

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL / CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA / ESPECIALIZACIÓN EN MATEMÁTICA APLICADA

Tema: Modelo matemático de optimización para planeación de redes FTTH a través de programación estocástica multietapa.

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Grado Académico de
Magister/Especialista en Matemática Aplicada

Modalidad de titulación Trabajo de titulación

Autora: Ing. Myriam Paola Cunalata Landa

Director: Ing. Fabian Rodrigo Salazar Escobar., Mg., PhD.


Ambato-Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación, presidido por la Ingeniera Elsa Pilar Urrutia Urrutia Magister, e integrado por los señores: Ingeniera Edith Elena Tubón Núñez Magister, Ingeniero Víctor Santiago Manzano Villafuerte Magister, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA PLANEACIÓN DE REDES FTTH A TRAVÉS DE PROGRAMACIÓN ESTOÁSTICA MULTIETAPA, elaborado y presentado por la señora Ingeniera Myriam Paola Cunalata Landa, para optar por el Grado Académico de Magíster/Especialista en Matemática Aplicada; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación; el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.



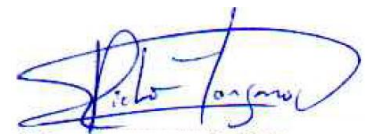
Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.

Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa



Ing. Edith Elena Tubón Núñez Mg.

Miembro del Tribunal de Defensa



Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte Mg.

Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA PLANEACIÓN DE REDES FTTH A TRAVÉS DE PROGRAMACIÓN ESTOÁSTICA MULTITETAPA”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniera Myriam Paola Cunalata Landa, Autora bajo la Dirección del Ingeniero Fabian Rodrigo Salazar Escobar., Mg., PhD. Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Myriam Paola Cunalata Landa

AUTORA



Ing. Fabian Rodrigo Salazar Escobar Mg., PhD

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.



Ing. Myriam Paola Cunalata Landa

C. 1803626355

ÍNDICE GENERAL

Contenido	
PORTADA	i
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
AGRADECIMIENTO	x
DEDICATORIA	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
EXECUTIVE SUMMARY	xiv
CAPÍTULO I	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. General	3
1.3.2. Específicos	3
CAPÍTULO II	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	4
2.1. Revisión bibliográfica	4
2.2. Modelo Matemático	8
2.2.1. Modelo matemático de programación lineal	9
2.3. Programación estocástica multietapa	10
2.4. Algoritmo K-means	12
2.5. Algoritmo de Set-cover	14

2.6.	Algoritmo Dijkstra	17
2.7.	Algoritmo Movimiento Browniano o Proceso de Wiener	19
2.8.	Movimiento Browniano Geométrico.....	21
2.9.	Algoritmo Simulated Annealing.....	22
2.10.	Teorema del límite central	27
2.11.	Optimización de la evolución de la red.....	28
2.12.	Redes FTTH	28
2.12.1.	Tecnología GPON	30
2.12.2.	Arquitectura de una red GPON	31
2.13.	Fibra Óptica	31
2.13.1.	Geometría básica de la transmisión de la Fibra.....	34
CAPÍTULO III.....		36
MARCO METODOLÓGICO.....		36
3.1.	Ubicación	36
3.2.	Equipos y materiales	36
3.3.	Tipo de investigación	37
3.4.	Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender	37
3.5.	Recolección de información	37
3.5.1	Métodos de agrupamiento	39
3.6.	Procesamiento de la información y análisis estadístico:	40
3.6.1.	Algoritmos utilizados	40
3.6.1.1.	Utilización del Algoritmo K-means.....	40
3.6.1.2.	Utilización Algoritmo Set-cover.....	42
3.6.1.3.	Utilización del Algoritmo Dijkstra.....	45
3.6.1.4.	Aplicación del Movimiento Browniano o Proceso de Wiener.....	47
3.6.1.5.	Reducción de escenarios	49
3.6.2.	Modelo Matemático.....	50
3.6.2.1.	Variables de salida	51
3.6.2.2.	Restricciones Generales	51
3.6.2.3.	Variables de entrada.....	52

3.6.3. Obtención de la Función Objetivo.....	53
3.6.3.1 Restricciones de la función objetivo	56
3.7. Variables respuesta o resultados alcanzados	57
3.7.1. Aplicación del modelo de optimización MILP (Programación lineal entera mixta).....	58
3.7.2. Algoritmos utilizados en la solución del problema de optimización..	58
CAPÍTULO IV	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
CAPÍTULO V.....	64
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS ..	64
5.1. Conclusiones.....	64
5.2. Recomendaciones.....	66
5.3. Bibliografía.....	67
5.4. Anexos.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. EJEMPLO DE MATRIZ DISPERSA EN SET-COVER.....	16
Tabla 2-2. VALORES DE MATRIZ INICIA DEL ALGORITMO DIJKSTRA	18
Tabla 2-3. ANALOGÍA ENTRE SISTEMA FÍSICO Y PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN	22
Tabla 3-1. DISTRIBUCIÓN DE LOS SPLITTER CON K-MEANS	41
Tabla 3-2. VALORES DE MATRIZ SOLUCIÓN ALGORITMO DIJKSTRA	46
Tabla 3-3. COSTOS APLICANDO CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN	60
Tabla 3-4. COSTOS APLICANDO CRITERIOS DETERMINISTAS	60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Representación del problema set-cover dividido en 5 regiones	15
Figura 2-2 Ejemplo grafico para la aplicación del algoritmo Dijkstra.....	18
Figura 2-3 Primera Iteración del algoritmo Dijkstra para determinar distancias mínimas	19
Figura 2-4 Representación gráfica de la n-esima iteración de Dijkstra para determinar distancias mínimas.	19
Figura 2-5 Simulación de una trayectoria de un movimiento Browniano unidimensional [22]	21
Figura 2-6 Búsqueda local	23
Figura 2-7 Variación de las magnitudes probabilidad de aceptación de Boltzmann.	24
Figura 2-8 Arquitectura de una conexión de fibra.	31
Figura 2-9 Partes de la fibra óptica	32
Figura 2-10 Reflexión	34
Figura 2-11 Refracción	34
Figura 2-12 Refracción y Reflexión de luz en la frontera de un material.....	35
Figura 3-1 Ubicación de los clientes en Google My Maps.....	38
Figura 3-2 Ubicación de los clientes en Google Earth.....	38
Figura 3-3 Latitud y longitud.	39
Figura 3-4 Ubicación de los splitter - Matlab.	41
Figura 3-5 Ubicación de los splitter.- My Maps	42
Figura 3-6 Representación del problema Set-cover dividido en áreas.....	42
Figura 3-7 Matriz dispersa Set-cover	44
Figura 3-8 Vector solución Set-cover	45
Figura 3-9 Gráfico para la aplicación del algoritmo dijkstra	46
Figura 3-10 Gráfico de n-esima iteración del algoritmo Dijkstra para determinar las distancias mínimas.	47
Figura 3-11 Escenarios de proyección de usuarios vs años	48
Figura 3-12 Proyección de usuarios por año.....	49
Figura 3-13 Potenciales usuarios en 3 años	52

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar un profundo agradecimiento primero a Dios por ser el pilar fundamental en mi vida.

A la Universidad Técnica de Ambato por los conocimientos impartidos, a mi director de tesis, el Ing. Fabian Rodrigo Salazar Escobar Mg., PhD quien con su aporte permitió orientar el camino de esta investigación.

¡Gracias!

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia en especial a mis padres, a mi esposo Alex y mi hijo Mathias, por el apoyo incondicional que me brindaron durante el transcurso de la maestría, por motivarme a ser cada día mejor y ser mi soporte en mi realización profesional.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

TEMA:

MODELO MATEMÁTICO DE OPTIMIZACIÓN PARA PLANEACIÓN DE REDES FTTH A TRAVÉS DE PROGRAMACIÓN ESTOCÁSTICA MULTIETAPA

AUTOR: Ing. Myriam Paola Cunalata Landa

DIRECTOR: Ing. Fabian Rodrigo Salazar Escobar., Mg., PhD.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Tecnologías de la información y sistemas de control

FECHA: 29 de enero 2021

RESUMEN EJECUTIVO

En este proyecto de investigación se utiliza un modelo matemático de optimización para planeación de redes FTTH a través de programación estocástica multietapa, se estudia el método de reducción y construcción de árboles de escenarios con la finalidad de optar por el enfoque de modelación adecuado, además se define un modelo de optimización para la proyección de redes de telecomunicaciones FTTH, por último, se evalúa la eficacia del nuevo modelo de datos obtenidos de la empresa FASTER ISP.

Con la metodología mixta utilizada en este proyecto se recolecta, analiza y se combina datos cuantitativos y cualitativos que permiten alcanzar los objetivos planteados, para llegar a estos objetivos se estudia los diferentes conceptos de redes FTTH, modelos matemáticos, los algoritmos de optimización K-means, Setcover, Dijkstra, Movimiento Browniano. La utilización de estos algoritmos permite procesar la información de los clientes, reducir los escenarios para encontrar el óptimo, realizar la proyección estocástica de los potenciales clientes y encontrar las variables de entrada

y salida que se utilizan para definir el modelo matemático que sirve como parámetros de la función objetivo, permitiendo optimizar varios recursos como splitters y la cantidad de metros de fibra óptica.

Los algoritmos que se utilizan permiten identificar los recursos y parámetros necesarios para la optimización, por otra parte, se evidencia que la inadecuada ubicación de un equipo splitter en el despliegue de las redes FTTH lleva a sobredimensionar o desperdiciar recursos. Para definir el modelo de optimización se utilizaron variables y restricciones descubiertas en el procesamiento de la información, se debe agregar que el modelo minimiza el costo de la inversión en recursos. La utilización del modelo de optimización reduce el costo de la planeación en una red FTTH en un 39%, por otro lado, las futuras líneas de investigación pueden ser la aplicación del modelo matemático en una red WIFI.

Descriptores: Dijkstra, estocástico, FTTH, K-means, modelo matemático, movimiento Browniano, optimización, planificación, Setcover, , splitter.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

TOPIC:

OPTIMIZATION MATHEMATICAL MODEL FOR PLANNING FTTH NETWORKS THROUGH MULTI-STAGE STOCHASTIC PROGRAMMING

AUTHOR: Ing. Myriam Paola Cunalata Landa

DIRECTOR: Ing. Fabian Rodrigo Salazar Escobar., Mg., PhD.

LINE OF RESEARCH:

- Information technology and control systems

DATE: January 29, 2021

EXECUTIVE SUMMARY

In this research project a mathematical optimization model is used for planning FTTH networks through multistage stochastic programming, the method of reduction and construction of scene trees is studied in order to choose the appropriate modeling approach, in addition to define an optimization model for the projection of FTTH telecommunications networks, finally the effectiveness of the new data model obtained from the company FASTER ISP is evaluated.

With the mixed methodology used in this project, quantitative and qualitative data are collected, analyzed and combined that allow to achieve the proposed objectives, to reach these objectives the different concepts of FTTH networks, mathematical models, K-means optimization algorithms are studied, Setcover, Dijkstra, Brownian Movement. The use of these algorithms allows to process the information of the clients, reduce the scenarios to find the optimal one, carry out the stochastic projection of the potential clients and find the input and output variables that are used to define

the mathematical model that serves as parameters of the objective function, to optimize various resources such as splitters and the number of fiber optic meters.

The algorithms used allow identifying the resources and parameters necessary for optimization, on the other hand, it is evident that the inappropriate location of an equipment splitter in the deployment of FTTH networks leads to oversizing or wasting resources. To define the optimization model, variables and restrictions discovered in the information processing were used, it should be added that the model minimizes the cost of investment in resources. The use of the optimization model reduces the cost of planning in a FTTH network by 39%, on the other hand, future lines of research may be the application of the mathematical model in a WIFI network.

Keywords: Dijkstra, stochastic, FTTH, K-means, mathematical model, Brownian motion, optimization, planning, Set-cover, splitter.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

Se desarrollará un modelo matemático de optimización para planeación de redes FTTH a través de programación estocástica multietapa, para esto se utiliza la metodología mixta que permite recolectar, analizar y combinar datos cuantitativos y cualitativos. En el primer capítulo se describirá el problema de investigación, introducción, justificación del proyecto y los objetivos planteados. En el siguiente capítulo se recolectará información de estudios, trabajos, y tesis relacionados con el tema que se investigará. En el capítulo tercero se recolectará y procesará la información y datos de la planeación de la red FTTH proporcionados por la empresa FASTER ISP, este procesamiento se realizará con los algoritmos K-means, Set-cover, Dijkstra y Movimiento Browniano. Por otra parte, se realizará la reducción de escenarios de la proyección estocástica de los potenciales clientes para obtener datos que se utilizaran en el modelamiento matemático.

