagen 3 se observan los cables de control, los cuales deben ingresar y salir del gabinete de un equipo de potencia por la parte inferior del mismo, en los tableros de control y protección dentro del búnker y sala de control ingresarán por la parte superior del mismo (ICE, 2012).



*Imagen 3. Ubicación de cajas de registro y tubos de Ingreso a gabinetes de control
(ICE, 2012)*

La cubierta exterior debe ser de material no metálico y retardantes de la llama. No se permite una cubierta metálica por debajo, ni sobre la cubierta exterior no metálica. Si se instalan en lugares mojados, los cables de tipo TC deben ser resistentes a la humedad y a agentes corrosivos” (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998).

Para el cálculo del calibre de fuerza, son necesarias las siguientes tablas:

Tabla 6. Capacidad de corriente permisible en conductores (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998).

Sección transv.	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre
	60 °C TIPOS TW*, UF*	75 °C TIPOS FEPW*, RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW*, USE*, ZW*	90 °C TIPOS TBS,SA,SS,FEP*, FEPB*,ML,RHH*, RHW-2, THHN*, THHW*,THW-2*, THWN-2*, USE-2, XHH, XHHW*, XHHW-2, ZW-2	60 °C TIPOS TW*, UF*	75 °C TIPOS RH*, RHW*, THHW*, THW*, THWN*, XHHW, USE*	90 °C TIPOS TBS,SA,SS, THHN*, THHW*, THW-2, THWN-2, RHH*, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm²	COBRE			ALUMINIO 0 ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG o kcmils
0,82	--	--	14	--	--	--	18
1,31	--	--	18	--	--	--	16
2,08	20*	20*	25	--	--	--	14
3,30	25*	25*	30*	20*	20*	25*	12
5,25	30	35*	40*	25	30*	35*	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
456,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000
FACTORES DE CORRECCIÓN							
Temp. ambiente en °C	Para temperaturas ambientes distintas de 30°C, multiplicar las anteriores corrientes por el correspondiente factor de los siguientes						Temp. ambiente en °C
21-25	1,08	1,05	1,04	1,08	1,05	1,04	21-25
26-30	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	26-30
31-35	0,91	0,94	0,96	0,91	0,94	0,96	31-35
36-40	0,82	0,88	0,91	0,82	0,88	0,91	36-40
41-45	0,71	0,82	0,87	0,71	0,82	0,87	41-45
46-50	0,58	0,75	0,82	0,58	0,75	0,82	46-50
51-55	0,41	0,67	0,76	0,41	0,67	0,76	51-55
56-60		0,58	0,71		0,58	0,71	56-60
61-70		0,33	0,58		0,33	0,58	61-70
71-80			0,41			0,41	71-80

Tabla 7. Propiedad de los conductores (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998).

Calibre AWG Kcmils	sección transv. mm ²	Conductores				Resistencia en c.c. a 75°C		
		Trenzados		Todos		Cobre		Aluminio
		Canti- dad	Diám. en mm	Diám. en mm	sección mm ²	Sin recubrir ohmios/km	Recubierto ohmios/km	ohmios/km
18	0,82	1	--	1,02	0,65	25,49	26,51	41,99
18		7	0,38	1,17	1,29	26,08	27,72	42,98
16	1,31	1	--	1,30	1,29	16,04	16,67	26,41
16		7	0,48	1,47	1,94	16,37	17,36	26,96
14	2,08	1	--	1,63	1,94	10,07	10,47	16,6
14		7	0,61	1,85	2,58	10,3	10,7	16,96
12	3,31	1	--	2,06	3,23	6,33	6,59	10,43
12		7	0,76	2,34	3,87	6,49	6,73	10,66
10	5,26	1	--	2,59	5,16	3,97	4,13	6,56
10		7	0,97	2,95	7,1	4,07	4,23	6,69
8	8,37	1	--	3,25	8,39	2,51	2,58	4,13
8		7	1,24	3,71	10,97	2,55	2,65	4,20
6	13,30	7	1,55	4,67	17,42	1,61	1,67	2,65
4	21,15	7	1,96	5,89	27,1	1,01	1,05	1,67
3	26,66	7	2,21	6,6	34,19	0,80	0,833	1,32
2	33,63	7	2,46	7,42	43,23	0,64	0,659	1,05
1	42,41	19	1,68	8,43	56,13	0,51	0,525	0,83
1/0	53,51	19	1,88	9,45	70,32	0,4	0,417	0,66
2/0	67,44	19	2,13	10,62	88,39	0,317	0,331	0,52
3/0	85,03	19	2,39	11,94	111,61	0,251	0,261	0,41
4/0	107,22	19	2,69	13,41	141,29	0,199	0,205	0,33
250	--	37	2,08	14,61	167,74	0,169	0,175	0,278
300	--	37	2,23	16,0	201,29	0,141	0,146	0,232
350	--	37	2,46	17,3	234,84	0,120	0,125	0,198
400	--	37	2,64	18,49	268,39	0,105	0,109	0,174
500	--	37	2,95	20,65	334,84	0,085	0,087	0,139
600	--	61	2,51	22,68	403,87	0,070	0,073	0,116
700	--	61	2,72	24,49	470,97	0,060	0,062	0,099
750	--	61	2,82	25,35	504,52	0,0561	0,058	0,093
800	--	61	2,90	26,16	538,06	0,0528	0,054	0,087
900	--	61	3,1	27,79	606,45	0,047	0,048	0,077
1000	--	61	3,25	29,26	672,26	0,042	0,043	0,0696
1250	--	91	2,97	32,74	841,93	0,034	0,035	0,0554
1500	--	91	3,25	35,86	1 010,32	0,02815	0,0272	0,0463
1750	--	127	2,97	38,76	1180	0,02411	0,0248	0,0397
2000	--	127	3,2	41,45	1 349,67	0,0211	0,0217	0,0348

Tabla 8. Factores de ajuste (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998).

