



**Optimización del sistema de tendido de cable de fibra óptica de la empresa Ever
Bustamante telecomunicaciones de la ciudad de Cartagena.**

Jeison David Bustamante Fuertes

Código: 20441528958

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2023

**Optimización del sistema de tendido de cable de fibra óptica de la empresa Ever
Bustamante telecomunicaciones de la ciudad de Cartagena.**

Jeison David Bustamante Fuertes

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Director (a):

Daniel Enrique Yabrudy Mercado, MSc.

Línea de Investigación:

Automatización

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Electrónica

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Cartagena, Colombia

2023

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado

_____.

Cumple con los requisitos para optar

Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Cartagena, 15 de mayo 2023.

Contenido

Pág.

Introducción	12
1. Generalidades	14
1.1 Planteamiento del problema.....	14
1.2 Formulación del problema.....	15
1.3 Justificación.....	16
1.4 Objetivos.....	17
1.4.1 Objetivo General.....	17
1.4.2 Objetivos Específicos.....	17
1.5 Alcance.....	17
2. Marco referencial	19
2.1 Antecedentes.....	19
2.2 Marco teórico.....	20
2.2.1 Aspectos generales de instalación de fibra óptica.....	21
2.2.2. Sistemas de tendido de cable de fibra óptica.....	22
2.2.3. La técnica de tendido manual.....	24
2.2.5. Calculos de potencia para hallar fuerza de motor.....	26
2.2.6. Controladores.....	27
2.2.7. Encoder.....	28
2.2.8 Actuator eléctrico.....	28
2.3 Marco legal.....	30
2.4 Glosario.....	32
3. Diseño metodológico	33
3.1 Enfoque de la investigación.....	33
3.1.1 Instrumentos para la recolección de información.....	33
3.1.2 Fuentes de información.....	33
3.2. Descripción de fases metodológicas del proyecto.....	34

4. Resultados36

4.1. Analisis y diagnostico del proceso anterior de tendido de cable de fibra óptica de la Empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones. 36

4.1.1. Analisis del tendido de cableado manual en estudio.36

4.1.2. Analisis de estado de los elementos y equipos del sistema anterior.37

4.1.3. Analisis de la cantidad de operarios utilizados para la ejecución de cada proyecto. 38

4.2 Propuesta de optimización de tendido de fibra óptica..... 39

4.3 Mejoras de optimización de tendido de cableado de fibra optica. 40

4.3.2 Mejora y optimización de cantidad de operarios utilizados para la ejecución de cada proyecto.50

4.4 Mejoras a implementar en el procedimiento del sistema de tendido, optimizando los tiempos de instalación y costos de cada proyecto. 51

4.4.1 Pruebas y evaluación del funcionamiento del sistema de tendido de fibra óptica con las nuevas mejoras a implementar.54

Conclusiones.....58

Referencias Bibliográficas59

Lista de Figuras

Figura 1: <i>Tendido manual</i>	26
Figura 2. <i>PID - controlador proporcional, integral y derivativo.</i>	27
Figura 3. <i>PLC - Controlador Lógico Programable.</i>	28
Figura 4. <i>PLC – Actuador eléctrico lineal.</i>	30
Figura 5: <i>Tendido de cableado manual – EBT.</i>	37
Figura 6: <i>Traslado e instalación de bobina de cableado de fibra óptica.</i>	42
Figura 7: <i>Drenaje de agua de la canalización exterior, previo al tendido del cable.</i>	43
Figura 8: <i>Motor estacionario de 10Hp y 3600 rpm.</i>	46
Figura 9. <i>Reductor o motorreductor</i>	47
Figura 10. <i>Poleas</i>	47
Figura 11. <i>Guía o sin fin de 20” /50.8 cm, de radio de curvatura.</i>	48
Figura 12. <i>Base flotante para motor acoplado a un motorreductor.</i>	48
Figura 13. <i>Lazo control propuesto como trabajo futuro.</i>	49
Figura 14: <i>Prototipo del sistema de control</i>	50
Figura 15. <i>Operación de nuevo sistema de tendido con motor y motorreductor.</i>	56
Figura 16. <i>Trabajador en arqueta empalmando guía para tracción de cableado.</i>	57

Lista de tablas

Tabla 1: <i>Descripción de elementos y equipos del sistema de tendido de fibra optica en estudio.</i>	38
Tabla 2. <i>Proyección de personal para el halado de cable de un proyecto de 6000 metros.</i>	39
Tabla 3. <i>Comparación de fuerzas máximas de halamiento en trabajadores colombianos masculinos. (Valores en KgF).....</i>	45
Tabla 4. <i>Comparación de fuerzas máximas de halamiento en trabajadores colombianos masculinos. (Valores en KgF).....</i>	45
Tabla 5. <i>Proyección de tiempo en la implementación de mejoras en las actividades de tendido.</i>	51
Tabla 6. <i>Personal estimado para ejecución de tendido de cableado de fibra óptica.</i>	53

(Dedicatoria)

A mis padres, por su esfuerzo y sacrificio para apoyarme durante toda la carrera, a mis hermanos que siempre con cada consejo me orientaban a seguir mi camino, a mis abuelos por sus palabras de aliento que me llenaban de esperanza, a mi esposa que se ha mantenido conmigo aun en momentos difíciles, a mi hija por hacerme creer en mí y hacerme crecer profesionalmente,

Agradecimientos

A mi Dios que todo le debo, por guiarme y acompañarme en este proceso, a mis padres que con cada granito de arena me ayudaron a construir mi futuro, a mis hermanos que muchas veces me prestaron apoyo para culminar este proceso, a mi abuelo José, porque me orientó y con sus sabios consejos logre culminar esta etapa de mi vida, a mi esposa que ha sido pie de apoyo en todos los sentidos para lograr este objetivo, al ingeniero Daniel Yabrudy por brindarme su confianza y todo el apoyo de su parte , a cada profesor con que ha aportado conocimiento durante mi formación como profesional.

Resumen

El presente proyecto tuvo como objetivo optimizar el sistema de tendido de cable de fibra óptica de la empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones (EBT), buscando mejorar la administración del tiempo y fuerza laboral encargada de tender el cableado que se instala a través del sistema de red canalizada y aérea. Este procedimiento se realizaba de forma manual por la empresa EBT, una empresa de servicios de construcción de infraestructura de fibra óptica en la ciudad de Cartagena. EBT venía desarrollando algunas actividades de una forma rudimentaria que requerían de mucho tiempo y personal al momento de la instalación del cableado de fibra óptica.

Con este proyecto se mejoró el proceso de tendido de cableado realizado con un motor de baja capacidad, que no ejercía la fuerza requerida por el sistema de tendido. Para esto se aumentó la capacidad del motor, y además se propuso un sistema de control automático mediante un controlador con un sistema de medición y un actuador, lo que llevará a reducir averías generadas por malos manejos de parte del personal, también al realizar pruebas con el equipo actualizado se evidenció una mayor capacidad productiva en menor tiempo y mejor administración del recurso humano que desempeña las tareas de tendido. Lo anterior optimizó los recursos financieros de la empresa, pues los métodos de tendido usados anteriormente generaban sobrecostos administrativos significativos para la empresa, la cual se encuentra en una etapa de modernización de sus procesos.

Palabras clave: Automatización, control, aplicación de motor, fibra óptica, tendido de cable de fibra óptica.

Abstract

The objective of this project was to optimize the fiber optic cable laying system of the Ever Bustamante Telecomunicaciones (EBT) company, seeking to improve time management and the workforce in charge of laying the cabling that is installed through the channelized network system and aerial. This procedure was carried out manually by the EBT company, a fiber optic infrastructure construction services company in the city of Cartagena. EBT had been developing some activities in a rudimentary way that required a lot of time and personnel at the time of installing the fiber optic cabling.

With this project, the manual cable laying process carried out with a low-capacity motor, which did not exert the force required by the laying system, was improved. For this, the capacity of the motor was increased, and an automatic control system was also proposed by means of a controller and a measurement system and an actuator, which will lead to reducing breakdowns generated by mishandling on the part of the personnel, also when carrying out tests with The updated equipment showed a greater productive capacity in less time and better administration of the human resources that perform the laying tasks. The foregoing optimized the financial resources of the company, since the laying methods used previously generated significant administrative cost overruns for the company, which is in a process modernization stage.

Key words: Automation, control, motor application, fiber optics, fiber optic cable laying.

Introducción

La revolución 4.0, en la que los datos obtienen cada vez más una mayor importancia, ha obligado a los países a actualizar la infraestructura de sus redes de comunicación, buscando optimizar las velocidades de transmisión y recepción de datos [1]. Colombia no es la excepción, y a través de los proveedores de servicios de internet y datos, se han venido actualizando los cableados de red por tecnología de fibra óptica, lo que garantiza una mejor calidad en el servicio prestado y mayor capacidad de navegación, además de reducir las fallas de acceso al servicio [2].

Actualmente existen algunas recomendaciones para el proceso de tendido y mantenimiento del cableado de fibra óptica [3]; sin embargo, algunas empresas contratistas, como Ever Bustamante Telecomunicaciones (EBT) no contaban con procesos actualizados para el tendido de fibra optica.

El proceso de tendido de fibra estaba compuesto por un gran número de tareas, y brindó la oportunidad de realizar propuestas novedosas que permitieron la mejora y optimización de las tareas, mejor empleo del capital humano y una mejor administración de los recursos físicos y financieros.

Ever Bustamante Telecomunicaciones (EBT) es un emprendimiento local de la ciudad de Cartagena, que presta servicios como contratista a varios de los grandes proveedores de internet del país. EBT, debido a los procesos de autoevaluación y mejora continua, se encontraba en una etapa de optimización y modernización de sus procesos, muchos de los cuales se realizaban de manera manual, entre ellos, el proceso de tendido de cable de fibra óptica.

Este trabajo propuso la optimización del proceso de tendido de fibra de la empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones EBT. Inicialmente se realizó el análisis del anterior proceso de tendido de cable de fibra óptica, donde se mejoraron las condiciones económicas, en tiempo y eficiencia para dar respuesta a los requerimientos de los clientes, y posteriormente se mejoró el sistema de tendido de fibra óptica de la empresa EBT, además, teniendo en cuenta las capacidades económicas de la empresa, se realizó la implementación de las mejoras propuestas al sistema de tendido de cable de fibra óptica y por último se realizaron pruebas de funcionamiento del sistema con las mejoras realizadas, donde se evaluó el sistema optimizado versus el sistema anterior.

1. Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

En la empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones EBT en la ciudad de Cartagena, se implementó un sistema de tendido de cableado de fibra óptica conformado por un motor estacionario de combustión interna marca ECOMAX de 1HP@1725RPM para facilitar el proceso de tendido de fibra, debido al gran peso o a las características del cableado.

Dicho sistema, aunque dió resultados, aun no lograba los resultados esperados, pues la empresa continuaba incurriendo en sobrecostos administrativos. En muchos casos se requirió de hasta 15 personas (Incluyendo supervisores y personal logístico) durante 9 días para el tendido de un tramo de fibra de 6km. El valor de un empleado por día es de aproximadamente \$87.000 COP, multiplicado por 15 personas, da un total de \$1.305.00 COP por día. Por lo tanto, para tender 6 km con 15 personas en 9 días, la empresa invierte alrededor de \$11.745.000 COP, sin incluir los costos de vehículo para traslado de equipos, herramientas, imprevistos, refrigeración y bonificación nocturna de los empleados, por lo que el costo puede ascender a un total de \$16.000.000 COP. Por otro lado, según información entregada por la empresa, el motor del sistema que estaban utilizando no tenía la capacidad necesaria, pues en algunos casos la tensión del cable sobrepasó la capacidad del motor, al punto de apagarlo y sobrecargar el sistema. Sumado a lo anterior, el guía sinfin de ese sistema no cumplían con el tamaño adecuado según las especificaciones técnicas de rango de curvatura del cable de fibra. Dado lo anterior, es posible concluir que la forma en que realizaban el proceso de tendido de fibra no era óptima.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo optimizar el sistema de tendido de cable de fibra óptica utilizado en la empresa

Ever Bustamante Telecomunicaciones EBT de la ciudad de Cartagena?

1.3 Justificación

La empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones (EBT), es una empresa contratista que debe cumplir con metas mensuales establecidas por su contratante. En caso de no cumplir dichas metas se generan penalizaciones económicas, pero si se sobrepasan, se generan beneficios económicos. El proceso de tendido de cable de fibra optica estaba siendo ineficiente, debido a que generaba sobrecostos administrativos y el incumplimiento de las metas. Los sobrecostos administrativos eran aproximadamente \$10.000.000 COP, pues con un sistema de tendido óptimo, la tarea al realizar los calculos, se puede ejecutar con un menor numero de personas y en la mitad de tiempo. En ese sentido, la optimización del sistema también permitirá tener más puntos de trabajo, para el cumplimiento de las metas operacionales. Por otro lado, la mala manipulación del cable por parte del personal técnico genera daños que representan atenuaciones en el paso de la señal, ocasionando un proceso de garantía por cambio de cable. Dicho proceso de garantía toma un largo tiempo en resolverse, ya que el suministro del nuevo cableado por parte del proveedor tiene un tiempo de entrega aproximado de 60 días, ocasionando más retrasos en el cumplimiento de las metas y un riesgo de terminación de contrato de parte del contratante.

Todo lo anterior hace del presente proyecto una propuesta valiosa para la empresa EBT, pues con la implementación de este, lograría mejorar muchas de las falencias encontradas en sus procesos de autoevaluación. Además, el presente proyecto es valioso para el estudiante proponente, pues, además de ser parte de la empresa EBT, puede poner en práctica muchos de los conocimientos adquiridos a través de las materias cursadas a lo largo de su carrera.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Optimizar el sistema de tendido de cable de fibra óptica en la empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones de la ciudad de Cartagena.

1.4.2 Objetivos Específicos

1. Analizar el proceso actual de tendido de cable de fibra óptica, desde el punto de vista económico, tiempo y eficiencia para evidenciar las posibles mejoras a realizar.
2. Proponer mejoras al sistema actual de tendido de cable de fibra óptica de la empresa EBT, para optimizar sus procesos de tendido, teniendo en cuenta las capacidades económicas de la empresa.
3. Implementar las mejoras propuestas en el sistema de tendido de fibra de la empresa EBT para optimizar el proceso de tendido de cable de fibra óptica, teniendo en cuenta los tiempos de instalación y costos del proceso.
4. Realizar pruebas de funcionamiento del sistema de tendido cable de fibra óptica con las mejoras realizadas, para evaluar y contrastar el sistema optimizado versus el sistema anterior.

1.5 Alcance

La presente propuesta busca beneficiar primeramente a la empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones, debido a que es la empresa interesada en la realización de la presente propuesta, para mejorar y optimizar su sistema de tendido de cableado de fibra óptica, pues con el

desarrollo e implementación de este, pueden llegar a ser más competitivos ante las compañías encargadas de construir redes de infraestructura de fibra óptica, y alcanzar la satisfacción del cliente a través del servicio prestado. La propuesta también servirá de apoyo en la consulta de materiales de referencia para los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño de la Facultad FIMEB.

2. Marco referencial

2.1 Antecedentes

Como antecedentes del presente proyecto se tomaron como base las siguientes investigaciones, las cuales aportan unos avances importantes sobre la tematica de estudio:

El proyecto de grado presentado a la Universidad de San Carlos de Guatemala, la cual tiene como título “Tecnología e implementación de fibra óptica en la instrumentación de control industrial” (Hernández E., 2018). su objetivo es poder mostrar el uso que actualmente la instrumentación industrial desarrolla a traves del control para monitorear los parámetros o variables con fibra óptica para el sistema. En este sentido este proyecto aporta a la presente propuesta información técnica de las características de la fibra óptica y su funcionamiento como medio de transmisión de información analógica o digital. También, identificar la capacidad de resistencia del material al exponerse a usos mecánicos directos como la tracción, el corte y la compresión.

Sainea (2016) [3], en el proyecto denominado “Propuesta de un manual de procedimientos de instalación y mantenimiento preventivo y correctivo de la red de fibra óptica de la EBSA con canales de 10 Gbps”, tiene como objetivo analizar las características técnicas y mecánicas tanto del cable de fibra óptica, como de los equipos que se deberán usar para la implementación de una red de datos con canales a velocidades de transmisión de 10Gbps para la empresa de energía de Boyacá SA E.S.P. En este concluyen que el uso de la fibra óptica como medio de transmisión, genera menos perdidas a largas distancias frente a las redes de cobre, además de ser más liviana y proporcionar mayores velocidades de transmisión. Esta propuesta aporta al presente proyecto una información valiosa en cuanto a la flexión del cableado de fibra óptica, pues al realizar la

instalación del cableado, la fibra se expone a sufrir daños debido a la fuerza ejercida y la flexibilidad del cable. Por tanto, hay tener en cuenta la capacidad para resistir el cable la fuerza mecánica y la curvatura adecuada para evitar la deformación, con el propósito que no se disminuya la vida útil del cableado.

Díaz y Benavides (2008) [6], desarrollaron un proyecto denominado “automatización de una maquina empacadora TECSE EV220 en la planta Syngenta Cartagena”, el propósito de esta propuesta fue la de actualizar la maquina empacadora TECSE EV220 que tenía fallas continuas durante el proceso de producción, por lo tanto optaron por la automatización de la máquina, mejorando el sistema de control original por dispositivos lógicos programables, sistemas de programación empleando pantalla Touch Screen y sistema de control de llenado para aumentar la productividad. Para alcanzar este objetivo se identificaron las características del problema a través de un experimento o prueba, donde se utilizó un formato OEE (Overall Equipment Effectiveness) que traduce eficiencia global de equipo, lo que permitió detectar esos problemas en cuanto a los sistemas de control. Posteriormente se realizó el análisis e interpretación, para generar los planes de acción que disminuyeron la problemática y dando solución. Lo anterior brinda al presente proyecto un marco metodológico para evaluar la condición actual del sistema de tendido de fibra, análisis y generación de la propuestas de mejora.

2.2 Marco teórico

Reseña histórica de la fibra óptica

En el año 1880, Alexander Graham Bell, hizo el intento de llevar información por medio de un haz de luz, pero su intento falló al percatarse que las ondas de luz sin un medio acorde y

dedicado para transmitir no funcionaba debió a muchos elementos que no permiten la óptima forma de transmitir. Lo anterior, dio paso para identificar la forma adecuada de transmitir las señales de luz a través de una línea que emite una alta confiabilidad que no acepta alteraciones de lo externo.

Sin embargo, alrededor de unos 11 años después, la fibra óptica es una de las tecnologías de información con mayor avance. Principalmente, este novedoso material revolucionó los procesos de las telecomunicaciones y transmisión de haces de luz en todos los sentidos, desde lograr una mayor velocidad en la transmisión hasta disminuir casi totalmente los ruidos e interferencias en los medios de comunicación y en sistemas de control industrial (Hernández, 2018, p.33). Por lo tanto, la fibra óptica es un hilo delgado y blando de vidrio u otra materia prima de aspecto transparente con un alto índice de variación, organización de material dieléctrico (no hay conductividad). Permite concentrar, transmitir y guiar la luz evitando perder tiempo y material. Está formada por dos cilindros concéntricos, un núcleo. Los dos cilindros tienen diferentes series de refracción del cubrimiento los cuales son de 0,2 a 0,3% por debajo del núcleo. De acuerdo a lo establecido por el sistema convencional de cables de cobre, la reducción de la onda o frecuencia es de magnitudes que requieren repetidores cada dos kilómetros para poder transmitir (Hernández, 2018).

2.2.1 Aspectos generales de instalación de fibra óptica

La instalación correcta del cable de fibra óptica se realiza de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante, y algo que no se puede pasar por alto nunca es el radio de curvatura mínima del cable, esta curva según algunos proveedores es de 20 veces aproximadamente el diámetro en la instalación y 10 veces el diámetro en la operación (Hernández, 2018). Teniendo en cuenta las cargas de tracción, presión de los cables, torsión y medidas de longitud. Lo anterior certificara que

el cableado se encuentra bien instalado en los parámetros de tolerancia requeridas. En este orden de ideas, de las condiciones geográficas dependen los métodos de instalación utilizados, el primero es el de tracción o jalado manual, y el segundo es con tracción mecánica o tensión controlada (Hernández, 2018).