Con los datos obtenidos del procesamiento de la información se encontrarán las variables de entrada, salida y las restricciones que serán los parámetros para definir el modelo matemático – función objetivo. Con el estudio y la definición del nuevo modelo, se evaluará la eficacia de mismo utilizando datos obtenidos de la empresa FASTER ISP.

En el capítulo cuarto se presentará y detallará de una forma clara y concisa los resultados obtenidos en la presente investigación que evidenciarán la eficiencia del modelo desarrollado en este proyecto de tesis. En el último capítulo se describirá las conclusiones y recomendaciones producto de la investigación realizada en esta tesis, por último, se mostrará una lista bibliográfica de los artículos, libros utilizados para dar soporte a la investigación.

La principal limitante para desarrollar este proyecto será la falta de información de los clientes de años anteriores al 2019.

1.2. Justificación

Los modelos matemáticos constituyen una herramienta muy importante para simplificar operaciones en un determinado problema, esta investigación pretende utilizar un modelo matemático de optimización para la planeación de redes FTTH que servirán de apoyo en la toma de decisiones para optimizar recursos y minimizar los costos de instalación a las empresas proveedoras de servicio de internet.

Se propone el diseño de redes FTTH en combinación de redes GPON, para que puedan cubrir la demanda del ancho de banda, debido a la necesidad de los tipos de servicio usados en la actualidad como son: velocidad de internet, voz, datos y televisión en alta definición, buscando una proyección a tecnologías futuras. Se espera que la función objetivo del modelo matemático permita diseñar redes FTTH con un esquema eficiente y rentable con una tecnología futurista prometedora.

En el mundo actual los mercados son tan competitivos que la optimización de los recursos se vuelve primordial al momento de destacarse y así lograr de manera eficaz y eficiente sus procesos, esto será una gran ventaja ante la competencia, al utilizar un modelo matemático de planeación de redes FTTH se permitirá conocer la proyección de demanda con respecto al ciclo de vida de la red, lo cual permitirá prever una adaptación de la infraestructura a las nuevas tecnologías que vayan surgiendo con el pasar del tiempo a fin de no quedar obsoleta.

Con este proyecto de investigación se beneficia en primera instancia a los proveedores de tendido de fibra óptica con el fin de brindar servicio de internet a la sociedad, debido a que las técnicas descritas en este documento son aplicables a cualquier proyecto de

red FTTH especialmente a los que cuentan con un alto grado de incertidumbre en la proyección de clientes.

Con el modelo: “Modelo matemático de optimización para planeación de redes FTTH a través de programación estocástica multietapa” se podrá ayudar a tomar una decisión, cuya eficacia depende de acontecimientos futuros, se debe asumir que no se conoce toda la información, y ser conscientes de los riesgos que se corre si se equivoca a la hora de tomar la mejor decisión.

Los resultados de esta investigación serán públicos y estarán disponibles en el repositorio de la Universidad Técnica de Ambato.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

Utilizar un modelo matemático de programación estocásticas multietapa para optimizar la planeación de redes FTTH.

1.3.2. Específicos

- Estudiar el método de reducción y construcción de árboles de escenarios con la finalidad de optar por el enfoque de modelación más adecuado.
- Definir un modelo de optimización para la proyección de redes de telecomunicaciones FTTH.
- Evaluar la eficacia del nuevo modelo de datos obtenidos de la empresa FASTER ISP.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En este capítulo se presenta la revisión bibliográfica de los diferentes temas que tienen relación con esta tesis. Primero se considera un estudio sobre la planificación de la red FiWi [1], para la medición inteligente, basada en programación estocástica multietapa que permite articular la escalabilidad de la infraestructura de forma global.

Partiendo del estudio de la programación estocástica en varias etapas las cuales permitirán obtener nuestras variables de entrada, salida y las restricciones de nuestra función, para finalmente definir el modelo de optimización, que permita la búsqueda de la mejor solución de un conjunto de soluciones factibles.

Para tener una idea clara del modelo matemático para optimización en la planeación de redes FTTH, se presentan los conceptos y tecnologías de las redes FTTH de acceso GPON que se utiliza en la optimización de la planeación. Luego se tiene una revisión de la Fibra Óptica y por último se ve el concepto fundamental de la Geometría básica de la transmisión de la Fibra.

2.1. Revisión bibliográfica

Andreas Eisenblätter y Jonas Schweiger [2] realizaron un enfoque de planificación de red basado en programación estocástica, donde la evolución de la demanda se considera un proceso estocástico, el enfoque demuestra ser capaz de diseñar redes UMTS realistas a gran escala con un horizonte temporal de varios años. La evolución de la demanda se modela como un proceso estocástico continuo, que es aproximado por un árbol de escenario discreto.

El resultado de la optimización proporciona un plan de implementación de red en forma de árbol, donde la construcción a lo largo del tiempo se ajusta a la evolución de la demanda, se despliega y comprende varios representantes de realizaciones

pesimistas y altamente optimistas del desarrollo de la demanda. Cuanto mayor sea el crecimiento del tráfico (exponencial), mayor será el de los ingresos esperados.

En comparación con la optimización determinista para la evolución esperada de la demanda, el beneficio esperado aumenta como máximo en un 18,9% si se aplica el mismo enfoque. Se puede concluir que los tiempos de solución aceptables, así como los resultados obtenidos favorecen la aplicación de métodos estocásticos.

Daniel Anaut, [3] plantea la Optimización de Redes Eléctricas Mediante la Aplicación de Algoritmos Genéticos, el método de optimización utilizado para hallar la solución óptima entre todas las posibles combinaciones que ofrecen las maniobras de los interruptores, comprobándose su flexibilidad para adaptarse a las restricciones de radialidad y nivel de tensión, involucrando un tiempo menor que el necesario para una búsqueda exhaustiva. La aplicación desarrollada mediante algoritmos genéricos optimiza los sistemas de distribución tanto en lo que respecta a pérdidas de potencia como al perfil de tensiones.

Los resultados obtenidos demuestran que su aplicación en SD eléctricos primarios puede hacerse de manera fiable y su aplicación en tiempo real es posible debido a que los tiempos necesarios para obtener las configuraciones óptimas son aceptables. Debido a la flexibilidad de los AG, es posible aplicar soluciones en las cuales se priorice el servicio a algunas cargas críticas en el caso de cortes de servicio. Los resultados indican la factibilidad y viabilidad de la aplicación en la configuración óptima de sistemas de distribución eléctrica.

Los sistemas de transmisión de datos basados en fibra óptica se han constituido en el medio de comunicación más admisible para la transmisión de video, audio, voz y datos; especialmente para comunicaciones de alta velocidad. En el proyecto de tesis R. C. Castro Mandujano [4], diseñan una red FTTH basado en el estándar GPON para la conexión de videocámaras para el distrito de San Martín de Porres, dada la necesidad

de tener una arquitectura de red de fibra óptica; además, de contar con un medio de transmisión confiable para las videocámaras a desplegarse en el distrito.

Uno de los grandes problemas de la arquitectura actual de comunicaciones inalámbrica es la falta de capacidad, crecimiento y disponibilidad de ancho de banda para poder operar correctamente con sus sistemas de seguridad ciudadana. Así, el Plan Local de Seguridad Ciudadana 2017 – 2018 del distrito es el documento en el cual se basa el proyecto de R. C. Castro Mandujano [4], a fin de recopilar información y determinar las ubicaciones críticas que necesitan ser cubiertas por videocámaras de seguridad.

El proyecto de R. C. Castro Mandujano [4] se enmarca en las mejoras a las arquitecturas de red de tipo MAN como es el estándar GPON de tipo FTTH (Fibra hasta el hogar) que es capaz de cubrir grandes distancias sin necesidad de usar repetidores de señal y/o amplificadores, y que además de eso, ofrece un ancho de banda de transmisión de gran envergadura, que proporciona confiabilidad para la transmisión y procesamiento de información que generen las videocámaras de seguridad. Asimismo, cabe mencionar que actualmente, dicho estándar viene siendo implementado por operadores de telecomunicaciones que brindan servicios a través de un solo medio de transmisión que les ofrezca un ancho de banda.

Amaldi [5] investiga el problema de la planificación de redes UMTS de tercera generación con una interfaz de radio W-CDMA presentando dos modelos de programación matemática para localizar estaciones base directivas considerando la dirección del enlace descendente (estación base a móvil) y asumiendo un mecanismo de control de potencia basado en energía o también en SIR. Adaptaron un procedimiento codicioso aleatorio, así como un algoritmo de búsqueda Tabu, para encontrar una buena solución aproximada del problema resultante de ubicación de BS de enlace descendente NP-duro.

Ahmad Awada [6] busca la optimización de los parámetros de la red de radio del sistema de evolución a largo plazo utilizando el método de Taguchi, el objetivo de la planificación de la red de radio es configurar los parámetros de las estaciones base de modo que el despliegue logre la calidad de servicio requerida. Sin embargo, el ajuste de los parámetros de la red de radio en una red celular heterogénea solo macro es una tarea compleja, que involucra una gran cantidad de parámetros de configuración con interacciones entre ellos, propone un procedimiento de optimización iterativo basado en el método de Taguchi para encontrar configuraciones casi óptimas, pues ofrece una metodología científicamente disciplinada para explorar el espacio de búsqueda y seleccionar valores casi óptimos para los parámetros. Los resultados de la simulación revelan que el método de Taguchi es un enfoque prometedor para la optimización de la red de radio con respecto al rendimiento y la complejidad computacional.

Amaldi Capone & Malucelli [7] investigan modelos de programación matemática para apoyar las decisiones sobre dónde instalar nuevas estaciones base y cómo seleccionar su configuración (altura e inclinación de la antena, orientaciones del sector, potencia máxima de emisión, señal piloto, etc.) para encontrar maximizar la cobertura y minimizar los costos. La planificación de radio y la optimización de la cobertura son cuestiones críticas para los proveedores de servicios y los vendedores que están implementando redes móviles de tercera generación y necesitan controlar la cobertura, así como los enormes costos involucrados.

Debido a las peculiaridades del esquema de acceso múltiple por división de código (CDMA) utilizado en sistemas celulares 3G como UMTS y CDMA2000, la planificación de la red no puede basarse solo en predicciones de señales, y el enfoque que se basa en las formulaciones clásicas de cobertura de conjuntos adoptados para sistemas de segunda generación, el modelo general tiene en cuenta las limitaciones de la calidad de la señal en las direcciones de enlace ascendente y descendente, así como el mecanismo de control de potencia y la señal piloto.

Assd [8] realiza un estudio sobre la optimización de la cobertura de radio con algoritmos genéticos debido a que los operadores de redes celulares se enfrentan a problemas complejos al planificar el funcionamiento de la red. Para automatizar el proceso de planificación profundizo en el estudio de algoritmos genéticos con tres enfoques diferentes para optimizar los sitios de las estaciones base. Su investigación muestra que un enfoque adecuado en el desarrollo de la estructura individual y la función de aptitud tiene una importancia crucial para resolver problemas prácticos de ubicación de estaciones base con algoritmos genéticos.

2.2. Modelo Matemático

El Modelado Matemático es un procedimiento de abstracción de la realidad para transformar en ecuaciones que pueden resolverse mediante operaciones matemáticas o algebraicas. El proceso general del Modelado Matemático consta de cuatro pasos, que se describen a continuación.

1. Identificar las variables de decisión. Un paso crucial en la construcción de un Modelo Matemático es determinar aquellos factores sobre los que el encargado de la toma de decisiones tiene control, que normalmente se llaman variables de decisión del problema. Hay que distinguir entre lo que está al alcance cambiar de lo que no se puede modificar, que normalmente se denomina parámetros. Según el tipo de problema, lo que a veces es una variable de decisión en otros casos puede ser un parámetro o viceversa.

2. Identificar la función objetivo. El objetivo de la mayoría de los Modelos de Optimización es encontrar el modo de optimizar alguna medida respetando las restricciones existentes. A la hora de encontrar la función objetivo, la pregunta que puede hacer es: ¿Qué es lo que se pretende alcanzar?

3. Identificar las restricciones. En la búsqueda de la solución óptima, normalmente existen ciertas restricciones que limitan nuestra decisión. Las restricciones del modelo

limitan el valor de las variables de decisión. Se generan cuando los recursos disponibles son limitados e indican que los resultados del análisis son razonables. Así, por ejemplo, si una de las variables es el número de hijos de una familia, una restricción natural es que este valor no puede ser negativo.