Número de conductores portadores de corriente	Porcentaje del valor de las Tablas, ajustado para la temperatura ambiente si fuera necesario
De 4 a 6	80
De 7 a 9	70
De 10 a 20	50
De 21 a 30	45
De 31 a 40	40
41 y más	35

Tabla 9. Tabla 250-95. Calibre mínimo de los conductores de puesta a tierra de equipos para puesta a tierra de canalizaciones (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1998).

Corriente nominal o ajuste máximo del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos, tubos conduit, etc. (A)	Sección Transversal			
	Alambre de cobre		Alambre de aluminio o de aluminio revestido de cobre *	
	mm ²	AWG o kcmil	mm ²	AWG o kcmil
15	2,08	14	3,30	12
20	3,30	12	5,25	10
30	5,25	10	8,36	8
40	5,25	10	8,36	8
60	5,25	10	8,36	8
100	8,36	8	13,29	6
200	13,29	6	21,14	4
300	21,14	4	33,62	2
400	26,66	3	42,20	1
500	33,62	2	53,50	1/0
600	42,20	1	67,44	2/0
800	53,50	1/0	85,02	3/0
1.000	67,44	2/0	107,21	4/0
1.200	85,02	3/0	126,67	250 kcmil
1.600	107,21	4/0	177,34	350 kcmil
2.000	126,67	250 kcmil	202,68	400 kcmil
2.500	177,34	350 kcmil	304,02	600 kcmil
3.000	202,68	400 kcmil	304,02	600 kcmil
4.000	253,25	500 kcmil	405,36	800 kcmil
5.000	354,69	700 kcmil	608,04	1.200 kcmil
6.000	405,36	800 kcmil	608,04	1.200 kcmil

7.4 Proyectos ejecutados

A continuación, se muestran imágenes de instalaciones reales en subestaciones de alta tensión, donde se evidencia la gran cantidad de cableado de control y fuerza tendido, lo cual muestra la importancia del cálculo correcto del metraje de este ítem



Imagen 4. SE Wallerfield (Autoría propia)



Imagen 5. SE Nueva Montería (Autoría propia)



Imagen 6. SE Purificación (Autoría propia)

7.5 Normatividad

NTC 3942 (ICEA S73-532): Esta norma se aplica a los materiales, construcción y ensayos cables de control multiconductores cables de extensión de termopares, y cables de instrumentación, hasta e incluyendo 125 °C nominales.

RETIE: Esta norma se aplica a los alambres y cables, aislados o desnudos, usados como conductores eléctricos de control y sistemas de puesta a tierra de las instalaciones eléctricas, las cuales deben cumplir los requisitos generales y particulares, igualmente aplica a cables de acero galvanizados.

NTC2050: Esta norma se aplica a los requisitos generales de los conductores y sus denominaciones de tipos, aislamiento, rótulos, etiquetas, resistencia mecánica, capacidad de corriente nominal y usos.

8. Marco metodológico

8.1 Tipo de investigación

En este trabajo según la naturaleza de los objetivos, se plantea el tipo de investigación mixto, ya que involucra aspectos cuantitativos y cualitativos, donde se realiza un análisis del proceso, con información documental, por medio de análisis de datos, tanto desde el origen inicial que es la oferta de la licitación, hasta la recolección de información en la ejecución del proyecto y de esta forma determinar el rango de error de las cantidades estimadas en el proceso de licitación y las realmente ejecutadas, para posteriormente diseñar las posibilidades de mejora más adecuadas para el proceso y de esta forma disminuir la probabilidad de error.

8.2 Metodología de la investigación

Recolección documental de la empresa: La información sobre licitaciones EPC de subestaciones de alta tensión es difícil de encontrar ya que es confidencial, debido a que las empresas que prestan el servicio contratos EPC son pocas en el sector, por lo cual se realiza una recolección de información interna en la empresa que presta el servicio y con base a su experiencia, establecer la manera más adecuada de optimizar sus procesos

Entrevista: Se realizan entrevistas a las personas que actualmente participan en la estimación de cantidades electromecánicas, particularmente a los encargados del metraje del cableado de control y fuerza con el fin de determinar la forma en la cual se está llevando a cabo el proceso y con base formular la oportunidad de mejora, también se tiene en cuenta el área de compras y de esta forma identificar la problemática y retrocesos que se han tenido por errores en estimación del metraje de control y fuerza, por último con el personal en obra, debido a que son los encargados de darle un buen uso a las cantidades de cableado, ya que

si la persona encargada de instalar el cable en obra se equivoca, se pueden perder valiosos metros lineales, entonces recolectar según la experiencia toda la información sobre el tema y los equipos que componen el proceso, de esta forma identificar puntos críticos y disminuir la probabilidad de error.

Mediciones: Se analiza el proceso actual como se está realizando y cual es el rendimiento de la persona encargada en realizar la actividad, el valor de metraje propuesto en la fase de oferta se compara con un proyecto en ejecución.

Observación en sitio de obra: En la ingeniería de detalle se confirman las cantidades reales según la disposición física de la subestación y de los equipos, tableros y elementos a los cuales se necesita tender el cableado, según este metraje que le entregan a la persona encargada en sitio, verificar que los metrajes estén acorde a lo real y de esta forma identificar cual es el desfase o error general en metros lineales, para una obra de esta magnitud.