El primer método de tracción o jalado manual, el cable pasa por poleas y poder halarlo con facilidad, utilizando el procedimiento siguiente: se instalan las poleas de forma suspendidas o sujetadas al poste por donde pasara la fibra óptica, para su instalación. Las poleas en mención deben cumplir con unas características de curvatura de instalación, y operaciones de acuerdo a lo establecido por el fabricante de cable de fibra óptica, teniendo en cuenta los diámetros mínimos y máximos entre 10",13" hasta 23"; Al inicio y al fin el diámetro debe ser mayor, para que al tensionar el cable este halado sea óptimo para la preservación del radio de curvatura al igual de la forma en los cambios de dirección. En el caso de los puntos medios, las poleas pueden ser de menor diámetro, ya que sirven como apoyo para guiar el tendido del cable sin que esta sufra daños en el proceso de instalación; El material de las poleas se recomienda que tengan protección de goma o caucho para evitar el menor roce cuando el cableado haga su trayecto en ella (Hernández, 2018, p.42).

2.2.2. Sistemas de tendido de cable de fibra óptica.

El proceso de expandir un cable de fibra óptica requiere de dos extremos para ser conectados se conoce como tendido, implementando varios sistemas de halado del cableado según el lugar en donde se ejecutará la actividad.

Por lo tanto, en la actualidad solo se identifican dos tipos de tendidos de cableado: tendidos en interiores y tendido en exteriores.

Tendidos en exteriores: son los de fachadas y aéreos.

Por tanto, el sistema de tendido implica que cumplan las siguientes indicaciones:

Primeramente, se debe tener en cuenta el radio de curvatura del cable a instalar; en segundo lugar, el carrete al ubicarse en el lugar debe estar suspendida sobre gatos o grúa, para girar libremente y no se presenten obstrucciones al desenrollar el cable; tercero, el tendido del cable se realiza en sentido de su figura, para poder contar con un soporte durante su tención; cuarto, los empleados que operan en el tendido que se encuentran ubicadas en el carrete, hay que mirar que el cable no se rebote de ella, para evitar deterioro de éste, y en caso de deterioro reportarlo; quinto, el cable debe quedar correctamente sujeto e inmovilizado a través de un sistema de fijación bien atornillado y sujetos con tirafondos o abrazaderas, sin dañar las características del cableado y ayudando al estiramiento del cable instalado (Hernández, 2018, p.44).

Dentro de los diferentes tipos de tendido se identifica el de canalización exterior: este tipo de tendido de cableado por canalización exterior, se ejecutan extendiendo el cable a través de los ductos que hacen parte de la red de canalización de cableado subterráneo disponible. Es importante tener en cuenta que en cualquier tipo de técnicas de tendido de canalización los ductos sean mandrilados, lo que significa que el ducto a utilizar tenga continuidad y se comprueba su longitud y diámetro a través de un hilo con algo en la punta. En este sentido, esto se debe a que el cable está listo para empalmarlo a la guía a través de un nudo que gira. De la misma manera, el cable utilizado como guía se amarra al otro lado del nudo giratorio, teniendo en cuenta que el nudo no se deslice entre sí (Hernández, 2018, p.45).

Al describir lo anterior, se conocen cuatro tipos diferentes de tendido en canalización:

1. Tendido manual, 2. Tendido mediante cabestrante automático, 3. Tendido mediante “Floating”, 4. Tendido mediante “Blowing”.

2.2.3. La técnica de tendido manual

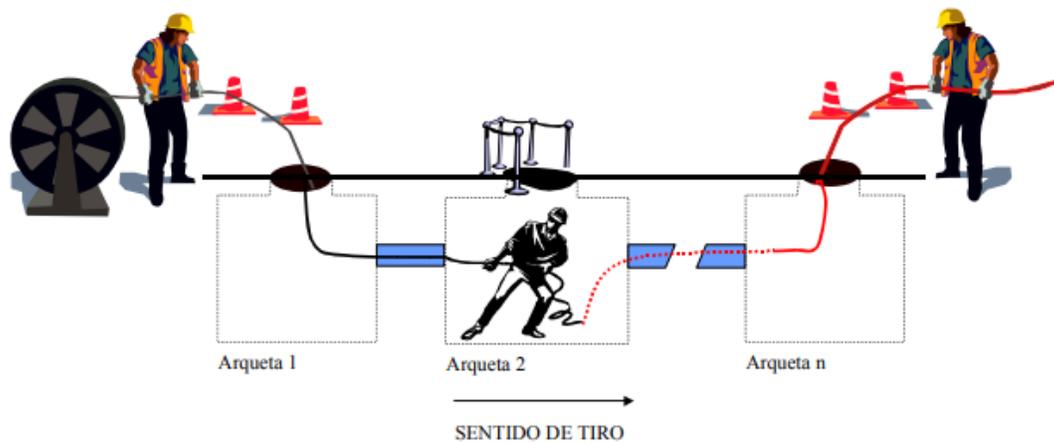
En esta técnica se distribuyen varios trabajadores, cada cierta distancia para que la tensión sea realizada a través de la fuerza manualmente. Por lo tanto, la tracción total del tendido se distribuye de forma independiente por partes de canalización ubicados en cada arqueta de registro, donde el trabajador tiene que hacer tensión para que el peso del cable y el rozamiento y el subconductor de la parte de canalización entre la arqueta anterior y siguiente. En este sentido, Uno de los encargados del tendido del cableado permanece en el lugar donde se ubica el carrete del cable, y tiene como responsabilidad controlar el desarrollo de la operación de tendido, de acuerdo a la información recibida desde cada arqueta donde se encuentra un trabajador. Pero se delega a una persona para que reconozca la ruta de avance del cable en su trayecto por si este presenta problemas durante el tendido (Hernández, 2018, p.45).

Es importante la ubicación de una persona en la punta del cable y otra en el carrete del cableado, los cuales permanecen en contacto durante el proceso de tensión del cable. Por lo tanto, las personas ubicadas en cada arqueta en posiciones intermedias del tramo se pueden comunicar entre si, de viva voz por la cercanía que tiene cada uno. También, se ubican personas en arquetas con cambio de dirección durante el trayecto del cable, mientras otra persona hala en el subconductor de entrada, para que el último continúe insertando el cable hasta el subconductor de salida y prevenir que se formen nudos u otra deformación del cable, por ende estas dos últimos trabajadores controlan el largo del cable almacenado, permitiendo que la presión del tendido en la arqueta y regular la velocidad, para garantizar que no se presente el cierre del lazo y se mantenga el radio de curvatura mínima y la liberación de tensión entre secciones (Hernández, 2018, p.45).

El operario de la primera arqueta intermedia (arqueta 2) tira del hilo guía del subconductor de entrada del cable hasta que éste llegue, momento en que lo comunica a la arqueta donde se inició el tendido (arqueta 1) para que pare la bobina. Al detener el desenrolle del carrete, el trabajador suelta el hilo guía usado en ese extremo y amarra el nudo giratorio al hilo guía situado en el subconductor de salida del cable hacia la arqueta 3, comprobando que la atadura sea resistente. Se comunica a la arqueta 1 que continúe el tendido. Si se presenta el caso de una arqueta con cambio de dirección, el trabajador soltará el hilo guía usado en esa sección y generando anticipadamente un lazo, para un radio de cobertura necesario que permita la facilidad del lugar donde esté ubicada la arqueta, atando atando de la misma forma el nudo giratorio, el hilo guía situado en el subductor de salida hasta la arqueta 3, así como se expuso anteriormente.

Reanudado el trabajo, el operario de la siguiente arqueta (arqueta 3) realiza las mismas operaciones que realizaba el trabajador de la arqueta anterior (arqueta 2). Entre tanto, el trabajador hala del cable simultáneamente a su propio eje sin torcerlo, dejando suficiente largo de plazo, para que el proceso corresponda a lo indicado. Este ritmo para el tendido lo regula la persona que hala del hilo guía, bastante alejado del carrete. Si un trabajador ubicado en el intermedio no lograra sostener el ritmo de tendido establecido, este cable pierde la capacidad almacenada o, o si se trata de una arqueta de cambio de dirección, se reducirá el radio de curvatura del lazo. Anticipadamente a que esta situación se presente, se ordena se detenga el proceso de tendido en la arqueta siguiente, y evitar amontonamiento del cable para continuar con el tendido normalmente.

Figura 1: *Tendido manual*



Fuente: Herrizaingo Sails (2018), Tendido de cable de fibra óptica para la red de telecomunicaciones del departamento de interior.

De acuerdo con lo anterior, para implementar un sistema con motor estacionario y motorreductor, se identificó que para conocer las capacidades del motor y la potencia ejercida por los trabajadores se requiere determinar los cálculos de potencia.

2.2.5. Cálculos de potencia para hallar fuerza de motor

Según Serway, la cantidad de transferencia de energía con el tiempo se llama potencia instantánea P y se define como sigue (Ecuación 1):

$$P \equiv \frac{dE}{dt} \quad (1)$$

Si una fuerza externa se aplica a un objeto (que se representa como partícula) y si el trabajo invertido por esta fuerza en el objeto en el intervalo de tiempo Δt es W , la potencia promedio durante este intervalo es (Ecuación 2):

$$P_{\text{prom}} = \frac{W}{\Delta t} \quad (2)$$

Al igual que la definición de velocidad y aceleración, la potencia instantánea es el valor límite de la potencia promedio a medida que Δt tiende a cero (Ecuación 3):

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{W}{\Delta t} = \frac{dW}{dt} \quad (3)$$

Una unidad de potencia en el sistema acostumbrado estadounidense es el caballo de potencia (hp) (Ecuación 1):

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ W} \quad (4)$$

2.2.6. Controladores.

Un controlador automático, recomendados un PID o PLC (figura 9 y 10) con el fin de controlar las funciones como encendido y apagado del sistema, regulación de velocidad, medición de fuerza de tensión por medio de sensores, entre otras.