4. Traducir todos los elementos básicos a un modelo matemático. Una vez identificados los elementos básicos, hay que expresarlos matemáticamente. [9].

La matemática contribuye un sinnúmero de modelos cuya solución puede obtenerse a través de paquetes computacionales. Entre estos modelos pueden mencionarse: los de programación lineal, los de programación entera, los de programación no-lineal, los de programación dinámica y los de programación multiobjetivo.

El grafo creado por Euler, presentado antes para esquematizar el problema de los 7 puentes, es un ejemplo de modelo matemático: es una abstracción de la ciudad y de los puentes y una simplificación del fenómeno real. El modelo refleja, sin embargo, los aspectos sustanciales que son relevantes a la situación en estudio.

2.2.1. Modelo matemático de programación lineal

Posiblemente, entre los modelos disponibles, el modelo lineal es el más viable económicamente y el más flexible, debido a que existe una amplia variedad de paquetes computacionales que permiten encontrar las soluciones de un programa lineal. Además, estos paquetes se adquieren a precios razonables y no requieren un equipo computacional sofisticado.

La mayor limitante de este modelo es la linealidad de las funciones que intervienen. Esto se debe a que la relación lineal entre las variables es una relación muy sencilla para que concuerde frecuentemente con la realidad. No obstante, en ocasiones, las propiedades físicas del problema permiten justificar esta linealidad. Otras veces, las relaciones no lineales pueden linealizarse fácilmente aplicando transformaciones matemáticas apropiadas, otra limitante de este modelo es asegurar que todos los datos

se conocen con certeza condición que no concuerda con la frecuente necesidad de tomar decisiones con base a fenómenos con incertidumbre.

Forma general del modelo de programación lineal. [10]

$$\text{Max} \sum_{j=1}^n c_j x_j \quad (1)$$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b; \text{ para: } i = 1, \dots, n$$
$$x_i \geq 0$$

2.3. Programación estocástica multietapa

Varios problemas de programación matemática reúnen parámetros que se suponen conocidos en el instante de resolver el problema y, por tanto, constantes a la hora de resolverlo. Sin embargo, si el problema de optimización es el resultado de la representación mediante un modelo de una situación real en la que ha de tomar una decisión, es frecuente que se desconozcan los valores de algunos de los parámetros que intervienen en él. Este desconocimiento da lugar a que en el momento de adoptar una decisión se desconozcan las posibles consecuencias de esta.

La programación estocástica analiza la resolución de problemas de programación matemática en los que algunos parámetros son desconocidos, pero se conoce la distribución de probabilidad asociada a ellos y, por tanto, las situaciones que se analizan mediante la misma son situaciones de riesgo [11]. Define la programación estocástica como “la resolución de problemas de programación matemática en los que algunos o todos los parámetros son variables aleatorias”. En programación estocástica se relaja, por tanto, la hipótesis de que todos los parámetros del problema son deterministas, permitiendo tratar como variables aleatorias parámetros sujetos a incertidumbre o a posibles errores en su medición o estimación y de los que se conoce su distribución de probabilidad [12].

La programación estocástica dinámica se presenta como una metodología heurística adecuada para problemas estocásticos de grandes dimensiones. El procedimiento dinámico para programación estocástica que se presenta utiliza el árbol de escenarios mediante un procedimiento de atrás hacia adelante denominado "back-to-front".

Este procedimiento obtiene la solución al problema estocástico multi-período relacionado considerando los subárboles que se generan al considerar como nodo raíz los nodos que definen cada primer grupo de escenarios en una etapa del horizonte de planificación dado. Cada subproblema considera el efecto de la estocasticidad en la incertidumbre de los parámetros en los periodos de cada etapa posterior en la planificación utilizando la estimación de las curvas de valor futuro (EFV, del inglés Expected Future Value) de la función objetivo. Cada subproblema se resuelve para un conjunto de valores posibles, denominados niveles de referencia (reference levels), en las variables que toman un valor no nulo en alguna de las etapas anteriores a la cual pertenece la etapa que se esté resolviendo.

Un análisis de sensibilidad apropiado de la función objetivo para cada nivel de referencia en las variables de enlace entre etapas permite estimar las curvas EFV para el grupo de escenarios en la etapa anterior, este procedimiento se repite hasta el cálculo de las curvas EFV de la primera etapa. [13]

La programación estocástica de múltiples etapas puede ser utilizada para resolver una gran cantidad de problemas, en la presente tesis realiza la planificación estratégica de redes de telecomunicaciones utilizando problemas lineales enteros mixtos (MILP) [14] con el método estocástico movimiento Browniano [15] para proyección de la demanda, y el despliegue de alternativas mediante el método de Monte Carlo [16] para luego hacer un análisis del método de reducción y construcción de árboles de escenarios para poder plantear la función objetivo también se va analizar los diferentes métodos para proyección de redes agrupamiento, K-medias, Set-cover, Dijkstra los cuales permitirán obtener nuestras variables de entrada, salida y las restricciones de

nuestra función para finalmente simular el modelo de optimización utilizando el algoritmo de recocido simulado que permita la búsqueda de la mejor solución de un conjunto de soluciones factibles.

2.4. Algoritmo K-means

El algoritmo K-means, creado por MacQueen en 1967 es el algoritmo de clustering más conocido y utilizado. Sigue un procedimiento simple de clasificación de un conjunto de objetos en un determinado número K de clústeres, K determinado a priori.

El nombre de K-means viene porque representa cada uno de los clusters por la media (o media ponderada) de sus puntos, es decir, por su centroide. La representación mediante centroides tiene la ventaja de que tiene un significado gráfico y estadístico inmediato. Cada clúster por tanto es caracterizado por su centro o centroide que se encuentra en el centro o el medio de los elementos que componen el clúster. Kmeans es traducido como K-medias [17].

El algoritmo del K-means se realiza en 4 etapas:

Etapas 1: Elegir aleatoriamente K objetos que forman así los K clúster iniciales.

Etapas 2: Reasigna los objetos del clúster

Etapas 3: Una vez que todos los objetos son colocados, recalcular los centros de K clúster.

Etapas 4: Repetir las etapas 2 y 3 hasta que no se hagan más reasignaciones.

K-means es uno de los más conocidos y utilizados en problemas de ingeniería, debido a que es un método que agrupa heurísticamente conociendo como dato de entrada un determinado número de clases (K). El caso de estudio es la minimización de costos, ya que está enfocado el algoritmo en la minimización de distancias, para este caso de estudio la optimización de la suma de los enlaces elevados al cuadrado de cada grupo referenciados al centroide ubicado por cluster.

Este algoritmo según lo investigado tiene mucha aplicabilidad en modelos de aprendizaje no supervisado y en general en ámbitos de ingeniería y economía donde se necesita modelos probabilísticos o estocásticos. Este algoritmo denominado K-means, permite analizar un conjunto de datos V de n puntos o vectores magnitud en un espacio conocido como euclidiano.

K-means [18] se enfoca en la división de datos V en K subconjuntos que como se mencionó en párrafos anteriores se denominan clusters cuya notación o representación es S_1, \dots, S_k , que corresponden al conjunto que se quiere optimizar, su representación matemática sería como se indica en la Ecuación 2

$$\sum_{i=1}^k \sum_{V \in S_i} [\|V - C_i\|]^2 \quad (2)$$

Donde $C_i = (1/|S_i|) \sum_{V \in S_i} V$ corresponden a los centros del grupo denominado S_i .

El algoritmo tiene una de sus principales características a nivel de eficiencia, pues requiere un almacenamiento mínimo de información, sin embargo, se restringe al orden de presentación de los agrupamientos. Este parámetro K correspondiente a los subconjuntos ubica puntos en el espacio donde están ubicados los objetos que requieren de una clasificación. Estos objetos representan entonces los centroides iniciales de dichos agrupamientos, donde después éstos son situados al grupo cuyo centroide es el más cercano. Una vez determinados todos estos objetos, se podrá recalcular las posiciones de los K centroides, repitiéndose este proceso hasta que los centros sean ubicados y mantengan una determinada estabilidad. Esto produce una clasificación de los objetos en grupos que permite dar una métrica entre ellos.

En este trabajo, este método ha sido considerado debido a su aplicación en problemas que requieren grupos que tienen parámetros similares como se mencionó anteriormente, generándose resultados que ayudan a comprender el comportamiento

de grandes cantidades de datos, que permiten tener una visión clara de forma cualitativa y cuantitativa.

Al ser un algoritmo que funciona de forma iterativa, segmentando de una manera óptima un conjunto inicial de datos en K clústers, el mismo que representará un parámetro, y considerando que dará como posibles resultados la minimización de una distancia mediante el uso de la llamada distancia euclidiana, permitirá entonces basado en lo mencionado aplicarlo a este caso de estudio. A continuación, se presenta el algoritmo general:

Condiciones Iniciales requeridas.

Número de clústeres = C

Matriz de datos $[] = N$

Valores Iniciales de clústeres $[] = V$

Desde $i=1 \dots$ criterio de distancia mínima

{

Calcula la matriz de distancias

Calcula la matriz de pertenencias

Calcula la matriz de centroides

Fin

}

2.5. Algoritmo de Set-cover

El problema del set-cover [19], es un problema que se puede dar en varias áreas de las ciencias como, por ejemplo: ciencias de la computación, probabilidad y estadística. Consiste básicamente en poder identificar el menor número de conjuntos, cuya unión contenga a todos los elementos de un universo de análisis. El problema del set-cover, se puede representar gráficamente a través de la utilización de un mapa, que representa el universo, las regiones que representan los conjuntos como se aprecia en la Figura 2-1. El universo se define como un conjunto de elementos del tipo $\{1,2 \dots n\}$, donde pueden existir este tipo de conjuntos.

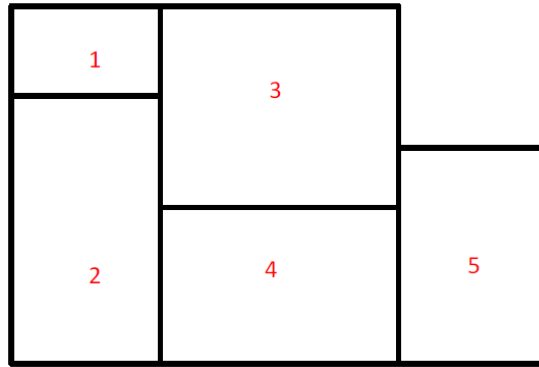


Figura 2-1 Representación del problema set-cover dividido en 5 regiones

Entonces como se puede observar en la Figura 2-1, se hace la consideración de que el subuniverso formado por una familia de subconjuntos S del universo K , considerando que para este estudio puede decir que la región de cobertura de un equipo pasivo de fibra óptica será una derivación de S que será C (Cobertura), donde:

$$C \subseteq S$$

Para este ejemplo los datos serían los siguientes:

Universo: $K = \{1,2,3,4,5\}$

Conjunto: $S = \{(1,2,3); (2,4); (3,4); (4,5)\}$

Entonces la unión de los conjuntos de S , tiene a todos los elementos de K . Pero se podría cubrir a todos los elementos con el conjunto $\{1,2,3\}; \{4,5\}$.

Partiendo con estos antecedentes, se puede plantear matemáticamente condiciones con el fin de poder definir un modelamiento matemático mediante una técnica de optimización, realizando un planteamiento con ciertas condiciones de borde restricciones, una función objetivo y el dominio para el problema, dónde puede indicar que:

Dominio: $X_i = \{1 \text{ que corresponde a una habilitación cubierta por servicio o el valor de } 0 \text{ que corresponde a la no instalación dentro de la región}\}$

Función: $\text{Min } \sum_{i=1}^5 x_i$

Restricciones:

$$x_1 + x_2 + x_3 \geq 1$$

$$x_2 + x_1 + x_3 + x_4 \geq 1$$

$$x_3 + x_1 + x_2 + x_4 + x_5 \geq 1$$

$$x_4 + x_2 + x_3 + x_5 \geq 1$$

$$x_5 + x_3 + x_4 \geq 1$$

Entonces se podría plantear que para el problema del conjunto de cobertura:

La matriz: $A = (a_{ij})$ de m filas y n columnas que se muestra en la Tabla 2-1, es una matriz de unos y ceros conocida como matriz dispersa.