Análisis: Al final se realiza un análisis general de la información recolectada y se realiza propuesta de optimización con base al análisis de optimización de proceso en ofertas EPC.

8.3 Análisis de la población involucrada

La población seleccionada es una empresa del sector eléctrico que presta los servicios de construcción a llave en mano EPC de subestaciones de alta tensión, en donde se dividirán los grupos según su participación en el proceso del cableado de control y fuerza.

Los equipos que participan en esta actividad desde su estimación u oferta, hasta ejecución en el proyecto son el equipo de oferta o licitaciones, el equipo de compras o suministros y el equipo de montaje electromecánico encargado de ejecutar el proyecto.

Tabla 10. Análisis de involucrados

GR UPOS	INTERESES	PROBLEMAS	RECURSOS Y MANDATOS
<p>Área de compras y suministros</p>	<p>Realizar las ordenes de compra para la ejecución del proyecto, el cable de control y fuerza se compra por metro lineal.</p>	<p>Si la cantidad de metros de la preingeniería, es diferente que la ingeniería de detalle, el proyecto perdería margen de ganancias.</p>	<p>Costos directos e indirectos en el puesto de trabajo.</p>
<p>Área de propuestas y ofertas EPC</p>	<p>Desarrollar preingeniería del metraje del cableado de control y fuerza, adicionalmente con esta cantidad se estima el presupuesto asignado por esta partida</p>	<p>Tiempos cortos para estimación del metraje del cableado de control y fuerza. La estimación de metraje es con base a la experiencia, no existe software o programa para</p>	<p>Costos directos e indirectos en el puesto de trabajo.</p>

	en la ejecución del proyecto.	esta actividad que agilice los procesos	
Ejecución del proyecto	Recepción, corte, tendido y conexionado de cableado de control y fuerza	Si no hay una correcta estimación del metraje, el proyecto tiene que comprar más cable a un costo mayor.	Costos directos e indirectos de llevar el seguimiento de la actividad en obra

8.4 Enfoque de la investigación

Enfoque cuantitativo

A través de la historia las ciencias y la investigación se han esforzado por aplicar métodos y estrategias que les permitan tener claridad y hacer de la ciencia un proceso estructurado. Existen diferentes tipos de investigación y según la naturaleza de la información que se recoge para responder al problema investigativo, estas pueden ejecutarse bajo dos paradigmas, la investigación cuantitativa o la cualitativa. El enfoque de la investigación cuantitativa se orienta principalmente hacia los estudios que exponen sólo clasificaciones de datos y descripciones de la realidad social y, en menor medida, hacia estudios que intentan formular explicaciones.

En el presente trabajo de investigación se va a realizar el procesamiento, recolección y análisis de datos cuantitativos o numéricos sobre variables previamente determinadas. Esto ya lo hace darle una connotación que va más allá de un mero listado de datos organizados

como resultado; pues estos datos que se muestran en el informe final, están en total consonancia con las variables que se declararon desde el principio y los resultados obtenidos van a brindar una realidad específica a la que estos están sujetos. (Sarduy Domínguez, 2007)

Enfoque cualitativo

La cualitativa está centrada a procesos de comprensión la cual permite que la investigación se pueda llevar a cabo de forma clara y más precisa, explora los procesos y describe el ambiente en el que se desenvolverá la investigación para poder establecer una u otra se debe verificar el planteamiento adecuado.

Esta es más profunda y al mismo tiempo evita la cuantificación, también se presta a que las personas que investigan sobre esta manera, hagan registros narrativos de los fenómenos que son estudiados (Rodríguez et al., 1996)

En este caso se explora el proceso del cableado de control y fuerza, desde su origen que es la oferta hasta su ejecución, con estudio de campo se determinan si las cantidades ofertadas son las mismas que las ejecutadas y de esta forma evaluar el error general y se toman pautas para optimizar los tiempos de ejecución de este proceso, incluyendo herramientas tecnológicas comunes y de esta forma, no depender de factores como la experiencia.

8.5 Instrumento

La técnica de investigación que se utiliza es la de observación, revisión documental y entrevistas, pues se realiza a través de la revisión de los informes del segmento de ingeniería de la empresa analizada aplicando las fórmulas de las variables definidas para el

análisis de la información y estudio de los diferentes campos que hacen parte de la entrega del producto final

9. Análisis y resultados

Una vez definidos los objetivos, se realiza un diagnóstico general del proceso del cableado de control y fuerza en una empresa que presta servicios EPC en el sector de la energía, particularmente en el área de ofertas, ya que es donde se realiza la ingeniería básica para establecer el presupuesto asociado a este ítem.

Se realiza la búsqueda de información relacionada al punto de investigación, donde se estudia la normativa ya mencionada en el desarrollo del proyecto, la clasificación y tipo de cables normalizados en calibre, información de planos de disposición física, planos de equipos típicos utilizados en el patio de las subestaciones de alta tensión estableciendo las señales que típicamente le deben ingresar, esto con el fin de estimar la cantidad y tipo de cable necesario para el correcto funcionamiento de una subestación de alta tensión y de esta forma establecer viabilidad de elaboración de un software que ayude a la optimización de la elaboración de las ofertas y disminuir la probabilidad de errores, adicionalmente se examina información para el análisis de una oferta presentada versus proyecto ejecutado.

Con entrevistas al personal de las áreas que intervienen en el proceso de la estimación de costos, compra y ejecución de los proyectos respecto al cableado de control y fuerza, se logra identificar actualmente como se lleva a cabo el proceso en cada una de las áreas en específico, rendimientos, niveles desde la oferta hasta la ejecución del proyecto, necesidades que identifica el personal a cargo y con base a estas entrevistas se plantea una oportunidad de mejora en este proceso y contar con la experiencia de las personas involucradas.