Figura 2. PID - controlador proporcional, integral y derivativo.



Nota: es un mecanismo de control que a través de un lazo de retroalimentación permite regular la velocidad, temperatura, presión y flujo entre otras variables de un proceso en general. El controlador PROplus 1/16 DIN (48 x 48) mm 1 x Salida de relé 2 x Unidad de opción Aux OUT 100-240V AC.

Fuente: WiAutomation (2022). productos para la automatización industrial y naval.

Figura 3. PLC - Controlador Lógico Programable.



Nota: Es utilizado como automatizador de los procesos electromecánicos, electroneumáticos e electrohidráulicos y tener un control automático en líneas de montaje de producción - Alimentación 100..240 V AC - 14 I 24 V DC - Relé 10 O.

Fuente: WiAutomation (2022). productos para la automatización industrial y naval.

2.2.7. Encoder

Los controladores de movimiento modernos utilizan comúnmente sensores de retroalimentación de posición, como codificadores incrementales, codificadores sinusoidales o resolvers en combinación con convertidores de resolver a digital (RDC). Estos sensores permiten al servocontrolador determinar la posición del sistema con una precisión específica. En el caso de los codificadores incrementales de dos canales, que se utilizan en la mayoría de las aplicaciones servo, la resolución es cuatro veces el número de líneas del codificador. La interfaz del codificador utiliza una técnica de decodificación de llamada en cuadratura para generar cuatro pulsos por cada línea del codificador, lo que proporciona una mayor precisión en la detección de posición (Ellis, 2012).

2.2.8 Actuator eléctrico

Los actuadores industriales se clasifican según su fuente de energía, entre los cuales se identifican cinco tipos que utilizan diferentes tipos de energía: eléctrica, magnética, neumática, hidráulica y piezoeléctrica. En este sentido, los actuadores eléctricos son especialmente confiables y fáciles de operar debido a su funcionamiento eléctrico, debido a que son ideales para colocar

válvulas en condiciones seguras, ya sea cerrándolas o abriéndolas, e incluso bloqueándolas en una posición en caso de fallas de energía o del sistema. Sin embargo, los actuadores eléctricos no se limitan solo a aplicaciones de apertura y cierre, dado que con las opciones disponibles, es posible cumplir con los requisitos de control completos de las unidades. Por ejemplo, al elegir modelos resistentes a la intemperie o a prueba de llamas, la automatización de procesos se simplifica al permitir un control electrónico completo desde la variable de proceso hasta la válvula; Esto proporciona un sistema totalmente eléctrico adecuado para cualquier entorno (Mueller & Pocock, 2016).

Así mismo, la unidad puede suministrarse con los controles electrónicos necesarios para cumplir con los requisitos del sistema de control de procesos. Cada vez más, los actuadores eléctricos ofrecen una solución superior, especialmente cuando se combinan con interruptores, controladores de velocidad, potenciómetros, transmisores de posición, posicionadores y control local, por lo tanto, estas mejoras proporcionan alta precisión, una larga vida útil, una excelente confiabilidad y un bajo mantenimiento, sin dejar de lado, que se pueden agregar a unidades preconstruidas o proveer en forma de kit. Cuando se suministran como kits, todas las piezas necesarias se incluyen junto con una sencilla hoja de instalación para facilitar el proceso (Mueller & Pocock, 2016).

Figura 4. PLC – Actuator eléctrico lineal.



Nota: Microactuador electrico lineal de 12 voltios de 2” de recorrido 150 Newtons de fuerza.

Fuente: ANÁLISIS DE LOS 15 MEJORES MOTORES LINEALES PEQUEÑOS. (2023)

<https://www.grandesypequenos.com/es/motor-lineal-pequeno>

2.3 Marco legal

Desde la constitución colombiana, se pueden encontrar con normas cuyo propósito fundamental es dar elementos legales al empleado para una mejor calidad de vida durante su labor en las organizaciones, vigilando principalmente su seguridad y salud en su labor; también, para que tenga conocimiento en riesgos laborales para su prevención. Por lo tanto, se han establecido responsabilidades tanto para empleadores como para administradoras de riesgos laborales (ARL). En este sentido, se identificaron las siguientes leyes:

En la resolución 2013 de junio 6 del año 1986, se reglamentó la organización y las funciones de los comités de Medicina, Higiene y Seguridad Industrial en los lugares de trabajo (conformación del Copasst) (Ministerio de Salud y Protección Social, Ministerio del Trabajo, 2022). Seguido de la ley 100 de diciembre 23 del año 1993, para establecer la creación del sistema de seguridad social

integral, donde se crea para 1994 el decreto de ley 1295, donde se determinan las organizaciones encargadas de administrar del Sistema General de Riesgos Profesionales. En este orden de ideas en 1996 el decreto 1530, respalda a los empleados con el establecimiento de la normatividad para accidentes de trabajo y enfermedades profesionales con muerte del empleado.

Sin embargo, para respaldar el tipo de actividad económica de la empresa EBT, el decreto 591 de 1991, regula las modalidades de fomento de actividades científicas y tecnológicas. En su artículo 2, se entiende por actividades científicas y tecnológicas las siguientes: 1. Los proyectos de innovación tecnológica, apropiación, creación, generación y adaptación, en ese orden se incluye la creación y el apoyo a incubadoras de empresas, a parques tecnológicos y a empresas de base tecnológica (Constitución política de Colombia – MinCiencias de 1991).

Por lo anterior, se identifican algunas normas internacionales que permiten respaldar el proceso de instalación de cableado de fibra óptica, tal es el caso de la norma estándar NECA/FOA-301, la cual se refiere a la instalación de redes de cables de fibra óptica. Dentro de las subnormas que la conforman se encuentran segmentadas desde FOA-1 a la FOA-6, las cuales hacen referencias a la comprobación de pérdida en instalaciones y de un solo extremo de la red de cables de fibra óptica (ISO/IEC 14763), la medición de potencia del transmisor y receptor (ISO/IEC 14763), transmisiones de datos por fibra óptica, (la asociación de fibra óptica – [FAO], 2016).

2.4 Glosario

La automatización: es la acción por la que se transfieren o traspasan actividades realizadas por un operario, dentro del proceso productivo, a una máquina, que está gobernada por un equipo que puede ser cableado o electrónico programable.

La automatización en el sistema de tendido de cable de fibra óptica representa el control central de cada una de las variables que actúan al momento del funcionamiento del sistema.

Fibra óptica: La fibra óptica es un medio físico utilizado para transmitir haces de luz que llevan una información a transmitir. Está compuesta por filamentos o tubos delgados de vidrios.

Motor Estacionario: Como su nombre lo indica no es motor de desplazamiento si no un motor de movimiento para maquinas fijas como herramientas de trabajo, motores eléctricos o bombas.

Motorreductor: Es una maquina o equipo capaz de entregar la velocidad de giro y la potencia diferente a la del motor conductor para que funcione a un ritmo determinado. Además de poder reducir la velocidad tiene la capacidad de aumentar la fuerza del motor.

3. Diseño metodológico

3.1 Enfoque de la investigación.

En el presente trabajo se identificó un enfoque de investigación aplicada, dado que se establecen conclusiones generales basándose en hechos recopilados mediante la observación directa, por lo cual se realizó una visita al lugar de ejecución de uno de los proyectos de tendido de cableado y se identificaron las falencias tanto del sistema como de los equipos utilizados.

Para dar inicio a la investigación, se implementó la observación directa para la elaboración del diagnóstico del proceso manual de la maquinaria utilizada, también se realizó una consulta con terceras fuentes, y proceder con la organización y análisis de las condiciones actuales del sistema de tendido de cableado de fibra óptica realizado por la empresa EBT y plasmar la información en el documento actual.

3.1. Instrumentos para la recolección de información.

Para la recolección de la información se utilizó la técnica de observación directa: Donde se hicieron visitas, a los lugares de trabajo donde se encontraba la empresa realizando el procedimiento de tendido de cableado de fibra óptica para identificar el funcionamiento del sistema de tendido y de los equipos.

3.1.2 Fuentes de información.

Primarias: La información se obtuvo a través de la observación directa, durante el desarrollo de la ejecución de un proyecto de tendido de cable de fibra óptica.

Secundarias: En las fuentes secundarias se estudiaron proyectos de investigación de sistemas y tipos de tendido de fibra óptica, automatización de motores estáticos, los datos obtenidos

fueron extraídos de recursos y artículos electrónicos de la institución; y la consulta del repositorio de trabajos de grados, e investigaciones a nivel internacional, nacional y local.

3.2. Descripción de fases metodológicas del proyecto.

Fase 1: En esta fase se analizó y diagnosticó el proceso actual de tendido de cable de fibra óptica, identificando el número de horas dedicadas en cada tarea, la cantidad de colaboradores que ejecutaban la actividad, el rendimiento de los equipos utilizados, y los materiales e insumos requeridos para el proceso de tendido, todos estos aspectos tanto en lo económico y de optimización del tiempo. En cuanto a la eficiencia del servicio, se analizaron los indicadores del proceso anterior, para que sirviera de referencia para la posterior comparación con el sistema con mejoras implementadas. Además, se investigó la existencia de otros tipos de sistema de tendido de cableado, y su aplicabilidad a la fibra óptica. Con todo lo anterior, se identificaron las posibles mejoras que pudieron ser realizadas al sistema.

Fase 2: Luego de identificadas las falencias del sistema y posibles mejoras en la fase anterior, se revisaron las capacidades económicas de la empresa, para, contextualizado en la realidad de esta, proponer mejoras para el sistema de tendido de fibra óptica. En esta fase los cálculos económicos de las mejoras se hacen teniendo en cuenta los costos de materiales e insumos.

Fase 3: En esta fase se revisaron los tiempos que tomó la implementación de las mejoras propuestas, los costos de mano de obra, y los proveedores de servicio, en caso de que el estudiante no tenga la capacidad de implementar algunas mejoras por su cuenta (trabajo técnico que requiera experticia). También se tendrá en cuenta el equipo técnico y de mantenimiento de la empresa EBT, pues la empresa ha puesto a disposición del estudiante los recursos de mano de obra propia (trabajadores de EBT) que pueda requerir para la implementación.