Tabla 2-1. EJEMPLO DE MATRIZ DISPERSA EN SET-COVER

Filas	Columnas										
	1	2	3	4	5	6	7	8	.	.	n
1	0	0	0	0	0	0	0	0	.	.	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	.	.	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	.	.	0
4	0	1	0	0	0	0	0	1	.	.	0
5	0	0	0	0	0	0	1	0	.	.	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	.	.	0
7	0	0	0	0	0	1	0	0	.	.	0
8	0	0	1	1	0	0	0	0	.	.	1
9	1	0	0	0	1	0	0	0	.	.	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	0
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1
m	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0

Se asume que la columna j cubre a una fila i si $a_{ij} = 1$

Cada columna j tiene asociado un costo no negativo C_j .

Filas $I = \{1 \text{ hasta } n\}$ y columnas $J = \{1 \text{ hasta } m\}$

El problema de set-cover requiere como datos un subconjunto de costo $\text{Min } S \subseteq I$

De modo que cada fila $i \in I$, es cubierta por una columna $j \in S$. El modelo matemático para la Función Objetivo de este caso de ejemplo sería la presentada en ecuación 3

$$v(\text{Set Cover Problem}) = \sum_{j \in J} c_j x_j \quad (3)$$

que está restringido a la ecuación 4

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1; \forall i \in I, x_j \in \{0,1\}; \forall j \in J \quad (4)$$

Donde $x_j = 1$ si $j \in S$, y $x_j = 0$ para otros casos.

Entonces para este ejemplo, las soluciones que se podrían encontrar se podrán representar mediante un arreglo binario donde cada una de sus filas representará las restricciones y variables del problema.

2.6. Algoritmo Dijkstra

Es uno de algunos algoritmos más utilizados para poder realizar la búsqueda de caminos más cortos o de peso mínimo, para poder ir desde uno de los vértices dados, representado con una unión de dos enlaces en un grafo hacia el resto de los vértices. Este algoritmo al ser ejecutado devuelve solo el peso mínimo encontrado dentro de un grafo, lo cual mediante este valor permite obtener de forma eficiente y rápida el camino más corto. En base a esta afirmación este algoritmo es uno de los más utilizados en varias ramas de la ciencia.

El ejecutar este algoritmo permitirá ir censando todos los caminos más cortos encontrados que parten del vértice donde se inició hacia los demás vértices que forman parte del grafo.

El procedimiento estándar para ejecutar este algoritmo es el siguiente:

- a) Obtenidos los datos de ubicación de potenciales usuarios, se resetean e inician todas las distancias de un grupo de datos, asignándole un valor infinito, como si fuese un circuito abierto, pues durante la primera iteración de la búsqueda del camino más corto, el costo o distancia es desconocida al principio, excepto la del nodo X, nodo donde inicia, que se debe colocar en 0.
- b) Se considera un valor de nodo como actual y se inicia con la generación de la tabla correspondiente.
- c) Se procede a recorrer todos los nodos directamente conectados al nodo padre.
- d) Se analiza la distancia comprendida entre un nodo cualquiera que este directamente conectado al nodo padre, y se procede a colocar su valor en la tabla, para los nodos que no están directamente conectados la distancia al primer nodo se suma.
- e) Se marca como completado el nodo a.

- f) Se continúa con el procedimiento de algoritmia, ahora tomando como punto de inicio nuevo el que tiene el menor peso en la Tabla generada, y se procede a direccionar al paso c.

Entonces, su conjunto de vértices lo representa como: $V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, \dots, v_n\}$

Y su conjunto o matriz de pesos lo representa por $\lambda = (\omega_{i,j})_{n \times n}$

Y considera a "X" como el vértice inicial.

Para este caso como ejemplo, se muestra en la Figura 2-2, una representación en Grafo con los vértices y pesos o costos de enlaces entre vértices:

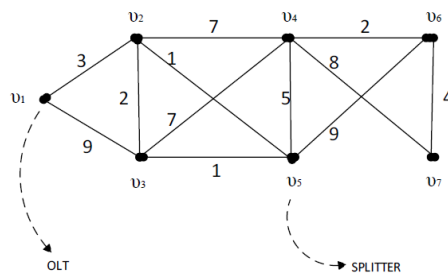


Figura 2-2 Ejemplo grafico para la aplicación del algoritmo Dijkstra

Después que se termine de ejecutar el algoritmo, los valores de la tabla generada vectorialmente mediante filas y columnas, supone que estará completa, como se muestra a continuación en la Tabla 2-2 y Figura 2-3:

Tabla 2-2. VALORES DE MATRIZ INICIA DEL ALGORITMO DIJKSTRA

λ	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7
V1	0	3	9	∞	∞	∞	∞
V2	3	0	2	7	1	∞	∞
V3	9	2	0	7	1	∞	∞
V4	∞	7	7	0	5	2	8
V5	∞	1	1	5	0	9	∞
V6	∞	∞	∞	2	9	0	4
V7	∞	∞	∞	8	∞	4	0

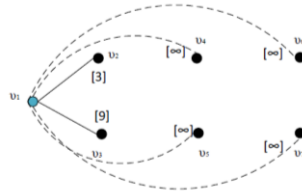


Figura 2-3 Primera Iteración del algoritmo Dijkstra para determinar distancias mínimas

Sin embargo, el algoritmo tiene que llegar a una convergencia, pues para el caso rutas entre nodos por ejemplo 1 a 3, su enlace más corto no corresponde posiblemente al que está directamente conectado, sino que luego de analizar el grafo la distancia de menos costo sería por el 2, por lo que su tabla o matriz de vectores tendría que ejecutar una actualización [20].

Una vez finalizado el algoritmo se obtiene una matriz de valores enteros, donde se tenga un valor hacia cada nodo definido, mostrándose de forma gráfica en la Figura 2-4:

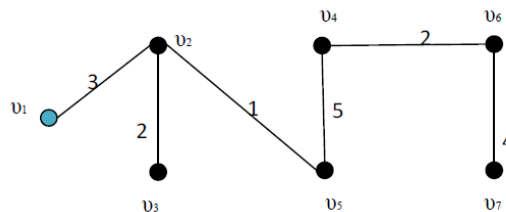


Figura 2-4 Representación gráfica de la n-esima iteración de Dijkstra para determinar distancias mínimas.

En nuestra aplicación planteada para el despliegue de Red de acceso de fibra óptica, se aplicará este algoritmo para poder determinar la ruta mínima de enlace de fibra óptica para poder habilitar un divisor óptico como se presenta en siguiente literal.

2.7. Algoritmo Movimiento Browniano o Proceso de Wiener

En una investigación sobre la reproducción de plantas el biólogo inglés Robert Brown(1828), reporto el movimiento de partículas de polen suspendidas en un fluido

en donde dos de estas partículas se mueven de una manera irregular e independiente a pesar de su cercanía, abriendo así el camino a futuras investigaciones que se centraran en estudiar este extraño fenómeno, sin embargo, cabe recalcar que, aunque Brown no fue el descubridor del movimiento, más bien el primero en reportarlo, es común referirse al fenómeno físico como un movimiento Browniano [21].

Movimiento Browniano o Proceso de Wiener. Sea $\{B(t) : t \geq 0\}$ un proceso estocástico a valores en \mathbb{R} definido sobre el espacio probabilístico (Ω, \mathcal{F}, P) , se dice que es un movimiento Browniano o Proceso de Wiener unidimensional si satisface las siguientes condiciones:

1. $B(0) = 0$
2. Sean $0 \leq s < t$, el incremento $B(t + s) - B(s)$ tiene distribución Gaussiana con media 0 y varianza $\sigma^2 t$, para alguna constante de varianza $\sigma > 0$.
3. Tiene incrementos independientes.
4. Tiene trayectorias continuas

Es importante notar, que si en la definición se toma $\sigma = 1$, entonces, se dice que $B(t)$ es un movimiento Browniano estándar. A partir de este punto, al menos que se especifique lo contrario, se considerará $\sigma = 1$ y se representará por B al movimiento Browniano. Dado que a $B(t)$ se lo puede interpretar como la posición de una partícula al instante t , en la definición del movimiento Browniano se puede tomar $B(0) = x \in \mathbb{R}$ siendo en este caso representado por $\{B^x(t) : t \geq 0\}$ donde $B^x(t) = x + B(t)$, y se lo dirá un movimiento Browniano que inicia en x [21].

Respecto a su distribución puede verse que, para un incremento,

$$B(t + s) - B(s) \sim N(0, t) \tag{5}$$

esto es, un movimiento Browniano tiene incrementos independientes estacionarios. Adicionalmente, si en la expresión anterior se toma $s = 0$, se verifica que $B(t) \sim N(0, t)$, es decir, es una variable Gaussiana y por tanto se verifica que su densidad de transición para ir de una posición y a una posición x al instante t está dada por:

$$f(t, x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{(x-y)^2}{2t}} \quad (6)$$

y si en la ecuación (6) el movimiento inicia en la posición $y=0$, para cada instante $t>0$ se tiene la función de densidad de la variable Gaussiana:

$$f_t(x) = f(t, x, 0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} e^{-\frac{x^2}{2t}} \quad (7)$$

En la figura 2-5 se puede apreciar una simulación de una trayectoria de un movimiento Browniano unidimensional en un intervalo de tiempo $[0,1]$, para la cual, se ha implementado en Matlab.

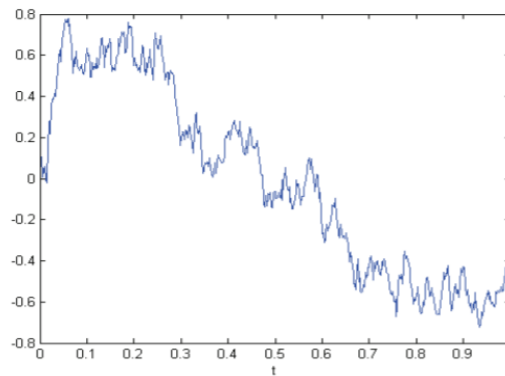


Figura 2-5 Simulación de una trayectoria de un movimiento Browniano unidimensional [22]

2.8. Movimiento Browniano Geométrico

En 1900, Bachelier en su tesis *Theorie de la speculation* describió los precios de las acciones de la bolsa de París por medio del movimiento Browniano, sin embargo, los precios de los activos no pueden ser descritos por el movimiento Browniano estándar, ya que los precios no parten de cero [23]. En 1973, Black-Sholes [24] y Merton [25] sugirieron otro proceso estocástico como un modelo para especular precios.

El movimiento Browniano geométrico se obtiene mediante una transformación exponencial del movimiento Browniano estándar. Específicamente, si Wt es un

movimiento Browniano estándar, μ es una constante (tendencia), σ es una constante positiva (volatilidad) y S_0 es el precio inicial conocido, entonces el proceso

$$S_t = S_0 e^{\left\{\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W_t\right\}} \quad (8)$$

2.9. Algoritmo Simulated Annealing.

La optimización con Simulated Annealing (Recocido Simulado, RS, en español) se introdujo por primera vez en 1983 gracias a Kirkpatrick, Gelatt y Vecchi [26] se asemeja a los procesos metalúrgicos que calientan un material para después enfriarlo gradualmente de una manera controlada, para aumentar el tamaño de los cristales que lo componen y reducir sus defectos.

La temperatura debe ser suficientemente alta para asegurar un estado aleatorio y el enfriamiento debe ser lo suficientemente lento para asegurar el equilibrio térmico, para conseguir que los átomos busquen una configuración de mínima energía de tal forma que la estructura cristalina se haya recuperado, obteniendo un cristal perfecto.

El uso del RS en optimización combinatoria se basa en establecer analogías entre el sistema físico y el problema de optimización. La tabla 2-3 muestra las analogías entre ambas partes [27].

Tabla 2-3. ANALOGÍA ENTRE SISTEMA FÍSICO Y PROBLEMA DE OPTIMIZACIÓN

Sistema físico (termodinámica)	Problema de optimización
Estado del sistema	Soluciones factibles
Energía	Función de costo (función objetivo)
Cambio de estado	Solución vecina
Temperatura	Parámetro de control T
Metaestable	Óptimo local
Estado estable	Óptimo global (solución óptima)

El funcionamiento del RS empieza con una solución inicial, en cada iteración se buscará vecinos aleatorios para intentar bajar sobre el espacio de soluciones, si este

vecino-solución candidata a la que se puede mover es mejor que la actual, se moverá con total seguridad, es como dar un salto a una situación de energía menor dentro del proceso de recocido [28] como se muestra en la figura 2-6.



Figura 2-6 Búsqueda local

Si la solución vecina candidata es peor, entonces se selecciona una probabilidad dada que depende de la temperatura actual (T) y de cuánto se degrade la función objetivo (δ).