9.1 Entrevistas

Tabla 11. Personal entrevistado (Autoría Propia - basada en diferentes autores)

Área	Cargo	N° Empleados	Función con base al proyecto
Ofertas	Director estructuración	4	Consolidar la oferta EPC y realizar el cierre de precios donde se relacionan los valores enviados al cliente.
Ofertas	Ingeniero de diseño	4	Realizar ingeniería básica, la cual consiste en la estimación del metraje de control y fuerza de la oferta y con base a esto asignar precios.
Compras	Analista compras	4	Realizar la compra del cableado de control y fuerza para el proyecto EPC.
Proyectos	Jefe de terreno	2	Realizar el tendido del cableado de control y fuerza, dar los valores finales del metraje total de cable ejecutado en el proyecto.

Las entrevistas se llevaron a cabo en el orden que se muestra en la Tabla 11, comenzando por el personal involucrado en el área de ofertas, a continuación, se analizan los resultados por cada área.

Ofertas: Un común denominador entre los entrevistados es el tiempo asignado para el desarrollo de las ofertas, ya que en esta área recaen todas las oportunidades de negocio de la compañía, por lo tanto simultáneamente el personal debe atender varias ofertas, todos los entrevistados afirman que a pesar de que existe un proceso formado en la empresa para la asignación de actividades, se necesitan optimizaciones de los subprocesos que mayor tiempo se le debe invertir para desarrollar el producto, como es el caso del metraje del cableado de control y fuerza.

En la estructura del proceso de elaboración de la oferta, este ítem se encuentra como estimación de cantidades de cableado de baja tensión y el ingeniero de diseño

es el encargado de llevar a cabo esta actividad, en las entrevistas se identifica que no hay un subproceso claro para estimar estas cantidades y cada persona encargada de la ingeniería básica lo realiza según su experiencia en tablas propias realizadas en Excel, se identifica que no existe una herramienta que identifique errores en la estimación.

Compras y proyectos: Con base a la entrevista realizada a cada empleado que interviene en el proceso del cableado de control y fuerza, tanto en el área de compras como el área de proyectos, se identifica que trabajan con la ingeniería de detalle ya desarrollada, se reconoce que el cableado de control y fuerza es uno de los ítems que más diferencia tiene entre lo presupuestado y lo ejecutado, consumiendo así parte de la utilidad del proyecto cuando se presupuesta menos dinero que el costo real del proyecto, además se evidencia que falta retroalimentación de lecciones aprendidas desde el área de proyectos al área de ofertas.

Finalizando la etapa de entrevistas, se pueden analizar varios puntos claves del presente trabajo, inicialmente en el área de ofertas es de vital importancia disminuir los tiempos de elaboración de las ofertas, mejorar el rendimiento y confiabilidad, se evidencia la oportunidad de mejora y/o necesidad de estandarizar el sub proceso del cálculo del metraje del cableado de control y fuerza y la propuesta es mediante un software con el cual se pueda realizar una mejor revisión de este ítem, también se identifica que el presupuesto con el cual va a contar el área de proyectos y con el cual se va a realizar el proceso de compra del metraje total de cableado de control y fuerza depende del área de ofertas, desde este punto inicial se debe disminuir la probabilidad de error entre la cantidad ofertada versus ejecutado.

9.2 Comparación oferta vs proyecto

Se realiza el análisis documental de un proyecto EPC ofertado y ejecutado por la empresa de energía, a continuación en la Tabla 12, se encuentra el resumen del total de metros separado por el calibre y descripción de cable utilizado, donde se puede apreciar la diferencia de metros considerados en la oferta y el proyecto, el costo unitario equivalente al suministro del cable en USD y la multiplicación del costo por metro por el total de cable para de esta forma identificar la diferencia en suministro, ofertada y la ejecutada (CENTELSA, n.d.; ELECTROBASTOS, n.d.; PROCABLES, 2020)

En la Tabla 13 se puede apreciar un análisis de precios unitarios del tendido de cables multiconductores, es relevante este análisis ya que es un ítem que depende directamente del metraje de control y fuerza estimado en la fase de oferta, se calcula el costo de la mano de obra por metro lineal de este cable, la actividad incluye dos (2) linieros y dos (2) ayudantes, estimando los tramos más largos donde se necesiten realizar curvas en los cárcamos y los materiales consumibles como amarras plásticas con fines de sujeción del cable y buen tendido, las flechas que son los elementos con los cuales se marca el nombre de los multiconductores tendidos.

Finalmente se realiza el resumen de los costos, Tabla 14, donde se logra apreciar el costo total tanto de la oferta como del proyecto y la diferencia en USD tanto del suministro como el tendido de los cables multiconductores que implicó en este proyecto.

Tabla 12. Análisis presupuesto ofertado versus ejecutado (HNV, n.d.)