Fase 4: En esta última fase se realizaron pruebas en vacío del sistema y pruebas en campo. Se programó, junto con EBT, el tendido de un tramo de cableado, para medir los tiempos, recurso humano empleado, costos e insumos requeridos. Con la información recolectada, se realizará una evaluación del sistema con las mejoras implementadas, y una comparación con el sistema actual, para evidenciar los cambios y beneficios obtenidos con la ejecución del proyecto

4. Resultados

4.1. Analisis y diagnostico del proceso anterior de tendido de cable de fibra óptica de la Empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones.

De acuerdo a la información obtenida del proceso de tendido de cable de fibra optica realizado en la actualidad por la empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones - EBT, al observar se identificaron los siguientes aspectos a mejorar:

4.1.1. Analisis del tendido de cableado manual en estudio.

Antes de la realización del tendido de cable de fibra óptica se socializa con el equipo de operarios el cuidado requerido para manipular el cableado de fibra óptica; seguidamente se realiza el encerramiento y señalización del área de trabajo de acuerdo a lo establecido por las autoridades competentes; posteriormente se procede a abrir las cámaras de registros telefónicos a intervenir para la comprobación de la presencia de gases tóxicos y se colocan elementos de protección contra caídas y accesos a la misma.

Luego, se ubica la bobina o carrete para desenrollar con una fuerza de una persona la mayor cantidad de metros posibles de cable del carrete y que este quede ubicado en posición, donde se requiere una mayor fuerza de tensión sobre el cable con el apoyo de nueve personas, con el proposito de instalarlo a traves de la red de canalización exterior para el caso del tendido subterráneo, y para el caso del tendido de cableado aéreo.

Lo anterior implicaba que el tiempo de instalación del cableado se realizaba muy lento, generando retraso en los tiempos de entrega, además se requiere de un número de obreros que genera un alto costo administrativo en la contratación de personal extra para esta actividad. A

continuación en la siguiente imagen 1, se puede evidenciar el proceso anterior de tendido de cable de 6000 metros, a través de la red de canalización exterior.

Figura 5: *Tendido de cableado manual – EBT.*



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Analisis de estado de los elementos y equipos del sistema anterior.

El sistema estaba conformado por: Un motor estacionario de 1 hp de 1725 rpm, que no ejercía la fuerza requerida por el sistema cuando se trata de tender más de 500 metros de cable, que reposa en una guía sin fin que no respeta el rango de curvatura de los cables de fibra óptica generando daños sobre este, tampoco contaba con un reductor que permitiera disminuir la velocidad, hasta una mas segura para los trabajadores.

El sistema no era optimo y se observaban daños en algunos tramos del cableado tendido, ya que el motor no tenía la capacidad necesaria para el sistema de tendido de cable de fibra óptica, o en el caso de tendido aéreo los árboles se convierten en obstáculos para el paso del cable generando una mayor demanda del motor y apagado del mismo. A continuación en la imagen 2, se evidencia el estado del motor anterior.

A continuación, se describen los equipos, motores y elementos que se encuentran en estudio, para aplicar las mejoras.

Tabla 1: Descripción de elementos y equipos del sistema de tendido de fibra óptica en estudio.

ITEMS	NOMBRES	DESCRIPCIÓN
1	Motor estacionario	Motor es de 1hp de 1725rpm, móvil que se desplaza de un lugar a otro dependiendo de las características del lugar de trabajo. El cual se encontraba en deterioro, excediendo el consumo de combustible, generando sobre costos y no cumplía con la fuerza adecuada para el tendido de más de 6 mil metros de cable, debido a que su capacidad máxima de fuerza solo servía para tender alrededor de 500 metros.
2	Guía sin fin	La guía sin fin utilizada tenía un radio mínimo de curvatura de 14" /35.56cm. la cual no repetaba el rango de curvatura de un cable de fibra óptica, causando roturas en la línea de cableado, ya que este debía ser de mínimo de 20" /50.8 cm.

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Análisis de la cantidad de operarios utilizados para la ejecución de cada proyecto.

La empresa empleaba alrededor de quince personas por proyectos que superen la cantidad de tendido de 6000 metros de cableado, distribuidos de la siguiente forma: 2 operarios en el carrete o bobina como guía, para evitar malformaciones al desenrollarse la fibra, 9 personas para ejercer la tensión requerida, 2 personas en el extremo final del cable con el propósito de ubicar estratégicamente el cable para ser instalado, y 2 supervisores que coordinan el tendido de inicio a fin. Lo anterior, conlleva aumentar los costos administrativos que en este caso en particular representan una inversión de COP \$16.884.00 COP, tomando un tiempo de ejecución de hasta 15 días, debido a estos costos elevados los proyectos pueden llegar a ser pocos rentables desde el punto de vista de utilidad para la empresa.

Tabla 2. Proyección de personal para el halado de cable de un proyecto de 6000 metros.

TALENTO HUMANO UTILIZADO PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES DEL TENDIDO DE 6000 METROS DE CABLEADO DE FIBRA OPTICA			
Actividades	Tiempo de ejecución actual	Cantidad de Talento Humano actual	Valor día del empleado
Alistamiento de EPP, herramientas y vehículo	20 minutos promedio	Empleado 1	\$ 125.067
Traslado de personal, herramientas y maquinarias al sitio de trabajo	30 minutos promedio	Empleado 2	
Traslado de carrete (Bobina de cableado) de cable de fibra óptica	45 minutos promedio	Empleado 3 Empleado 4	\$ 125.067
Cerramiento y señalización de áreas de trabajo	10 minutos	Empleado 1 Empleado 2	
Ubicación de carrete (Bobina de cableado) de cable de fibra óptica	25 minutos	Empleado 3 Empleado 4	\$ 125.067
Ubicación y apertura de cámaras y registros telefónicos a intervenir	30 minutos promedio	Empleado 5 Empleado 6	
Ubicación de maquinaria (motor estacionario).	15 minutos promedio	Empleado 1 Empleado 2	\$ 62.533
Desenrollado de cable del carrete o bobina	20 minutos promedio, cada 200 metros de cable.	Empleado 7	
Ubicación del personal en carrete, en aperturas de cámara y para el control del cable tensionado.	1 horas en promedio	Empleado 5 Empleado 6	\$ 125.067
Tensionado de cable con motor	2 horas en promedio	Empleado 3 Empleado 4	
Instalación de cableado en canalización o aéreo.	2 horas en promedio	Empleado 8 Empleado 9	\$ 16.884.000
Total horas x día de trabajo para instalación de 800 metros de cableado.	8,25		
Total empleados a laborar por día		9 empleados	
Total costo de nómina al día			\$ 562.800
Total costo de nómina al mes			\$ 16.884.000

Fuente: Elaboración propia

4.2 Propuesta de optimización de tendido de fibra óptica.

Después del análisis y diagnóstico del sistema anterior de tendido de cable de fibra óptica, se determinaron los aspectos a mejorar del sistema y proceso de tendido de cableado de fibra óptica, donde se optimizará la eficiencia en el proceso de tendido manual, como también el estado

de los elementos y equipos utilizados en el proceso y por ultimo la correcta asignación de operarios que requiera la ejecución de cada proyecto. En este orden de ideas, se revisaron los referentes teoricos encontrados y descritos en el marco referencial, opteniendo como alternativas de mejora las siguientes propuestas:

4.3 Mejoras de optimización de tendido de cableado de fibra optica.

La optimización del proceso de tendido de fibra óptica realizado por la empresa EBT requiere la implementación de mejoras a través de un sistema compuesto por un motor y un motorreductor. Este sistema debe ser capaz de proporcionar la velocidad de rotación y la potencia necesarias para un funcionamiento adecuado. Además, se necesita un mecanismo automatizado para lograr un mayor control y reducir las fallas causadas por una manipulación incorrecta del cableado.

Para lograr una mejora significativa en este proceso, la empresa EBT ha decidido implementar un sistema automatizado basado en un motor y un motorreductor. Este sistema se encargará de proporcionar la velocidad de giro necesaria para el tendido de la fibra óptica, así como la potencia requerida para superar los posibles obstáculos y mantener la tensión adecuada durante el proceso de instalación.

La automatización del proceso de tendido de fibra óptica permitirá un mayor control sobre el sistema, lo que reducirá la probabilidad de errores humanos y manipulaciones incorrectas. El sistema automatizado garantizará una velocidad de rotación constante y precisa, evitando así daños en el cableado y optimizando la eficiencia del proceso.

Además, al contar con un sistema automatizado, se podrán implementar medidas de seguridad adicionales, como sensores que detecten posibles obstáculos o tensiones excesivas en el cableado.

Esto permitirá una detección temprana de problemas y su corrección inmediata, evitando averías costosas y retrasos en el proyecto..

Es importante tener en cuenta que, para que el cable de fibra óptica sea instalado, debe ser de acuerdo a las condiciones técnicas establecidas por el fabricante, teniendo en cuenta el radio de curvatura mínimo del cable (20 veces el diámetro durante la instalación y 10 veces el diámetro en la operación), cargas límites de tracción, torsión, compresión o el aplastamiento de los cables, incluidos sus márgenes y parámetros de longitud de vano estandarizado por el span de cada cable, según sean las condiciones del terreno, lo cual garantizara que el cable se haya instalado dentro de los rangos de tolerancia mínima (AMITEL, 2011).

Pero para que lo antes expuesto pueda dar los resultados esperados es necesario la implementación de la siguiente metodología, para garantizar el rendimiento en la operación del proceso:

- ✓ Inicialmente, antes de tener confirmado el contrato de instalación del servicio en cualquier proyecto, se identifican el lugar de trabajo, el punto de instalación y las condiciones del punto de instalación, para tener claridad de los costos administrativos, logísticos y el personal requerido que necesita el proyecto y así poder generar una cotización al cliente, para que sea conveniente para el y para la empresa EBT.

- ✓ Al contar con la autorización del cliente, se procede a la asignación del personal, la materia prima a utilizar, el procedimiento logístico preparado con los equipos y herramientas requeridas para la ejecución del trabajo. Es importante tener a la mano un check list de todo lo que se necesita para la operación de instalación teniendo en cuenta -Personal, herramientas, insumos, equipos y maquinas – lo necesario para disminuir retrasos en la instalación del servicio.