Normalmente la probabilidad se modela siguiendo la distribución de Boltzmann [29].

$$P_{aceptación} = e^{\left(\frac{-\delta}{T}\right)} \quad (9)$$

A medida que el algoritmo progresa, la probabilidad de estos movimientos decrece, a mayor temperatura, mayor probabilidad de aceptación de soluciones peores como se observa en la figura 2-7. Así, el algoritmo acepta soluciones mucho peores que la actual al principio de la ejecución, pero no al final.

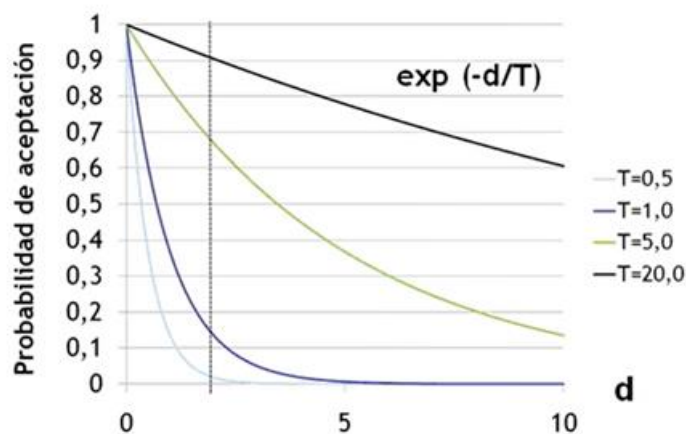


Figura 2-7 Variación de las magnitudes probabilidad de aceptación de Boltzmann

A medida que el algoritmo progresa, la probabilidad de estos movimientos decrece ya que la temperatura decrece a medida que avanza el algoritmo. En cada nivel de temperatura se explora un número grande de intentos $L(T)$. Una vez que se alcanza un estado de cierto equilibrio gradualmente se baja la temperatura hasta que sea la solución de mínima energía.

Pseudocódigo

```
INPUT (T0,  $\alpha$ , L, Tf)
T ← T0
Sact ← Genera _solucion_inicial
WHILE T ≥ Tf DO
    BEGIN
        FOR cont ← 1 TO L(T) DO
            BEGIN
                Scand ← Selecciona _solucion_N(Sact)
                 $\delta$  ← coste(Scand) – coste(Sact)
                IF (U(0,1) < e(- $\delta$ /T)) OR
                    ( $\delta$ <0) THEN Sact ← Scand
            END
        END
        T ←  $\alpha$ (T)
    END
{Escribe como solución, la mejor de las Sact visitadas}
```

Aplicación del algoritmo

Conjunto S de configuraciones: serán los vectores $x = (x_1, \dots, x_5)$ tal que $x_i \in \{0, 1\}$, $i = 1, \dots, 5$.

Función de coste: $c(x) = 2x_1 + 2.4x_2 + 3x_3 + 4x_4 + 4.4x_5 + 18y_1 + 8y_2$, siendo $y_1 = 1$, si la solución x no verifica la primera restricción y 0 en caso contrario. De forma análoga se define y_2 pero teniendo en cuenta si se verifica la segunda restricción o no.

Vecindad de cada configuración: Define un vecino cambiando la posible localización de un parque de una finca a otra, es decir, intercambiando 0 por 1 en el vector solución. Configuración inicial: empieza con una solución inicial que sea razonable, por ejemplo, $x = (1, 0, 0, 1, 1)$.

Parámetros del algoritmo:

Sabe que el peor empeoramiento que se puede producir es que no se verifique ninguna restricción; es decir, que se construyan más de 3 parques y que se construyan parques en las fincas 4 y 5 simultáneamente. En este caso dicho empeoramiento sería $\delta = 18+8 = 26$. A partir de este, calcula el valor inicial de la variable de control T (temperatura inicial) de forma que sea lo suficientemente grande para inicialmente movernos por todo el conjunto de la región factible.

De esta forma quiere que:

$$\exp^{-\frac{\delta}{T}} = 0.99 \Leftrightarrow T = -\frac{\delta}{\log(0.99)} = 2586.98.$$

Como factor de disminución de la temperatura toma $\alpha = 0.3$, e ira actualizando la temperatura de la siguiente forma:

$$T_{new} = \alpha T_{old} (0 < \alpha < 1)$$

Actualiza la temperatura cada $N(T) = 1$ iteración.

Criterio de parada: no mejora de la función objetivo en 2 iteraciones consecutivas.

Iteración 1:

Comienza con la solución inicial $x = (1, 0, 0, 1, 1)$, $c(x) = 18.4$. Calcula un vecino $y = (0, 1, 0, 1, 1)$, para el que obtiene el valor $c(y) = 18.8$. De esta forma como $\delta = c(y) - c(x) = 0.4 > 0$, quiere decir que no está mejorando la función objetivo; entonces genera un número aleatorio μ de una distribución uniforme $(0, 1)$ y obtiene $u = 0.6$. Como $u = 0.6 < \exp^{-\frac{\delta}{T}} = 0.99$ acepta el empeoramiento y hace la actualización $x = y$. Por último, actualiza la temperatura $T = \alpha \cdot T = 0.3 \cdot 2586.98 = 776.094$.

Iteración 2:

Parte de $x = (0, 1, 0, 1, 1)$ con $c(x) = 18.8$ y calcula un vecino $y = (0, 0, 1, 1, 1)$ obteniendo $c(y) = 19.4$. De esta forma $\delta = c(y) - c(x) = 0.6 > 0$, por lo tanto, genera una uniforme para ver si acepta el empeoramiento, obteniendo $u = 0.75$. Como $u = 0.75 < \exp^{-\frac{\delta}{T}} = 0.99$, acepta el empeoramiento y actualiza: $x = y$, $T = 0.3 \cdot 776.094 = 232.8282$.

Iteración 3:

Calcula un vecino de $x = (0, 0, 1, 1, 1)$ con $c(x) = 19.4$, por ejemplo $y = (0, 1, 1, 0, 1)$. Tiene que $c(y) = 9.8$ y $\delta = -9.6 < 0$, luego ha encontrado un vecino mejor y hace $x = y$. Actualiza la temperatura $T = 0.3 \cdot 232.8282 = 69.84$.

Iteración 4:

Calcula un vecino de $x = (0, 1, 1, 0, 1)$ con $c(x) = 9.8$, $y = (1, 0, 1, 0, 1)$. Tiene que $c(y) = 9.4$ y $\delta = -0.4 < 0$, como es un vecino mejor actualiza $x = y$. Actualiza la temperatura $T = 0.3 \cdot 69.84 = 20.9545$.

Iteración 5:

Calcula un vecino de $x = (1, 0, 1, 0, 1)$ con $c(x) = 9.4$, $y = (1, 0, 1, 1, 0)$. Tiene que $c(y) = 9$ y $\delta = -0.4 < 0$, entonces mejora la solución y actualiza $x = y$. Actualiza la temperatura $T = 0.3 \cdot 20.9545 = 6.2863$.

Iteración 6:

Calcula un vecino de $x = (1, 0, 1, 1, 0)$ con $c(x) = 9$, $y = (1, 1, 1, 0, 0)$. Tiene que $c(y) = 7.4$ y $\delta = -1.6 < 0$, entonces como mejora la solución actualiza $x = y$. Además, $T = 0.3 \cdot 6.2863 = 1.859$.

Iteración 7:

Calcula un vecino de $x = (1, 1, 1, 0, 0)$ con $c(x) = 7.4$, $y = (1, 1, 0, 1, 0)$. Se verifica que $c(y) = 8.4$ y $\delta = 1 > 0$, entonces como no mejora la solución genera una uniforme y obtiene $u = 0.3 < \exp^{-\frac{\delta}{T}} = 0.59$. Por lo tanto, actualiza la solución y hace $T = 0.3 \cdot 1.859 = 0.56577$.

Iteración 8:

Calcula un vecino de $x = (1, 1, 0, 1, 0)$ con $c(x) = 8.4$, $y = (0, 1, 1, 1, 0)$, $c(y) = 9.4$ y $\delta = 1 > 0$. Entonces como no mejora la solución genera una uniforme y obtiene $u = 0.15 < \exp^{-\frac{\delta}{T}} = 0.17$. De este modo actualiza la solución y hace $T = 0.3 \cdot 0.56577 = 0.1697$.

Como ha completado dos iteraciones consecutivas sin mejorar la solución, el algoritmo terminaría ya que verifica el criterio de parada que ha impuesto.

Por lo tanto, la solución final obtenida es $x = (1, 1, 1, 0, 0)$ con un valor óptimo de $c(x) = 7.4$. Cabe destacar que obtiene la convergencia al óptimo global del problema.

2.10. Teorema del límite central

Este teorema afirma que la distribución de medias muestrales tiende hacia una distribución normal, aunque las muestras procedan de una distribución no normal determinar un modelo de probabilidad para describir el comportamiento de una variable continua. Es un Teorema de gran importancia en Estadística, especialmente para la parte de Inferencia Estadística.

Establece que si X_1, \dots, X_n son variables aleatorias independientes con media μ_i y varianza σ_i^2 , al margen del tipo de distribución que sigan los sumandos, la suma de todas ellas, $Y = X_1 + \dots + X_n$ tiende a distribuirse aproximadamente normal, con media $\mu = (\mu_1 + \dots + \mu_n)$ y varianza $\sigma^2 = (\sigma_1^2 + \dots + \sigma_k^2)/n$, siendo las aproximaciones mejores a medida que aumenta n .

De acuerdo con el resultado siempre que observa una variable que sea el resultado de muchas causas independientes, se espera que su distribución sea aproximadamente normal, de ahí la frecuencia con la que se presentan en realidad variables aleatorias cuya distribución puede aproximarse a la distribución normal, debido a que muchas de estas variables reales pueden considerarse la suma de variables independientes. [30]

2.11. Optimización de la evolución de la red

La principal decisión en la evolución de la red es dónde y cuándo construir nuevas células. Se da un conjunto C de ubicaciones candidatas para celdas y un árbol de escenarios con nodos $n \in N$. La decisión de construir una celda está representada por una variable de construcción binaria y_{ni} . El modelo establece $y_{ni} = 1$ si la celda i ya está construida en el nodo n y $y_{ni} = 0$ en caso contrario. La activación de las celdas solo es posible una vez que se cumple el requisito de cobertura.

El área de planificación A se discretiza en píxeles bidimensionales $x \in A$. El servicio Área $A_{ni}^{(S)}$ en el nodo n es el subconjunto del área de planificación en el que toda la demanda de red se atiende el tráfico. La forma del área de servicio depende de la intensidad de la demanda y puede diferir para los diferentes nodos del árbol de escenarios. Variables de servicio Binario $X_{nx}^{(S)}$ indica si la red da servicio a un píxel.

Estos son forzados a 0 si el requisito de cobertura no se cumple y las celdas construidas son aún no activo. El conjunto de celdas de servicio potencial (construidas y no construidas) de un píxel x en un nodo n se denota por

$$C_{nx}^{(S)} = \{i \in C \mid x \in A_{ni}^{(S)}\} \quad (10)$$

De manera análoga, las variables de cobertura binarias $X_{nx}^{(C)}$ se establecen en 1 si el píxel x está dentro del área de cobertura de una celda activa en el nodo n . Estas variables permiten formular los requisitos de cobertura.

2.12. Redes FTTH

La FTTH se basa en la utilización de cable de fibra óptica hasta el hogar del usuario final, lo que se denomina la última milla.

La adopción de esta nueva tecnología de acceso en última milla requiere del despliegue de costosas nuevas infraestructuras (desde las centrales hasta el hogar o negocio del usuario), por lo que es un proceso gradual que supone la convivencia de FTTH con los servicios HFC (Redes Híbridas Fibra y Cobre).

FTTH es una tecnología que gradualmente se va incorporando en los servicios de Internet para hogares ofreciendo mayor velocidad, disponibilidad de contenidos y de mejor calidad. Como así también, preparando a las casas del futuro para la recepción de novedosos servicios y aplicaciones de valor agregado, tales como el video on demand, los canales HD o el almacenamiento en la nube.

Las instalaciones FTTH se basan en dos arquitecturas, Una de una línea directa desde la planta hasta el hogar en una configuración Punto a Punto P2P (“Peer to Peer”) y otra de arquitectura Punto Multipunto P2MP, utilizando básicamente splitters en una red óptica pasiva, la cual puede utilizar básicamente Gigabit Ethernet o un Modo de Transferencia Asíncrona ATM_[31].