Ítem	Descripción	Unidad	Unitario [USD]	Cantidad [m] Proyecto	Total [USD] Proyecto	Cantidad [m] Oferta	Total [USD] Oferta
1	CABLE MULTICONDUCTOR APANTALLADO 19X14 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 8,62	1350	USD 11.631	800	USD 6.892
2	CABLE MULTICONDUCTOR APANTALLADO 8X14 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 5,43	2600	USD 14.129	1700	USD 9.238
3	CABLE MULTICONDUCTOR APANTALLADO 2X12 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 3,20	350	USD 1.119	300	USD 959
4	CABLE MULTICONDUCTOR APANTALLADO 4X12 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 3,32	3800	USD 12.624	2500	USD 8.305

Ítem	Descripción	Unidad	Unitario [USD]	Cantidad [m] Proyecto	Total [USD] Proyecto	Cantidad [m] Oferta	Total [USD] Oferta
5	CABLE MULTICONDUCTOR APANTALLADO 8X10 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 7,91	1950	USD 15.425	1000	USD 7.911
6	CABLE MULTICONDUCTOR APANTALLADO 8x12 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 6,54	1500	USD 9.812	1000	USD 6.541
7	CABLE MULTICONDUCTOR 5X12 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINILACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 2,31	2500	USD 5.765	2000	USD 4.612
8	CABLE MULTICONDUCTOR 5X8 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 6,05	750	USD 4.535	300	USD 1.814

Ítem	Descripción	Unidad	Unitario [USD]	Cantidad [m] Proyecto	Total [USD] Proyecto	Cantidad [m] Oferta	Total [USD] Oferta
9	CABLE MULTICONDUCTOR 5X2 AWG, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 15,31	400	USD 6.125	300	USD 4.594
10	CABLE MONOPOLAR 500 kcmil, 90° C, 0,6/1 kV, CUBIERTA FABRICADA CON MATERIALES EVA (ETIL-VINIL-ACETATO) ALTAMENTE RETARDANTE A LA LLAMA, BAJA EMISION DE HUMOS Y QUE NO PRODUZCAN GASES TOXICOS NI CORROSIVOS (HALOGENOS).	m	USD 8,27	360	USD 2.979	300	USD 2.482

Tabla 13. (APU) Análisis precio unitario tendido de cable de C&F (Autoría Propia

- basada en diferentes autores)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad/unidad	Costo desagregado	Costo/unidad
1	Tendido de cable multiconductores C&F	m	1,0		3.607,95 COP
1.1	Liniero tipo 1 - Experiencia 5 años o mayor	H/H	0,03	33.113,57 COP	1.103,79 COP
1.2	Liniero tipo 2 - Experiencia 2 años o mayor	H/H	0,03	33.113,57 COP	1.103,79 COP
1.3	Ayudante 1	H/H	0,03	11.097,72 COP	369,92 COP
1.4	Ayudante 2	H/H	0,03	11.097,72 COP	369,92 COP
1.5	Amarras Plásticas	un	2,00	31,16 COP	62,31 COP
1.6	Marquilla flecha	un	0,33	1.794,65 COP	598,22 COP

Tabla 14. Resumen (Autoría Propia - basada en diferentes autores)

RESUMEN	
SUMINISTRO PROYECTO	
Cantidad [m] Proyecto	15.560 m
Total [USD] Proyecto	USD 84.144

SUMINISTRO OFERTA	
Cantidad [m] Oferta	10.200 m
Total [USD] Oferta	USD 53.349
MONTAJE PROYECTO	
Cantidad [m] Proyecto	15.560 m
Total [USD] Proyecto	USD 15.594
MONTAJE OFERTA	
Cantidad [m] Oferta	10.200 m
Total [USD] Oferta	USD 10.223
DIFERENCIA [USD]	USD 36.167

Realizando un análisis del proyecto, se puede evidenciar en la Tabla 14, que la diferencia entre cantidad ofertada y ejecutada es de 5.600 m de cable, el cual repercute directamente en los costos de la oferta, debido a que se tenía presupuestada para esta actividad un presupuesto de 53.349 USD para el suministro y para el montaje 15.594 USD, al final del proyecto se necesitó inyectar más dinero que el presupuestado 84.124 USD para el suministro y 10.223 USD para el montaje lo que significa que en costo total, se tuvieron pérdidas de 36.167 USD entre suministro y montaje, lo cual disminuye la utilidad final del proyecto.

Luego de este hallazgo y/o lección aprendida, se evidencia que se necesita un proceso de estandarización de este subproceso y de esta forma disminuir costos de operación debido a que con datos iniciales y un proceso estandarizado se optimizarán los tiempos de ejecución de la actividad y aumentará la confiabilidad disminuyendo riesgos entre la oferta y la ejecución del proyecto.

9.3 Planteamiento de software

Se realiza propuesta de la optimización de proceso en oferta EPC mediante un software el cual ayude a mejorar el tiempo de ejecución de la ingeniería básica en

la etapa de oferta y complementariamente disminuir la probabilidad de error entre la oferta y el proyecto., en la Tabla 15, se realiza un análisis del costo que tendría la empresa para implementar el software.

Tabla 15. Costo de implementación del software (Autoría Propia - basada en diferentes autores)

Recurso	Unidad	Cantidad	costo unitario	costo total
Especialista	Día	5	COP 233.333	COP 1.166.667
Ingeniero de diseño	Día	30	COP 116.667	COP 3.500.000
Licencias	Unidad	1	NA	NA
Computador	Unidad	1	NA	NA
Capacitación	Día	5	NA	NA
TOTAL				COP 4.666.667

Básicamente los costos de la empresa se resumen a mano de obra, debido a que la propuesta del software es en Microsoft Excel programando macros en la herramienta propia de Excel llamada Visual Basic, por lo tanto, ya se tendría las licencias necesarias, cada empleado tiene computador empresarial por lo cual no se tendría que invertir en estos recursos debido a que ya existen. Se estima el tiempo de treinta (30) días de un ingeniero de diseño y cinco (5) días de un ingeniero especialista en cableado de baja tensión para las respectivas revisiones y entrega final del producto, con la ayuda de las entrevistas se logra identificar que uno de los requerimientos para ingresar como ingeniero de diseño del área de ofertas es el conocimiento de Excel avanzado, específicamente en macros, por lo cual no habría que capacitar al personal.