✓ En el lugar de trabajo es importante tener claridad cual es el area de circulación para la operación del personal, por lo tanto es importan si la instalación es subterránea, delimitar el area de trabajo señalizando con cinta de seguridad o conos si se trata de una vía.

✓ Prueba de gases y aseguramiento de arquetas al momento de abrirlas. lo anterior se debe realizar antes acceder a ellas para prevenir posibles riesgos laborales al momento de entrar en ellas.

✓ Para realizar una instalación o tendido de cableado por canalización exterior, es importante limpiar y achicar la arqueta en caso de que sea necesario.

✓ Previo al tendido del cableado, se debe trasladar el carrete de cable al lugar de de ejecución del trabajo y realizar el acondicionamiento del carrete para desenrollar el cable quede en la posición de tendido e instalación. Tambien es necesario realizar señalización y demarcación del lugar de trabajo.

Figura 6: *Traslado e instalación de bobina de cableado de fibra óptica.*



Fuente: Empresa EBT (2022)

✓ En el caso del sistema de canalización exterior, es posible encontrar el canal inundado, lo que requiere que se drene el agua que este contiene a través de una motobomba (figura 3).

Figura 7: *Drenaje de agua de la canalización exterior, previo al tendido del cable.*



Fuente: Empresa EBT (2022)

✓ Con anterioridad al tendido es necesario la lubricación del cableado de fibra, para disminuir el rozamiento entre el cable y el conducto, pero el lubricante debe cumplir con una serie de características que no permitan dañar el cableado.

El lubricante se empleará únicamente en las zonas de tensión del cable y antes de las curvas, por lo tanto la cantidad de lubricante requerida para tender 6km de cable de fibra optica es de aproximadamente 1Litro de vaselina industrial.

Para el tendido de cable se prepara el cableado a lo largo de la zona donde se va a tender, pero esto depende del lugar y sus condiciones donde se va a realizar el proceso, por lo tanto es importante tener en cuenta los siguientes metodos: el tendidos en exteriores y el tendido en interior. Pero para este caso en especial será implementado el metodo o sistema de tendidos en exteriores, expecificacmente el tendido en canalización exterior.

✓ El tendido que a continuación se describe permitirá pasar del tendido manual, a un tendido con mayor control automatico: Tendido mediante un motor con motoreductor y control automático.

✓ El tendido mediante un motor con motoreductor y control automático, para que la tensión sea controlada de forma automática, el motor con motoreductor se ubica en la salida de la arqueta, ya que por este extremo se hará tensión del cable de fibra óptica.

Es importante saber que para traer el cable al motor con motoreductor se controla de manera automática desde la entrada hacia la salida de cada arqueta, se hace de forma manual.

✓ Para la instalación de las poleas, es necesario identificar que estas cumplan con el tamaño correcto, para no generar radios de curvatura por debajo de las que el cableado necesita para ser manipulado, sin dejar de lado la lubricación del alimentador del cable y donde se requiera, sobre todo en los puntos intermedios del tendido.

✓ Antes de iniciar con la tensión del cable por parte del motor con motoreductor y control automático, es importante tener en cuenta la distancia entre la arqueta de salida y este, para que el cable no alcance el tambor que recoge del cable de tiro (Herrizaingo, 2018).

✓ La punta del cable se amarra al cable de tiro y este se sujeta a la eslinga para lubricar por medio del nudo giratorio, estos llevan rodillos evitando la rotación del cable en el suelo.

✓ Empalmar el elemento para lubricar ingreso del cable al hasta el otro extremo, añadiendo lubricación cubriéndolo completamente. A medida que avanza el cable, un operario regula la cantidad de lubricante.

✓ Después del tendido del cableado, se debe hacer limpieza del área de trabajo, y recogiendo los recortes de cable que tengan una longitud mayor a 300 mts. Se procede a rebobinar y su posterior transporte, almacenamiento e instalación.

4.3.1 Mejoras y optimización de elementos y equipos del sistema de tendido.

Debido a que el motor anterior, no cumplía con las especificaciones técnicas adecuadas, se reemplazó por un sistema conformado por motor de 10Hp y 3600 rpm, se seleccionó este motor

por la facilidad de pago, y convenio establecidos con los proveedores de EBT, y un motorreductor con una relacion de 40:1 , el cual se escogio debido a la velocidad del motor, ya que no era cómodo ni seguro trabajar con 3600RPM para los trabajadores. Por último se decidió acoplar un accesorio que ayudara a cumplir con el rango de curvatura recomendadas para la fibra. (figura 4), para seleccionar el motor se tuvieron en cuenta los siguientes datos descritos en la tabla 2 y 3.

Tabla 3. Comparación de fuerzas máximas de halamiento en trabajadores colombianos masculinos. (Valores en KgF)

	Percentiles	Snook y Ciriello	Variación	Estudio presente
CINTURA	90	18	14,85	21,14
	75	21	23,25	27,36
	50	26	22,69	33,63
	25	30	26,81	40,99
	10	33	34,74	50,57
	Promedio	25,6	26,31	34,738
NUDILLOS	90	20	4,21	20,88
	75	24	-0,25	23,94
	50	29	3,20	29,96
	25	34	12,12	38,69
	10	38	28,69	53,29
	Promedio	29	13,05	33,35

Fuente: Barbosa y Delgado (2004).

Tabla 4. Comparación de fuerzas máximas de halamiento en trabajadores colombianos masculinos. (Valores en KgF)

	Percentiles	Snook y Ciriello	Variación	Estudio presente
CINTURA	90	15	39,54	24,81
	75	19	34,21	28,88
	50	23	29,40	32,58
	25	26	35,02	40,01
	10	30	27,18	41,2
	Promedio	22,6	32,53	33,50
NUDILLOS	90	18	9,77	19,95
	75	21	-1,89	20,61
	50	25	13,91	29,04
	25	30	33,16	44,88
	10	33	50,15	66,20
	Promedio	25,4	29,71	36,14

Fuente: Barbosa y Delgado (2004).

De acuerdo a los datos anteriores, siempre se utiliza el valor del percentil 50 que es el rango medio. Además se toma el valor en la cintura porque el halamiento se hace con la fibra posicionada desde la cintura hacia los hombros, dependiendo de la altura del trabajador, el valor del percentil

50 en trabajadores Colombianos analizados por Barbosa y Delgado es de 33.63KgF, es decir 329.57N, al conocer que $W=F*d$, donde W es el trabajo, F es la fuerza y d la distancia. En un laboratorio realizado en campo se marco un punto de referencia en un tramo del cable, y se tomaron varias muestras en un trayecto de 100 metros de distancia para calcular el tiempo que requiere una persona para halar una cantidad de cable en determinado tiempo, donde a una persona le tomo 36 segundos halar 40 metros de cable de fibra optica. En este sentido, la potencia generada por un trabajador es de 366.19 W. Por tanto al hacer los calculos con 9 trabajadores la potencia es de 3295.74W, es decir unos 4.4hp.

para conformar el sistema se debe comunicar el motor y el motoreductor por medio 2 poleas conectadas por una correa (figura 6) que a su vez se empelan como reductor de velocidad, una guía (figura 7) donde enrollar el cable de forma de que se arme un sinfín a la salida del reductor y que esta respete el rango de curvatura del cable de fibra optica.

Figura 8: Motor estacionario de 10Hp y 3600 rpm.



Nota: La función es ejercer la energía requerida por el sistema para luego ser convertida en fuerza.
Fuente: Empresa EBT (2022).

Figura 9. *Reductor o motorreductor*



Nota: La función en el sistema es reducir la velocidad generada por el motor
Fuente: Empresa EBT (2022).

Figura 10. *Poleas*



Nota: La función es interconectar por medio de una correa con el motor y con el medio donde se hace la transmisión de energía
Fuente: Empresa EBT (2022).

Figura 11. Guía o sin fin de 20" /50.8 cm, de radio de curvatura.

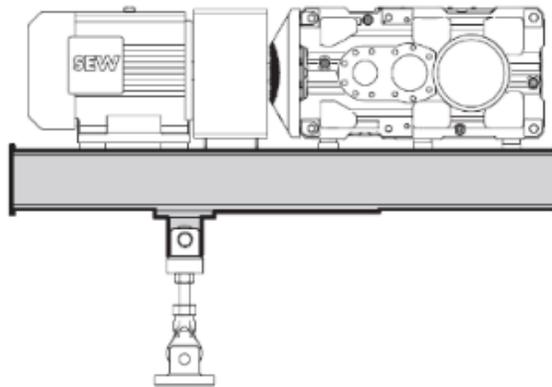


Nota: La función es servir de guía donde reposa el cableado y toma un sentido donde convierte el sistema en un sin fin donde el cable llega y no se acumula si no pasa de largo.

Fuente: Empresa EBT (2022).

También, se construyó una base (figura 8) donde se ubicó el sistema del motor y motoreductor, para no generar movimientos fuertes durante el funcionamiento,

Figura 12. Base flotante para motor acoplado a un motoreductor.



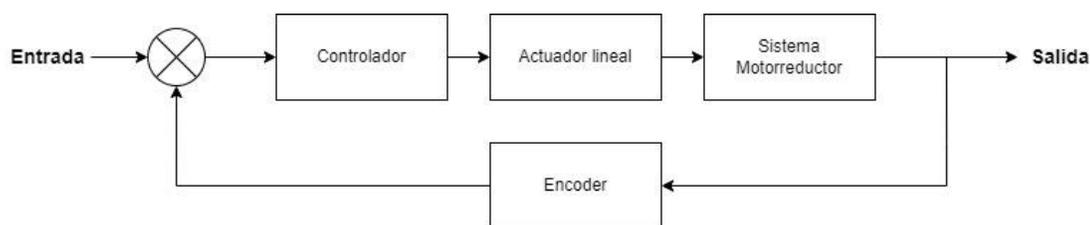
Nota: Sistema con base flotante para un sistema conformado por un motor acoplado a un motoreductor, a: con reductor de ejes paralelos (Wolf 2000: 2), b: con reductor de ejes ortogonales (SEW: 2014: 114).