Para poder cubrir la demanda que tiene el cliente en cuanto a la necesidad de sistemas de banda ancha, se presenta como una solución atractiva, el empleo de redes de fibra óptica, en concreto la tecnología FTTH, sistema que permite conectar a clientes que se encuentran a distancias considerables del nodo, ofreciendo velocidades de transmisión mayores a los sistemas xDSL y sobre todo estables con el incremento de distancia.

Las redes FTTH están conformadas por elementos de fibra óptica pasivos PON (Passive Optical Network), que comprende el tramo entre la central y el cliente, sin ser parte de ello los equipos activos de transmisión y recepción. Una de las ventajas que se tienen en este tipo de sistemas es que se puede compartir un hilo de fibra óptica entre varios clientes.

2.12.1. Tecnología GPON

A finales de los años 90 se empezó a desarrollar la tecnología PON (Passive Optical Network) y dio lugar a varios estándares como APON, BPON, EPON y GPON. Ahora no va a explicar cada uno de ellos y se va a centrar en el que utilizan actualmente las operadoras, el estándar GPON. GPON ofrece ventajas sobre el resto de las otras tecnologías ya que como va a ver admite múltiples servicios a la vez.

GPON proviene del acrónimo inglés "Gigabit-capable Passive Optical Network" y quiere decir "Red Óptica Pasiva con Capacidad Gigabit". Como puedes imaginar el estándar GPON ha ido evolucionando con el tiempo y son un conjunto de recomendaciones (G.984.x del ITU-T) que describe las técnicas para encapsular la información, cómo gestionar la red, cómo transportarla, etc.

En enlace en una conexión GPON se hace mediante un dispositivo que se encuentra en la centralita de la operadora telefónica llamado OLT (Optical Line Terminal) y el dispositivo que se coloca en nuestra casa llamado ONT (Optical Node Terminal). También al ONT se le puede denominar ONU (Optical Network Unit).[32]

Con el uso de los sistemas GPON disponibles se podrían tener redes FTTH con las siguientes características:

- Tasa alta de división (>64).
- Alta velocidad (>1Gbps).
- Alto ancho de banda por usuario (>100mbps).
- Transmisión Bidireccional, tasa de datos simétricos, acceso de una sola fibra.
- Larga alcance (>20Km).
- Pasivo.
- Alta capacidad de actualización.
- Manejo del sistema centralizado.
- Asignación dinámica de recursos.
- Protección básica incorporada.[33].

2.12.2. Arquitectura de una red GPON

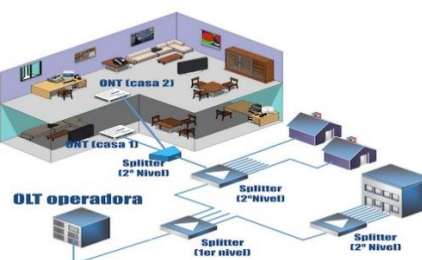


Figura 2-8 Arquitectura de una conexión de fibra.

Como puede ver en el esquema de una arquitectura típica GPON, la fibra que sale del OLT se va dividiendo a través de los splitters de primer nivel en nuevas redes de fibra. A su vez estas fibras se vuelven a subdividir en más fibras en los de segundo nivel y así sucesivamente hasta llegar al último punto de conexión que es el ONT que ese encuentra en la casa o empresa del abonado. El despliegue de este tipo de red es muy barato ya que un OLT de una operadora puede dar servicio a muchos ONTs a la vez (hasta 64 ONTs)[32].

2.13. Fibra Óptica

La fibra óptica se trata de un medio de transmisión de datos mediante impulsos fotoeléctricos a través de un hilo construido en vidrio transparente u otros materiales plásticos con la misma funcionalidad. Estos hilos pueden llegar a ser casi tan finos como un pelo, y son precisamente el medio de transmisión de la señal. Básicamente por estos finísimos cables se transfiere una señal luminosa desde un extremo del cable hasta el otro. Esta luz puede ser generada [32]a mediante un láser o un LED, y su uso más extendido es el de transportar datos a grandes distancias, ya que este medio tiene un ancho de banda mucho mayor que los cables metálicos, menores pérdidas y a mayores velocidades de transmisión.

Otro aspecto muy importante que debe tener en cuenta es que la fibra óptica es inmune a las interferencias electromagnéticas, que es algo que por ejemplo los cables de pares trenzados sufren en todos los casos y contribuyen a que se necesiten repetidores cada

cierta distancia. Debe saber que la fibra óptica no transporta energía eléctrica, solamente señales de luz. Pero la fibra óptica no solamente se utiliza para la transmisión de datos en redes, sino también para conexiones de audio de alta calidad. Además, también es una fuente de iluminación para proporcionar visibilidad en espacios reducidos e incluso para productos de decoración, por ejemplo, en árboles de navidad y cosas similares. Por supuesto estas fibras están construidas de plástico y son de bajo coste, y tienen poco que ver con los cables que se utiliza para datos.

Partes de un cable de fibra óptica

Antes de ver cómo funciona, cree que es importante saber cuáles son las partes que constituyen un cable de fibra óptica que se muestran en la figura 2-9.

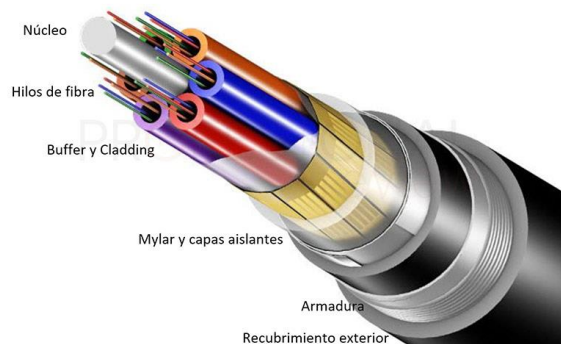


Figura 2-9 Partes de la fibra óptica

- Núcleo: Es el elemento central de un cable de fibra óptica que no siempre está presente. Su función es simplemente la de proporcionar un refuerzo para evitar la rotura y deformación del cable.
- Drenaje de humedad: Este elemento tampoco está presente en todos los cables. Su función es la de conducir posible humedad que tenga el cable para que salga a través de él. Va enrollado en el núcleo.
- Hilos de fibra: es el elemento conductor, por ellos viaja la luz y los datos en ella. Están fabricados de cristal de silicio o plástico de extrema calidad que crean un medio en el que la luz pueda reflejarse y refractarse correctamente hasta llegar al destino.

- Buffer y Cladding (revestimiento): básicamente es el recubrimiento de los hilos de fibra óptica. Consiste en un relleno de gel de capa oscura para evitar que los rayos de luz no se salgan de la fibra. A su vez el buffer es el recubrimiento externo que contiene el gel y la fibra.
- Cinta de Mylar y capas aislantes: básicamente es un recubrimiento aislante que recubre todos los buffers de fibra. En función del tipo de construcción tendrá varios elementos, todos ellos de material dieléctrico (no conductor).
- Recubrimiento ignífugo: si el cable es resistente al fuego, también necesitará un recubrimiento capaz de soportar las llamas.
- Armadura: la siguiente capa se trata de la armadura del cable, que en los de mayor calidad siempre están construida de hilos de Kevlar. Este material es liviano y de gran resistencia e ignífugo, lo puede ver en chalecos antibala y cascos de pilotos.
- Recubrimiento exterior: como cualquier cable, se necesita un recubrimiento exterior, normalmente de plástico o PVC.

Cómo funciona la fibra óptica.

Al ser cables por los que viaja una señal luminosa, el modo de transmisión no se basa en la transferencia de electrones a través de un material conductor. En este caso atiende a los fenómenos físicos de la reflexión y refracción de la luz.

Reflexión: La reflexión de un haz de luz se produce cuando éste incide sobre una superficie de separación de dos medios y se produce el cambio de dirección de la onda que la lleva a tomar una dirección con un ángulo igual al de incidencia. Por ejemplo, si el haz luminoso incide en un ángulo de 90 grados sobre una superficie, este rebotará en dirección contraria, esto es lo que pasa cuando se coloca frente a un espejo como se muestra en la figura 2-10. Si en otro caso el haz de luz incide sobre una superficie con 30 grados, el haz saldrá rebotado con esos mismo 30 grados.

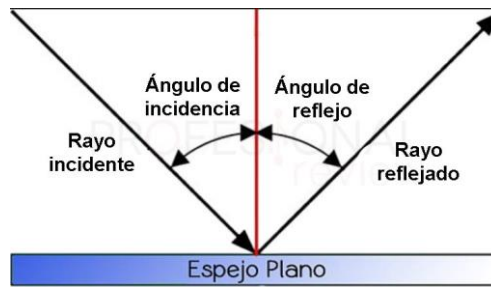


Figura 2-10 Reflexión

Refracción: en este caso es cuando se produce un cambio de dirección y velocidad en una onda al pasar de un medio a otro como se muestra en la figura 2-11. Por ejemplo, es lo que ve cuando la luz pasa del aire al agua, ve la misma imagen, pero en un ángulo diferente.

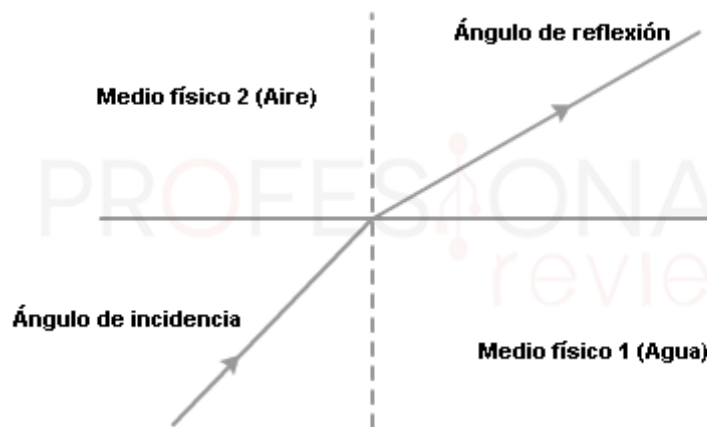


Figura 2-11 Refracción

Mediante estos dos fenómenos, la luz se irá transmitiendo a lo largo de cable de fibra hasta llegar a su destino_[34].

2.13.1. Geometría básica de la transmisión de la Fibra

Respecto a la geometría de la fibra óptica, uno de los parámetros importantes en cuanto al material es el índice de refracción. En el espacio libre una onda de luz tiene una velocidad cuyo valor se aproxima a $c = 3 \cdot 10^8$ [m/s], la velocidad de propagación (v) está relacionada con la frecuencia y la longitud de onda λ como se muestra en la Ecuación 11.

$$c = v \cdot \lambda \quad (11)$$

La onda de luz, cuando logra ingresar a un medio no conductor, su velocidad se corresponde en ese nuevo instante a v , la misma que forma parte de una de las características del material y en valor menor que la velocidad de la luz c . La proporción de la velocidad de la luz en el vacío viene dada por el índice de refracción n del material, y está dado por la Ecuación 12.

$$n = \frac{c}{v} \quad (12)$$

Los valores típicos de n son 1 para el aire; 1,33 para agua y 1,5 para material de vidrio.

Términos como reflexión y refracción, pueden ser comentados de una forma más sencilla en base a la consideración del comportamiento de los distintos haces de energía óptica agrupados con ondas planas que se mueven por un material dieléctrico. Cuando el haz de luz logra encontrar un margen que separa medios distintos, una porción de este es reflejado hacia el primer medio siendo refractada la sobrante que entra en el segundo material. Lo analizado se procede a indicar de forma gráfica en la Figura 2-13.

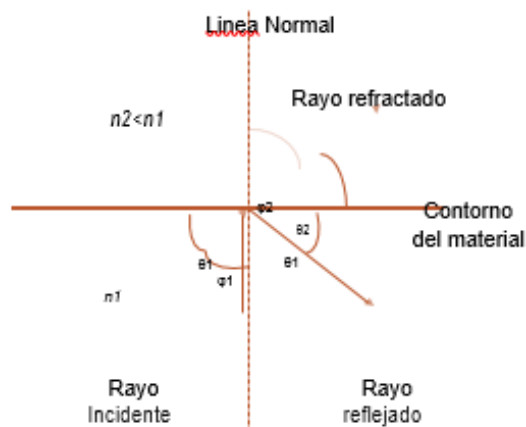


Figura 2-12 Refracción y Reflexión de luz en la frontera de un material.

La refracción de rayos de energía óptica es la derivación de la diferencia de la velocidad de luz en dos distintos materiales, por ende, diferentes índices de refractividad. La relación en la interfaz matemáticamente es conocida como la ley de Snell.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

Se considera el área desde la Av. Víctor Hugo hacia el sur en la ciudad de Ambato, Provincia de Tungurahua-Ecuador con código postal 180201.