La propuesta consiste con base a la experiencia del personal que ha venido elaborando esta actividad, organizar ideas y conceptos, plasmarlos en una hoja de

cálculo universal o general, el cual será la base de toda oferta con datos de entrada típicos de las subestaciones para llevar a cabo estos cálculos, como configuración de la subestación, si es centralizada o distribuida, con el fin de identificar si todos los tableros de control y proyección de la subestación estarán ubicados en un mismo edificio o se repartirán en el patio, esto lo define cada cliente, también el número de bahías y equivalencia de distancia entre ellas, número de equipos de patio y tipo de equipo, en la Tabla 16 se puede evidenciar la importancia de identificar qué tipos de equipos hay en la subestación, ya que dependiendo de esto se determinan las señales que debe llevar, la cantidad de cables y de que calibre.

Tabla 16. Número de cables de control y fuerza separado por equipo (Autoría Propia - basada en diferentes autores)

Ítem	Descripción	Cantidades de cable por equipo				
		19 x 1,5 mm ²	8 x 2,5 mm ²	4 x 2,5 mm ²	4 x 4 mm ²	4 x 6 mm ²
1	Interruptores	2	2	2		1
2	Seccionadores	1	2	1		1
3	Seccionadores con PAT	1	2	1		1
4	Cuchillas de tierra	1	2	1		1
5	Cuchillas rápidas	1	2			1
6	Transformadores de corriente				1	1
7	Transformadores de tensión				1	1
8	Transformadores y reactores	2	2		1	1
9	Transformador de servicios auxiliares				2	1
10	Grupo electrógeno					1

Con base al estudio de cables típicos y cantidad de cable por equipo, se puede realizar con la disposición física de cualquier oferta el cálculo de cantidades, estableciendo distancias en metros, por lo tanto, como datos de entrada del software

se tendrían, cantidad de equipos y distancias características desde el equipo hasta el tablero de control y protección, como se puede evidenciar en la siguiente imagen, la disposición física de la subestación del proyecto, se puede observar con colores las rutas para el tendido de cable de control y fuerza.

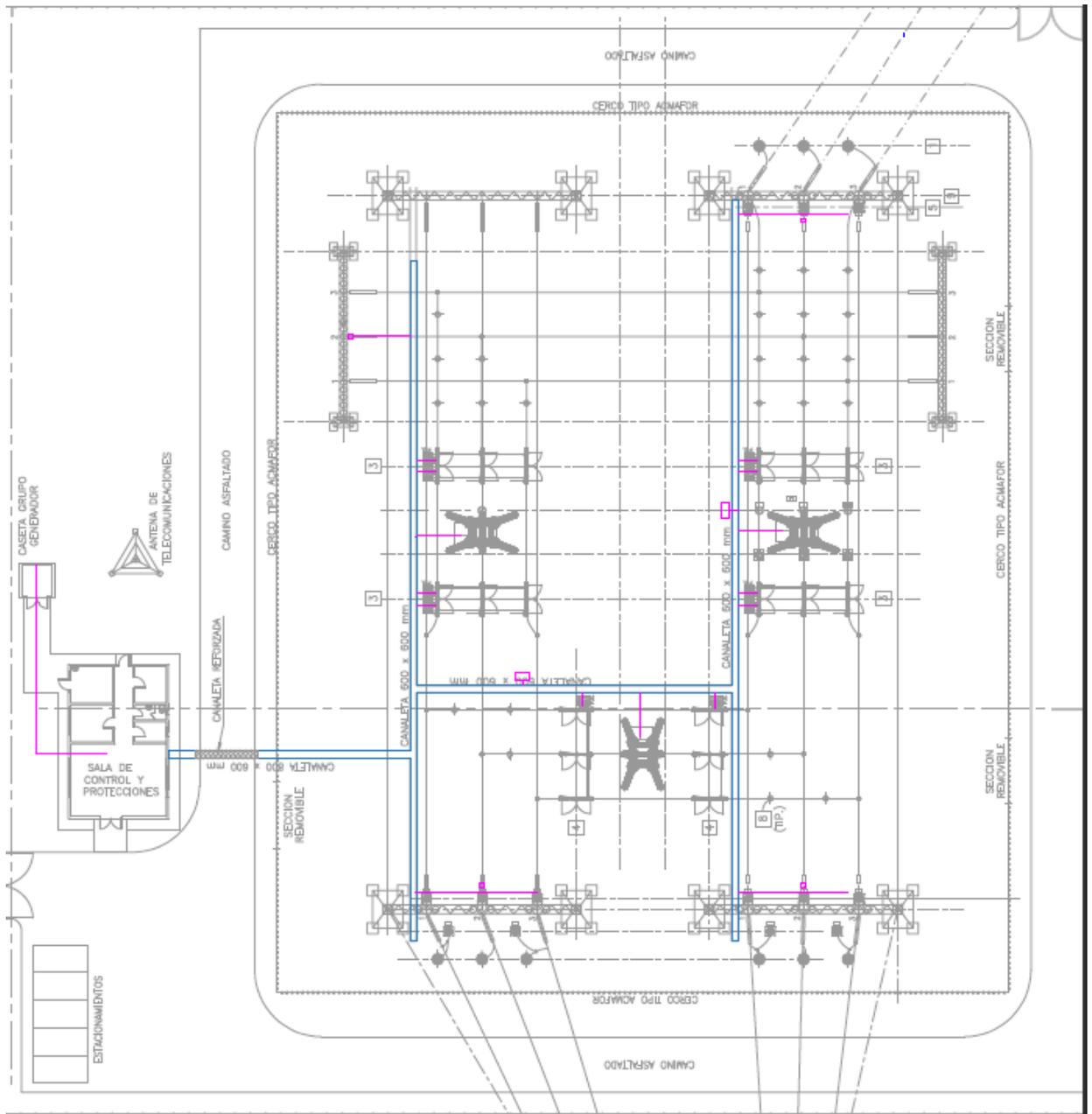


Imagen 7. Disposición física subestación de alta tensión (HMV, n.d.)