Fuente: Lengua (2016). Estudio de poleas motrices de sección T para fajas transportadoras clasificadas entre 800 y 2500 PIW.

4.2.2.1 Propuesta para sistema de control

Debido a las condiciones económicas que tiene la empresa EBT, no fue posible continuar realizando mejoras al sistema de tendido. Con el sistema optimizado se logró un sistema de control de lazo abierto, debido a que se tiene la opción de ajustar la velocidad del motor de manera manual, pero no se tiene retroalimentación de esa velocidad. Como trabajo futuro se propone implementar un sistema de control de lazo cerrado, que permita contabilizar la cantidad de cable de fibra óptica mediante las revoluciones por minuto del eje de la guía sin fin donde se ubica el cable, sabiendo que por cada vuelta del acople hay 40 cm de cable (distancia medida en campo), además de conocer la velocidad de rotación a la salida del sistema. Para se sugiere el uso de un encoder, que contabilice el movimiento del eje en la salida del motorreductor, y genere una señal que sea recibida por un controlador que permita, por un lado, conocer la cantidad de cable tendida, y por otro, acelerar o desacelerar el motor en caso de ser necesario. La aceleración/desaceleración se llevaría a cabo por un actuador eléctrico lineal acoplado al acelerador del motor, que reciba una señal de control proporcional al movimiento del controlador del sistema. El controlador puede ser un equipo integrado HMI+PLC que permita la visualización de las variables, o una plataforma de desarrollo tal como las placas Arduino, Raspberry Pi, etc. Sin embargo, esto queda sujeto a la decisión de quien realice el trabajo futuro.

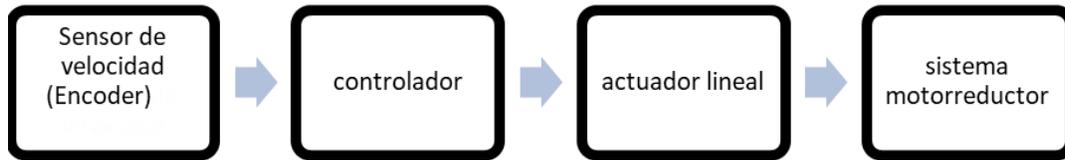
Figura 13. *Lazo control propuesto como trabajo futuro.*



Nota: Sistema de control de lazo cerrado propuesto, compuesto por un controlador, un actuador lineal, un encoder y el sistema motorreductor.

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14: *Prototipo del sistema de control*



Fuente: Elaboración propia.

Componentes necesarios:

Motor estacionario: Motor que se va a controlar

Sensor de velocidad: para medir la velocidad actual del motor.

Actuador: para ajustar la velocidad de entrada del motor

Controlador: para tomar decisiones basadas en la información del sensor y enviar señales al actuador.

Pasos para implementar el sistema de control automático:

1. Conectar el sensor de velocidad al motor para medir la velocidad actual.
2. Conectar el actuador al sistema de variación de velocidad
3. Configuración del controlador: Tomar decisiones basadas en la información recibida del sensor.

4.3.2 Mejora y optimización de cantidad de operarios utilizados para la ejecución de cada proyecto.

Al momento de ser implementado el sistema se podrá utilizar en varios proyectos a la vez, con la misma cantidad de personas con que se trabajaba un solo proyecto, debido a que en el momento que se ocupan alrededor de 6 personas para implementar el sistema y halar la mayor cantidad de cable posible y se apaga durante la instalacion lo cual toma horas, y ahí es donde se puede emplear este sistema en otros en otros proyectos de la misma capacidad, asi como tambien los operarios que dejan de apoyar cuando se emplea el sistema.

4.4 Mejoras a implementar en el procedimiento del sistema de tendido, optimizando los tiempos de instalación y costos de cada proyecto.

En el presente capítulo se describen como se ejecutarán las mejoras de acuerdo a los resultados de tiempo del tendido de cableado de fibra óptica al implementarlas, y la descripción de los costos administrativos optimizados, buscando mejorar la planificación del recurso humano utilizado en cada proyecto, para establecer una comparación del antiguo proceso y las nuevas propuestas de optimización del sistema de tendido.

A continuación, se describe un comparativo proyectado del tiempo que actualmente se invierte por día, contra el tiempo ajustado con mejoras del sistema (Ver tabla 5).

Tabla 5. Proyección de tiempo en la implementación de mejoras en las actividades de tendido.

TIEMPOS ESTIMADOS DE EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES DEL TENDIDO DE 6000 METROS DE CABLEADO DE F.O.			
Actividades	Tiempo de ejecución actual	Tiempo de propuesta mejorada	Mejora de propuesta
Alistamiento de EPP, herramientas y vehículo	20 minutos promedio	10 minutos promedio	Reducción de tiempo, al dejar organizado el camión el día anterior de terminada la primera Jornada.
Traslado de personal, herramientas y maquinarias al sitio de trabajo	30 minutos promedio	30 minutos promedio	Se mantiene el tiempo, debido a trancones imprevistos.
Traslado de carrete (Bobina de cableado) de cable de fibra óptica	45 minutos promedio	30 minutos promedio	Reducción del tiempo
Cerramiento y señalización de áreas de trabajo	10 minutos	5 minutos	Reducción del tiempo, por Identificación del área a señalar desde el día de inspección del lugar de trabajo, de acuerdo a lo establecido en la propuesta de mejora.
Ubicación de carrete (Bobina de cableado) de cable de fibra óptica	25 minutos	15 minutos	Reducción del tiempo, para Identificación del área de ubicación del carrete desde el día de inspección del lugar de trabajo, de acuerdo a lo establecido en la propuesta de mejora.
Ubicación y apertura de cámaras y registros telefónicos a intervenir	30 minutos promedio	20 minutos promedio	Reducción del tiempo

TIEMPOS ESTIMADOS DE EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES DEL TENDIDO DE 6000 METROS DE CABLEADO DE F.O.			
Actividades	Tiempo de ejecución actual	Tiempo de propuesta mejorada	Mejora de propuesta
Ubicación de maquinaria (motor estacionario).	15 minutos promedio	10 minutos promedio	Reducción del tiempo
Desenrollado de cable del carrete o bobina	20 minutos promedio, cada 200 metros de cable.	15 minutos promedio, cada 300 metros de cable.	Reducción del tiempo
Ubicación del personal en carrete, en aperturas de cámara y para el control del cable tensionado.	1 horas en promedio	40 horas en promedio	Reducción del tiempo, porque se realiza con menos personal, gracias
Tensionado de cable con motor	2 horas en promedio	1. 30 horas en promedio	Reducción del tiempo, por utilización de motor y motorreductor, con controlador de velocidades automático.
Instalación de cableado en canalización o aéreo.	2 horas en promedio	1. 30 horas en promedio	Reducción del tiempo, por utilización de motor y motorreductor, con controlador de velocidades automático.
Total horas x día de trabajo para instalación de 800 metros de cableado.	8,25 Horas		
Total, horas x día de trabajo para instalación de 1000 metros de cableado. Si se trabajan 8,30horas, se incrementa a 1200 metros x día.		5,92 Horas	
Total, tiempo en días para instalación de 6000 metros de cableado. Si se trabajan 8,30horas en el tiempo mejorado, se incrementa a 1200 metros x día, con un promedio de 5 días los 6000 metros	7,5 Días	6 Días	

Nota: esta proyección se realizó de acuerdo a la observación de tiempos ejecutados por actividades en el campo de trabajo.

Fuente: Propia.

En la tabla 1, se pueden identificar las diferencias de tiempos en horas y en días, laborados por los empleados con una diferencia de 2.30 horas de diferencias y 1.5 días menos.

En este sentido, se describe y comparan el uso del recurso humano, en el sistema de tendido actual y el nuevo sistema propuesto, para la optimización de los costos administrativos, por tanto al implementar las mejoras se obtuvieron los siguientes resultados (ver tabla 6).

Tabla 6. Personal estimado para ejecución de tendido de cableado de fibra óptica.

TALENTO HUMANO ESTIMADO PARA LA EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES DEL TENDIDO DE 6000 METROS DE CABLEADO DE FIBRA ÓPTICA						
Actividades	Tiempo de ejecución actual	Cantidad de Talento Humano actual	Valor día del empleado	Tiempo de propuesta mejorada	Talento Humano propuesto de mejora	Valor día del empleado
Alistamiento de EPP, herramientas y vehículo	20 minutos promedio	Empleado 1	\$ 125.067	10 minutos promedio	Empleado 1	\$ 62.533
Traslado de personal, herramientas y maquinarias al sitio de trabajo	30 minutos promedio	Empleado 2		30 minutos promedio		
Traslado de carrete (Bobina de cableado) de cable de fibra óptica	45 minutos promedio	Empleado 3 Empleado 4	\$ 125.067	30 minutos promedio	Empleado 2	\$ 125.067
Cerramiento y señalización de áreas de trabajo	10 minutos	Empleado 1 Empleado 2		5 minutos	Empleado 3	
Ubicación de carrete (Bobina de cableado) de cable de fibra óptica	25 minutos	Empleado 3 Empleado 4		15 minutos	Empleado 1 Empleado 2	
Ubicación y apertura de cámaras y registros telefónicos a intervenir	30 minutos promedio	Empleado 5 Empleado 6	\$ 125.067	20 minutos promedio	Empleado 3	\$ 62.533
Ubicación de maquinaria (motor estacionario).	15 minutos promedio	Empleado 1		10 minutos promedio	Empleado 4	
Desenrollado de cable del carrete o bobina	20 minutos promedio, cada 200 metros de cable.	Empleado 7	\$ 62.533	15 minutos promedio, cada 300 metros de cable.	Empleado 4	
Ubicación del personal en carrete, en aperturas de cámara y para el control del cable tensionado.	1 hora en promedio	Empleado 5 Empleado 6		40 horas en promedio	Empleado 1 Empleado 2	
Tensionado de cable con motor	2 horas en promedio	Empleado 3 Empleado 4	\$ 125.067	1.30 horas en promedio	Empleado 2	\$ 62.533
Instalación de cableado en canalización o aéreo.	2 horas en promedio	Empleado 8 Empleado 9		1.30 horas en promedio	Empleado 3 Empleado 5	
Total horas x día de trabajo para instalación de 800 metros de cableado.	8,25			5,92		
Total empleados a laborar por día		9 empleados			5 empleados	
Total costo de nómina al día			\$ 562.800			\$ 312.667
Total costo de nómina al mes			\$ 16.884.000			\$ 9.380.000