Las características socioeconómicas del lugar varían mucho dada la extensión del mismo, existiendo sectores donde hay mayor población y actividad económica con gran movimiento comercial, además en este sitio se encuentra el Mall de Los Andes, varios restaurantes, concesionarias de vehículos y más negocios.

La demografía de la población de Ambato se caracteriza por ser una población joven, ya que el 47,2 por ciento se encuentra dentro del grupo de edad (<1-24 años), según el censo del 2010 [35].

Esta tesis es documental o teórica por lo cual no existe impacto ambiental y en caso de que lo hubiera, se reducirá al mínimo las consecuencias ambientales.

3.2. Equipos y materiales

- Una computadora portátil
- Internet
- Información de la ubicación de red de Fibra Óptica existente en la localidad elegida de la empresa FASTER ISP
- My Maps
- Google Earth
- Matlab
- Algoritmo K-means
- Algoritmo Set-cover

- Algoritmo Dijkstra
- Movimiento Browniano
- Movimiento Browniano Geométrico
- Teorema del límite central

3.3. Tipo de investigación

En esta tesis se realiza mediante una investigación mixta donde existen aspectos correlacionales, analíticos y un enfoque cuantitativo.

3.4. Prueba de Hipótesis - pregunta científica – idea a defender

Con la información de las redes FTTH implementadas en el sector de Ambato sur por la empresa FASTER ISP, se obtiene los parámetros suficientes y necesarios que sirven como variables de ingreso para el modelo matemático, el cual desplegará distintas opciones de optimización de planeación entre las cuales estará la óptima.

Con esta implementación del modelo matemático de optimización mediante programación estocástica multietapa, se logrará optimizar la planeación de las redes FTTH.

3.5. Recolección de información

En la presente tesis se adquiere las direcciones de los clientes de una base de datos de Excel proporcionada por la empresa Faster ISP, la cual la ha validado y depurado para subir los datos a Google Maps. Con los datos obtenidos se crea un mapa en Google My Maps como se muestra en la figura 3-1.

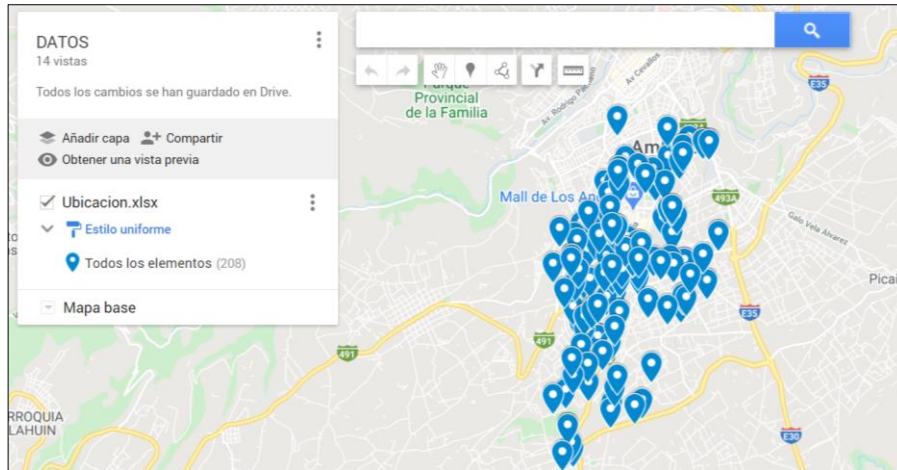


Figura 3-1 Ubicación de los clientes en Google My Maps.

Una vez cargado las direcciones de los clientes y generado el mapa se depura 36 direcciones que estaban erróneas para que se genere el mapa con la base completa de las direcciones de los clientes, luego con las direcciones completas se descarga en formato KMZ para subirlo a Google Earth como se muestra en la figura 3-2.

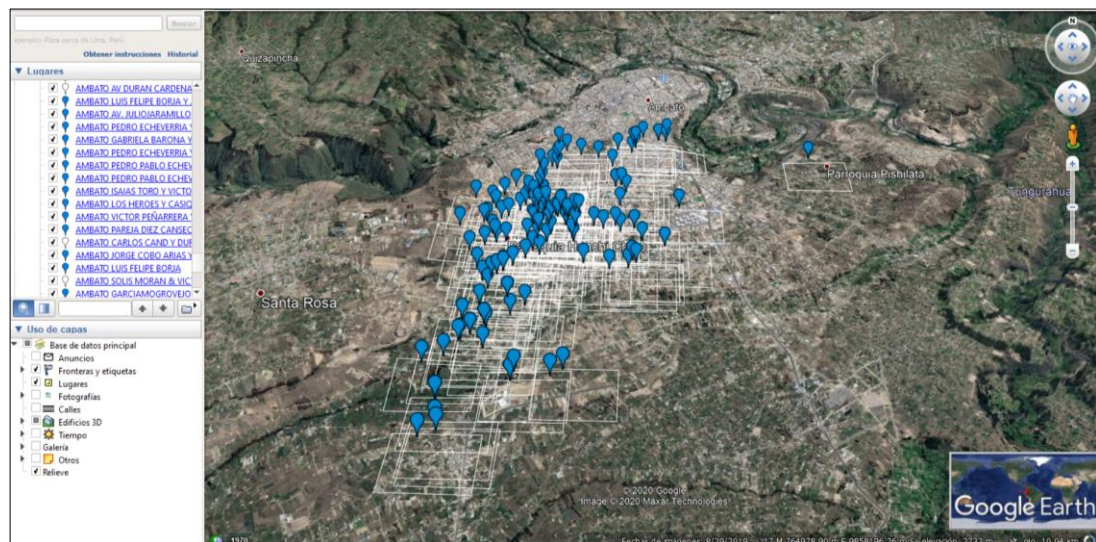


Figura 3-2 Ubicación de los clientes en Google Earth.

En la imagen puede observar las 209 direcciones identificadas con el icono azul las cuales representan la latitud y longitud de cada una de las coordenadas de las direcciones, las cuales son de gran utilidad para colocación de los splitter en toda el área de planificación de la red FFTH.

Con el mapa en Google Earth procede a descargar el archivo en formato KML que contiene 28 columnas con diferente información, etiquetadas desde la A hasta la U de las cuales son de utilidad para este proyecto, la columna S que contienen las coordenadas (latitud y longitud) como se muestra en la figura 3-3.

	Q	R	S
1	ns1:address	ns1:styleUrl5	ns1:coordinates
2			
3			
4			
5			
6			
7	AMBATO CELIANO MONGE Y FRANCISCO FALQUEZ	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6299662,-1.2738998,0
8	AMBATO JACOME CLAVIJO Y MARCOS MONTALVO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
9	AMBATO CELIANO MONGE Y AV. CERVANTES	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6323534,-1.2719983,0
10	AMBATO MARCOS MONTALVO Y JACOME CLAVIJO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
11	AMBATO JACOME CLAVIJO Y MARCOS MONTALVO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
12	AMBATO JACOME CLAVIJO Y MARCOS MONTALVO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
13	AMBATO JACOME CLAVIJO Y MARCOS MONTALVO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
14	AMBATO MANUEL SAMANIEGO Y ANTONIO SALAS	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6340488,-1.2885339,0
15	AMBATO ROMEO CASTILLO Y DOCTOR REMIGIO CRESPO TORAL	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.63362769999999,-1.2707377,0
16	AMBATO CERVANTES Y CELIANO MONGE	#icon-1899-0288D1-nodesc	
17	AMBATO CERVANTES Y JORGE CARRERA	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6366163,-1.2747955,0
18	AMBATO JACOME CLAVIJO Y MARCOS MONTALVO ESQUINA	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
19	AMBATO AV. CERVANTES Y HUMBERTO FIERRO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.63835419999999,-1.2753212,0
20	AMBATO HUMBERTO FIERRO Y AV. CERVANTES	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.63835419999999,-1.2753212,0
21	AMBATO AV JACOME CLAVIJO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.63239159999999,-1.2650892,0
22	AMBATO FALQUEZ AMPUERO Y JESUS CALLE	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.63044049999999,-1.2746174,0
23	AMBATO HERMENEGILDO NOBOA	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6414242,-1.2766403,0
24	AMBATO JACOME CLAVIJO Y MARCOS MONTALVO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
25	AMBATO VICENTE LEON GIL GILBERT	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.63837529999999,-1.295147,0
26	AMBATO JULIO JARAMILLO Y JACOME CLAVIJO	#icon-1899-0288D1-nodesc	
27	AMBATO ANTONIO SALAS Y MANUEL SAMANIEGO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6340488,-1.2885339,0
28	AMBATO JACOME CLAVIJO Y MARCOS MONTALVO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.6319274,-1.2702163,0
29	AMBATO MODESTO PAREDES Y GARCIA MOGROVEJO	#icon-1899-0288D1-nodesc	-78.635773,-1.284823,0

Figura 3-3 Latitud y longitud.

Una vez descargado el archivo se divide la columna S en latitud y longitud para poder utilizarla con los métodos de agrupamiento como el algoritmo K-means y así obtener la ubicación de los splitter.

3.5.1 Métodos de agrupamiento

Los distintos métodos de agrupamiento o clustering constituyen un método de instrucciones para aprender por descubrimiento qué es muy análogo a la inducción, Los métodos de agrupamiento no suministran datos sino más bien construyen un programa que debe descubrirlos.

Las distintas observaciones que se pueden realizar tienden a juntarse en una zona de patrones que tienen cierta cercanía a la moda entonces los denominados procesos de agrupamiento tratan de analizar grupos de muestras adquiridas de cierto proceso de muestreo a través del cual se genera cierta directriz de los patrones que puedan

agruparse. Estas metodologías permiten reconocer y analizar una categorización adjudicando cada dato observado a un grupo generado denominado clúster manteniendo al objetivo que es de que cada grupo generado sea lo más parecido y diferenciable, entonces los clusters que se obtienen de un análisis por similitud reflejan un informe favorable el momento de poder generar índices de clasificación.

3.6. Procesamiento de la información y análisis estadístico:

La información recopilada en el literal anterior se procesa utilizando algoritmos que se aplican a problemas cotidianos y que necesitan de una simulación, hacen uso de heurísticas que sirven como técnica para resolver problemas complejos de optimización como: la planeación del despliegue de una red FTTH que se realiza en esta tesis. Para lo cual se utiliza los algoritmos que se detallan a continuación.

3.6.1. Algoritmos utilizados

3.6.1.1. Utilización del Algoritmo K-means

Una vez se comprende el funcionamiento del algoritmo K-means en el literal anterior va a aplicarlo en este proyecto para obtener la longitud y latitud exacta de la ubicación de los splitter basados en las coordenadas obtenidas en el literal 3.6.

Para obtener la ubicación de cada uno de los splitter programa el algoritmo K-means (anexo 1) en Matlab el mismo que dará la ubicación de 27 splitter que en este caso es la variable K correspondiente a cada uno de los cluster como se muestra en la figura 3-4.

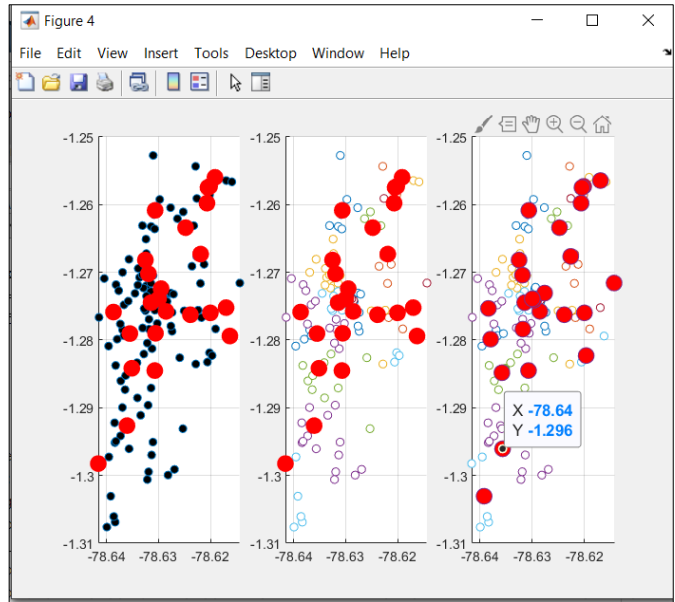


Figura 3-4 Ubicación de los splitter - Matlab.

Como se evidencia en la figura anterior se logra la ubicación de los 27 splitter donde cada uno dará servicio a 8 usuarios teniendo un total de 216 y los clientes son 209 con lo cual ha logrado cubrir la demanda de nuestra red FTTH.