10. Conclusiones

Después de realizar una investigación sobre el proceso de la estimación y ejecución del cableado de control y fuerza en una empresa que presta servicios al área de energía se puede concluir lo siguiente

Ante la competencia que se vive en el área de ofertas, costos y presupuestos en empresas con modalidad de contratos EPC, el tiempo y correcto desarrollo de la ingeniería básica se convierten en factores valiosos, para los cuales constantemente se realiza búsqueda de innovación o procesos de optimización.

Es posible disminuir costos de operación optimizando tiempos de ejecución de la actividad mediante el desarrollo de un software con datos de entrada necesario como distancias y cantidad de equipos.

Es posible mejorar el proceso de revisión y/o verificación de las cantidades electromecánicas y de esta forma mejorar la confiabilidad y disminuir riesgos de la oferta EPC mediante el desarrollo del software planteado, incluyendo una página de verificaciones.

Un común denominador entre los entrevistados es que el tiempo asignado para el desarrollo de las ofertas es muy corto, ya que en esta área recaen todas las oportunidades de negocio de la compañía, por lo tanto, simultáneamente el personal debe atender varias ofertas, con la automatización de subprocesos como el del presente trabajo, mejorará el rendimiento del personal.

Las comparaciones realizadas entre el proceso de oferta y proyecto, expone la necesidad mejorar el proceso de estimación de las ofertas en el sub proceso de la

ingeniería básica del cableado de control y fuerza dado que los resultados muestran pérdidas económicas, mostrando con estos hallazgos la viabilidad del proyecto presentado.

Se identifica que el cableado de control y fuerza es uno de los ítems que más diferencia tiene entre lo presupuestado y lo ejecutado, consumiendo así parte de la utilidad del proyecto cuando se presupuesta menos dinero que el costo real del proyecto.

El software planteado únicamente tendría agregado el costo de mano de obra de un (1) ingeniero de diseño por treinta (30) días y un (1) especialista por cinco (5) días, debido a que los otros recursos necesarios ya la empresa cuenta con ellos.

Al momento de implementar oportunidades de mejora, los recursos para la creación del mismo son de vital importancia, por esto las hojas de cálculo son herramientas con múltiples aplicaciones y funciones, diseñadas para operaciones numéricas, con ellas se pueden realizar cálculos matemáticos, análisis de información, entre otros. Con la ayuda de Excel, la cual es una herramienta con la cual la empresa ya cuenta, es posible automatizar por medio de programación e interfaz los distintos subprocesos, por esto sería la herramienta ideal para el desarrollo del software, debido a que no se tienen costos extras como licencias específicas.

Las entrevistas realizadas demuestran la importancia de aprovechar al máximo los recursos con los que se cuenta, con la ayuda del mismo personal que desempeña la actividad y la experiencia de los involucrados, se pueden identificar

procesos que se puedan mejorar y como es el caso del presente proyecto, con poca inversión se puede lograr mejorar un ítem que ya le ha producido pérdidas a la empresa.

11. Referencias

Cable, T., Itc, I., & Pltc, C. (n.d.). *Indice Generalidades*. 4–15.

Cables, C. (n.d.). *Manual Técnico de Cables de Energía Índice*. 11–12.

CDRC SIC Centro de Despacho Económico de Carga Sistema Interconectado Central.

(2016). *Guía Técnica: Criterios de Diseño para las Nuevas Subestaciones en Aire (AIS) del Sistema de Transmisión Nacional del SIC CDEC SIC*. 48.

<https://sic.coordinador.cl/wp-content/uploads/2015/08/Guía-Técnica-Criterio-Diseño-Subestaciones-VA1.pdf>

CENTELSA. (n.d.). *Catálogo de precios*.

CENTELSA. (1844). *Cables Flexibles*. 69.

EDP. (2013). *Especificación Técnica Cables de Fuerza , Medida y Control para Subestaciones y Centros de Reparto Especificación Técnica Cables de Fuerza , Medida y Control para Subestaciones y Centros de*. 1–10.

ELECTROBASTOS. (n.d.). *ELECTROBASTOS*. Retrieved April 11, 2021, from <https://tienda.electroabastos.mx/sfg/index/index/formid/3/>

ENEL. (2004). *Especificación técnica cables aislados de baja tensión para subestaciones*.

ETAP. (n.d.). *Software para Análisis y Operación de Sistemas Eléctricos de Potencia*.

Flyvbjerg, B., & Holm, M. S. (2002). Works Projects. *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 279–295.

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Underestimating+Costs+in+Public+Works+Projects#0>

General Cable. (2012). *Serving industrial, specialty and commercial applications*.

HLC. (n.d.). *¿Qué es un contrato EPC?* <https://www.hlcsac.com/noticias/que-es-un-contrato-epc-2/>

HMV Ingenieros Ltda - Impulsando el. (2018). *Subestaciones*.