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla 2, que describe el personal proyectado para la ejecución de las actividades del proceso de tendido de cableado de fibra óptica, donde se compara el personal utilizado en un proyecto de tendido de 6000 metros con el proceso manual que se venía ejecutando, y los resultados de este ejercicio manual arrojan que por cada 800 metros de tendido de cable de fibra óptica diario, se requieren 9 personas, las cuales laboran 8.25 horas al día con una asignación salarial diaria de COP. \$62.533, para un total diario de COP. \$562.800, multiplicado por 7, 5 días que dura el

proyecto para un total en costos de nomina de COP \$4.221.000 que representan las 9 personas trabajadas durante los días del proyecto, y que al mes representan un total de la nómina de COP. \$16.884.000; lo anterior en comparación con la nueva propuesta mejorada de proyección del personal donde se utilizaran solo 6 personas para la operación de este mismo proyecto y la asignación de 6 horas al día con una asignación diaria igual (COP. \$62.533), al anterior procedimiento manual, pero con la diferencia que en esta propuesta de mejora disminuye el número de personas en la actividades del tendido e instalación de cableado de fibra óptica, debido a la mejora del sistema del tendido a través de un motor de mayor capacidad con moreductor y sistema de control de velocidades optimizando el rendimiento del tendido de cable en menos tiempo y con menos personal, donde las 6 personas al día representan COP \$362.667, para un aproximado de 900 metros en 6 horas y unos 1200 metros diarios en 8 horas, para un total de costos de nomina del proyecto en 6 días de COP.\$1.876.002, y que al mes las 6 personas representan COP. \$9.380.000.

Lo anterior, estaría generando un ahorro representativo en costos administrativos de COP. \$7.504.000, pueden convertirse en recursos que permitan a la empresa tener mayor liquides y solvencia económica, para ejecutar grandes proyectos y ser competitivos en el mercado.

4.4.1 Pruebas y evaluación del funcionamiento del sistema de tendido de fibra óptica con las nuevas mejoras a implementar.

En el presente capítulo se describe como funcionó el sistema de tendido de cableado de fibra optica, el cual fue puesto a prueba en uno de los proyectos ejecutados por la empresa ETB, teniendo en cuenta las mejoras sugeridas en este proyecto, desde el procedimiento de tendido hasta el comportamiento de los equipos mecanicos adaptados y su función, dentro de la operación de

tensión del cableado. A continuación se describe el proyecto de prueba del sistema de tendido mejorado.

De acuerdo a las pruebas realizadas durante la ejecución del proyecto de prueba, se emplearon 6 personas para un proyecto de tendido de 7km de fibra óptica, donde se pudo identificar que al poner el sistema de tendido en marcha, primeramente el personal requerido disminuyó en un 40%, debido a que de 15 personas requeridas para tender 7km de cableado, solo se requirieron 6 trabajadores en la operación del proceso, donde uno ellos también fue el conductor para el traslado de las herramientas, maquinarias y carrete o bobina de cableado de fibra óptica.

Lo anterior, permitió hacer una reasignación de responsabilidades a cada trabajador, con el propósito de cubrir los tiempos muertos al disminuir el personal asignado para el proyecto. En este sentido las actividades ejecutadas se redujeron los tiempos por cada actividad, de acuerdo a lo propuesto en el capítulo anterior, teniendo como resultado una reducción del tiempo entre el 30% o 40% aproximadamente, solo empleando 1 operario en el carrete, 1 operario manejando la máquina, 3 personas guiando el cable y haciendo una baja tensión y 1 persona en el extremo de la otra punta del final del cable. (ver figura 14).

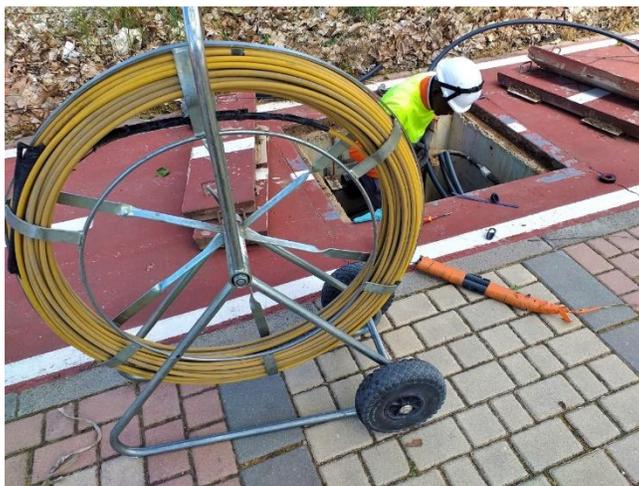
Figura 15. Operación de nuevo sistema de tendido con motor y motorreductor.



Fuente: Elaboración propia

Este proyecto fue ejecutado durante solo 6 días, mientras que en los proyectos anteriores se demoraban alrededor del doble de días ejecutados en comparación a este. Por lo cual el personal restante pudo ejecutar una nueva obra de menor alcance, pero que también representan unos ingresos adicionales para la empresa, donde las actividades que incluyen de 1mil o 2mil metros de tendido, en tiempos de 1 o 2 días, ejecutado con la cantidad aproximada de 3 o 4 trabajadores. También se pudo confirmar que no es necesario que el sistema se ejecute en un solo sitio con todo el personal, debido a que cuando el sistema cumple su función de halar cable, el personal de tendido al instalarlo en la red canalizada o Área, emplea de 2 a 3 horas, donde también se puede emplear el sistema en otros proyectos generando un incremento alto en la construcción.

Figura 16. *Trabajador en arqueta empalmando guía para tracción de cableado.*



Fuente:Elaboración propia.

En este sentido, las mejoras implementadas del motor y motoreductor utilizado, logró optimizar los tiempos de tendido, permitiendo que el personal tuviera la oportunidad de ejercer otras actividades requeridas en el proceso, que ayudaban a mejorar los tiempos y rendimiento en los resultados de cada proyecto ejecutado.

Conclusiones

Para concluir este proyecto de optimización del sistema de tendido de cableado de fibra óptica de la empresa Ever Bustamante Telecomunicaciones EBT, luego de diagnosticar el funcionamiento del sistema de tendido durante el proceso manual que se venía realizando, se decidió hacer cambios en los tiempos dedicados al proceso anterior y en la cantidad de personal utilizado para la ejecución de un proyecto específico.

De la misma manera se acordó potenciar y transformar el motor utilizado adaptando un motorreductor que permitiera reducir la velocidad, también se llegó a la conclusión de adaptar una guía o sin fin con las características de la curvatura requerida por el cable de fibra óptica para evitar daños al momento de ser tensionado por el sistema.

Las mejoras anteriores permitieron optimizar los tiempos de entrega de cada proyecto, la cantidad de personas requeridas, logrando una disminución de los costos administrativos, alcanzando una mayor rentabilidad para la empresa.

También se aprovecharon los espacios de tiempo perdido entre cada actividad del proceso de tendido, y los resultados de rendimiento del tendido del cable fue casi del doble al que se venía ejecutando, lo que permitió la realización de dos proyectos de manera simultánea con la misma cantidad de personas, generando mayores ingresos a la empresa y menos costos.

Se recomienda la implementación y adaptación de un sistema de control automático para el motor, con el objetivo de medir y regular las velocidades del proceso de tensión del cableado, así como la cantidad de cable tendido.

Referencias Bibliográficas

- Asociación de fibra óptica (The Fiber Optic Association, Inc. [FOA]), (2016). Diferencias entre normas y códigos - Normas de redes y cableado - Aplicación de normas de cableado, Estados Unidos. Tomado de: <http://www.foa.org>
- AMITEL Perú Telecomunicaciones S.A.C. (2011). Procedimientos para la instalación de fibra óptica,
- B. Ever, EBT - Ever Bustamante Telecomunicaciones SAS., Cartagena, 2022.
- Barbosa y Delgado (2004). Determinación de la fuerza máxima aceptable para empujar y halar cargas por parte de trabajadores con experiencia previa en la manipulación de cargas, en una muestra del personal de la pontificia universidad javeriana. Universidad javeriana. Facultad de ingeniería industrial. Bogotá.
- Ellis, G. (2012). Control System Dsign Guide: Using Your computer to Understand and Diagnose feedback Controllers. Elsevier. Doi: 10.1016/B978-0-12-385920-4.00014-X
- E. M. Hernández Pérez, (2018). Tecnología e implementación de fibra óptica en la instrumentación de control industrial, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Empresa de Telecomunicaciones de Pereira S.A. E.S.P. (2009) Normas de construcción e instalación de fibras ópticas - Especificaciones de elementos pasivos de la red de fibra óptica municipal. Tomado de: https://documen.site/queue/normas-construccion-redes-fibra-optica_pdf?queue_id=-1&x=1668529846&z=MTkxLjE1Ni4yNTEuMTA4
- Herrizaingo Saila (2018), Tendido de cable de fibra óptica para la red de telecomunicaciones del departamento de interior. Departamento de interior del Gobierno Vasco. Larrauri Mendotxe bidea. (Bizkaia).

- S. M. P. Andrea, (2016). Propuesta de un manual de procedimientos de instalación y mantenimiento preventivo y correctivo de la red de fibra óptica de la EBSA con canales de 10 Gbps, Tunja: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.
- S. y. M. S. Henríquez, (2022). Implementación del diseño de la automatización de la ralladora de yuca para la producción de concentrados porcinos en la Universidad Antonio Nariño Sede Cartagena, Cartagena: UAN.
- SENATI, (2022). Automatismo Programable por PLC, Lima, Perú: SENATI.
- Serway, Raymond A. y Jewett, Jhon W (2018) Física para ciencias e ingeniería 1, décima edición. Cengage.Mexico.
- Zhang, P., (2010). *Advanced Industrial Control Technology. Sensors and actuators*. ScienceDirect, pp.73-116 <https://doi.org/10.1016/B978-1-4377-7807-6.10003-8>