HMV, P. S. (n.d.). *Sistema de Información Corporativo*. Retrieved April 11, 2021, from https://apps.hmv.com/2015/PortalSIC/Proyecto/wf_PROY_CNT_FacturasEnProductosIni.aspx?id=423&lang=es-CO&IdContract=2256&idContrato=2256&idUserLevel=0&idProyecto=20738&sippal=1&sisim=0

ICE. (2012). *Procedimiento para tendido de cables de control en una subestación eléctrica*. 6–8.

IEEE Std 525-1978. (1978). *IEEE Guide for Selection and Installation of Control and Low-Voltage Cable Systems in Substations*. 16.

INGENIEROS, H. (n.d.). *Proyectos “ EPC ” de Subestaciones y Líneas de Transmisión*.

INGENIEROS, H. (2006). *Asesoría para la Valoración de los Costos Unitarios de las Unidades Constructivas para la Actividad de Transmisión de Energía Eléctrica en Colombia*.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1998). Código eléctrico colombiano NTC2050. *Código Eléctrico Colombiano*, 847.

Mejía Villegas S.A. (2016). *Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión.*, 2 ed.

PROCABLES. (2020). *LISTA DE PRECIOS N°68*.

Rodríguez, G., Gil, J., & García, E. (1996). Tradición y enfoques en la investigación cualitativa. *Metología de La Investigación Cualitativa*, 23–36.
<http://www.albertomayol.cl/wp-content/uploads/2014/03/Rodriguez-Gil-y-Garcia-Metodologia-Investigacion-Cualitativa-Caps-1-y-2.pdf>

Sarduy Domínguez, Y. (2007). El análisis de información y las investigaciones cuantitativa y cualitativa. *Revista Cubana de Salud Pública*, 33(3), 0–0.
<https://doi.org/10.1590/S0864-34662007000300020>

Torres, A. I. Z. (2011). Rentabilidad y Ventaja Comparativa: Un análisis de los Sistemas de producción de Guayaba en el Estado de Michoacán. *Director*, 1–119.

WIKIPEDIA. (n.d.). *Engineering, procurement, and construction*.
https://en.wikipedia.org/wiki/Engineering,_procurement,_and_construction

Por intermedio del presente documento en mi calidad de autor o titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra que adjunto, titulada “Análisis optimización de procesos en licitaciones EPC de subestaciones de alta tensión mediante el cálculo de calibre y metraje de cables de control y fuerza en equipos de patio”, autorizo a la Corporación universitaria Unitec para que utilice en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador o titular de la obra objeto del presente documento.

La presente autorización se da sin restricción de tiempo, ni territorio y de manera gratuita. Entiendo que puedo solicitar a la Corporación universitaria Unitec retirar mi obra en cualquier momento tanto de los repositorios como del catálogo si así lo decido.

La presente autorización se otorga de manera no exclusiva, y la misma no implica transferencia de mis derechos patrimoniales en favor de la Corporación universitaria Unitec, por lo que podré utilizar y explotar la obra de la manera que mejor considere. La presente autorización no implica la cesión de los derechos morales y la Corporación universitaria Unitec los reconocerá y velará por el respeto a los mismos.

La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato electrónico, y en general para cualquier formato conocido o por conocer. Manifiesto que la obra objeto de la presente autorización es original y la realicé sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es de mi exclusiva autoría o tengo la titularidad sobre la misma. En caso de presentarse cualquier reclamación o por acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión asumiré toda la responsabilidad, y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados para todos los efectos la Corporación universitaria Unitec actúa como un tercero de buena fe. La sesión otorgada se ajusta a lo que establece la ley 23 de 1982.

Para constancia de lo expresado anteriormente firmo, como aparece a continuación.

Firma



Nombre Daniel Gómez Ospina
CC. 1.036.654.316

Por intermedio del presente documento en mi calidad de autor o titular de los derechos de propiedad intelectual de la obra que adjunto, titulada “Análisis optimización de procesos en licitaciones EPC de subestaciones de alta tensión mediante el cálculo de calibre y metraje de cables de control y fuerza en equipos de patio”, autorizo a la Corporación universitaria Unitec para que utilice en todas sus formas, los derechos patrimoniales de reproducción, comunicación pública, transformación y distribución (alquiler, préstamo público e importación) que me corresponden como creador o titular de la obra objeto del presente documento.

La presente autorización se da sin restricción de tiempo, ni territorio y de manera gratuita. Entiendo que puedo solicitar a la Corporación universitaria Unitec retirar mi obra en cualquier momento tanto de los repositorios como del catálogo si así lo decido.

La presente autorización se otorga de manera no exclusiva, y la misma no implica transferencia de mis derechos patrimoniales en favor de la Corporación universitaria Unitec, por lo que podré utilizar y explotar la obra de la manera que mejor considere. La presente autorización no implica la cesión de los derechos morales y la Corporación universitaria Unitec los reconocerá y velará por el respeto a los mismos.

La presente autorización se hace extensiva no sólo a las facultades y derechos de uso sobre la obra en formato o soporte material, sino también para formato electrónico, y en general para cualquier formato conocido o por conocer. Manifiesto que la obra objeto de la presente autorización es original y la realicé sin violar o usurpar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es de mi exclusiva autoría o tengo la titularidad sobre la misma. En caso de presentarse cualquier reclamación o por acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de autor sobre la obra en cuestión asumiré toda la responsabilidad, y saldré en defensa de los derechos aquí autorizados para todos los efectos la Corporación universitaria Unitec actúa como un tercero de buena fe. La sesión otorgada se ajusta a lo que establece la ley 23 de 1982.

Para constancia de lo expresado anteriormente firmo, como aparece a continuación.

Firma



Nombre Andres Felipe Pinillos Monsalve
CC. 1.020.463.009

Página 1