Tabla 3-1. DISTRIBUCIÓN DE LOS SPLITTER CON K-MEANS

# Splitter	# usuarios	# Splitter	# usuarios
1	6	15	11
2	4	16	3
3	2	17	11
4	9	18	4
5	19	19	4
6	7	20	4
7	6	21	16
8	6	22	19
9	11	23	8
10	6	24	7
11	4	25	10
12	8	26	6
13	5	27	7
14	6	TOTAL	209

Encontrada la ubicación de los splitter genera la latitud y la longitud en un archivo de Excel para subir a Google My Maps y tener el mapa de las ubicaciones como se muestra en la figura 3-5.

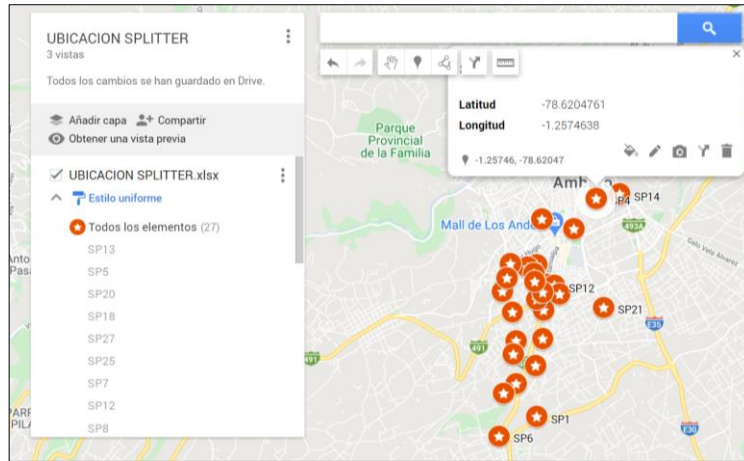


Figura 3-5 Ubicación de los splitter.- My Maps

3.6.1.2. Utilización Algoritmo Set-cover

En este proyecto el problema del set cover se incorpora gráficamente a través de la utilización de un mapa, que representa el universo y en este caso las coordenadas de las direcciones de los clientes y las regiones que representan los conjuntos como se aprecia en la figura 3-6.

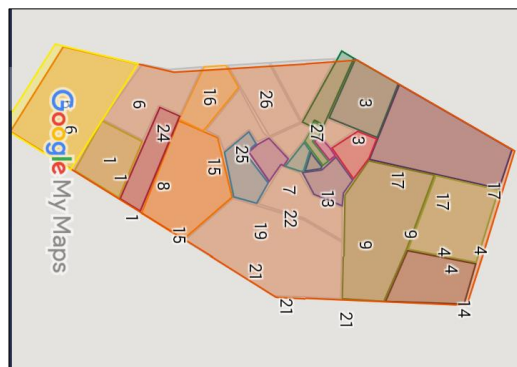


Figura 3-6 Representación del problema Set-cover dividido en áreas

El universo lo define como un conjunto de áreas del tipo $\{1,2,\dots,27\}$. Entonces como se puede observar en la figura 3-7 se considera que el subuniverso formado por una familia de subconjuntos S del universo K , tomando en cuenta que para este estudio se puede decir que el área de cobertura de un splitter de fibra óptica será una derivación de S que será C (cobertura) donde $C \subseteq S$, en este caso los datos son los siguientes:

Universo: $K = \{1, 2, 3, \dots, 27\}$

Conjunto $S = \{(1); (2); (3, 11); (4); (5); (6); (7); (8); (9); (10); (11, 3); (12); (13); (14); (15); (16, 19); (17); (18, 2, 20); (19, 7, 15, 16); (20, 18); (21); (22); (23); (24); (25); (26); (27)\}$

Entonces la unión de los subconjuntos S tiene a todas las áreas de K , pero se podría cubrir a todos los elementos con los conjuntos : $S = \{(1); (3, 11); (4); (5); (6); (8); (9); (10); (12); (13); (14); (17); (18, 2, 20); (19, 7, 15, 16); (21); (22); (23); (24); (25); (26); (27)\}$

Con los datos obtenidos puede plantear matemáticamente condiciones con el fin de poder un modelo matemático mediante una técnica de optimización, realizando un planteamiento con ciertas condiciones de restricciones, una función objetivo y el dominio para el problema donde puede indicar que:

Dominio: $X_i = \{1$ que corresponde a una habilitación de un área cubierta por servicio o el valor de 0 que corresponde a la no instalación dentro de la región}

Función: $\text{Min } \sum_{i=1}^{27} x_i$

$x_1 \geq 1$	$x_{10} \geq 1$	$x_{21} \geq 1$
$x_3 + x_{11} \geq 1$	$x_{12} \geq 1$	$x_{22} \geq 1$
$x_4 \geq 1$	$x_{13} \geq 1$	$x_{23} \geq 1$
$x_5 \geq 1$	$x_{14} \geq 1$	$x_{24} \geq 1$
$x_6 \geq 1$	$x_{17} \geq 1$	$x_{25} \geq 1$
$x_8 \geq 1$	$x_{18} + x_2 + x_{20} \geq 1$	$x_{26} \geq 1$
$x_9 \geq 1$	$x_{19} + x_7 + x_{15} + x_{16} \geq 1$	$x_{27} \geq 1$

Entonces plantea para este problema de cobertura:

La matriz: $A = (a_{ij})$ de 27 filas y 27 columnas que se muestra en la figura 3-7, es una matriz del número de área y ceros conocida como matriz dispersa.

		AREAS																										
SPUTER		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	15	16	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27

Figura 3-7 Matriz dispersa Set-cover

Se asume que la columna j cubre a una fila i si $a_{ij} \neq 0$

Filas $I = \{1 \text{ hasta } 27\}$ y columnas $J = \{1 \text{ hasta } 27\}$

El problema de set-cover requiere como datos un subconjunto de costo $\text{Min } S \subseteq I$, de modo que cada fila $i \in I$, es cubierta por una columna $j \in S$. El modelo matemático para la Función Objetivo de este caso de ejemplo sería la presentada en Ecuación 13

$$v(\text{Set Cover Problem}) = \sum_{j \in J} x_j \quad (13)$$

que está restringido a la Ecuación 8

$$\sum_{j \in J} a_{ij} x_j \geq 1; \forall i \in I, x_j \in \{0,1\}; \forall j \in J \quad (14)$$

Donde $x_j \neq 0$ si $j \in S$, y $x_j = 0$ para otros casos.

Entonces en este caso encuentra la solución en un arreglo binario, mediante la ejecución del algoritmo Set-cover implementado en Matlab y aplicando a la matriz dispersa encontrada anteriormente.

Vector solución obtenido en Matlab como se muestra en la figura 3-8.

```

Command Window
1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1
Columns 19 through 27
1 0 1 1 1 1 1 1 1

```

Figura 3-8 Vector solución Set-cover

3.6.1.3. Utilización del Algoritmo Dijkstra

Mediante el uso de este algoritmo y con la ubicación de los splitter que se encontró anteriormente va a trazar las rutas más cortas para el óptimo tendido de fibra óptica, eligiendo el camino de menor longitud (metros) entre cada uno de los vértices (divisores ópticos).

Al ejecutar este algoritmo devuelve solo la longitud mínima encontrada dentro de la red, mediante este valor obtiene de forma eficiente y rápida el camino más corto.

Este algoritmo permite ir censando todos los caminos más cortos encontrados, parten desde el vértice SP1(OLT) que es el inicio a los demás vértices que forman la red de fibra óptica FTTH.

Para ejecutar este algoritmo sigue el procedimiento descrito en el literal 3.6.4. y obtiene los siguientes resultados.

Conjunto de vértices lo representa como:

```

names={'SP1','SP2','SP3','SP4','SP5','SP6','SP7','SP8','SP9','SP10','SP11','SP12','SP13',
'SP14','SP15','SP16','SP17','SP18','SP19','SP20','SP21','SP22','SP23','SP24','SP25','SP
26','SP27'};

```

El conjunto matriz de pesos (longitud en metros) lo representa por:

```

w = [223 1012 1036 277 552 500 415 638 1009 1073 893 740 222 331 242 257 340
370 1033 613 452 195 306 620 814 750 752 1004 389 807 928 858 748 335 1042
1005];

```

Considera a SP1 como vértice inicial.

En este caso en la figura 3-9, tiene una representación en grafo con los splitter y longitudes de enlaces entre splitters.

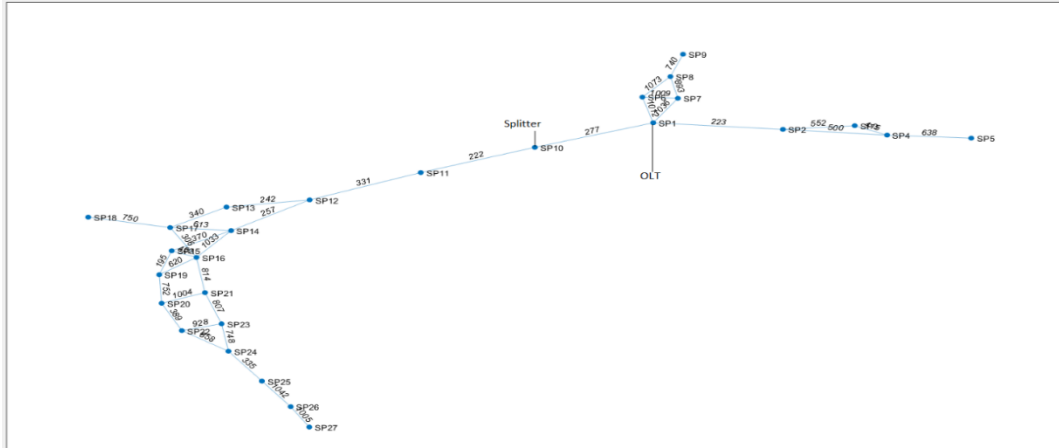


Figura 3-9 Gráfico para la aplicación del algoritmo dijkstra

Después que se termina de ejecutar el algoritmo, los valores de la tabla generada vectorialmente media filas y columnas, está completa como se muestra continuación en la tabla 3-2.

Tabla 3-2. VALORES DE MATRIZ SOLUCIÓN ALGORITMO DIJKSTRA

	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6	SP7	SP8	SP9	SP10	SP11	SP12	SP13	SP14	SP15	SP16	SP17	SP18	SP19	SP20	SP21	SP22	SP23	SP24	SP25	SP26	SP27
SP1	0	223	775	723	1361	1012	1036	1929	2669	277	499	830	1072	1087	1282	1539	1412	2445	1902	2654	2289	3043	3096	3791	4126	5168	6173
SP2	223	0	552	500	1138	1235	1259	2152	2892	500	722	1053	1295	1310	1505	1762	1635	2668	2125	2877	2512	3266	3319	4014	4349	5391	6396
SP3	775	552	0	415	1053	1787	1811	2704	3444	1052	1274	1605	1847	1862	2057	2314	2187	3220	2677	3429	3064	3818	3871	4566	4901	5943	6948
SP4	723	500	415	0	638	1735	1759	2652	3392	1000	1222	1553	1795	1810	2005	2262	2135	3168	2625	3377	3012	3766	3819	4514	4849	5891	6896
SP5	1361	1138	1053	638	0	2373	2397	3290	4030	1638	1860	2191	2433	2448	2643	2900	2773	3806	3263	4015	3650	4404	4457	5152	5487	6529	7534
SP6	1012	1235	1787	1735	2373	0	1009	1073	1813	1289	1511	1842	2084	2099	2294	2551	2424	3457	2914	3666	3301	4055	4108	4803	5138	6180	7185
SP7	1036	1259	1811	1759	2397	1009	0	893	1633	1313	1535	1866	2108	2123	2318	2575	2448	3481	2938	3690	3325	4079	4132	4827	5162	6204	7209
SP8	1929	2152	2704	2652	3290	1073	893	0	740	2206	2428	2759	3001	3016	3211	3468	3341	4374	3831	4583	4218	4972	5025	5720	6055	7097	8102
SP9	2669	2892	3444	3392	4030	1813	1633	740	0	2946	3168	3499	3741	3756	3951	4208	4081	5114	4571	5323	4958	5712	5765	6460	6795	7837	8842
SP10	277	500	1052	1000	1638	1289	1313	2206	2946	0	222	553	795	810	1005	1262	1135	2168	1625	2377	2012	2766	2819	3514	3849	4891	5896
SP11	499	722	1274	1222	1860	1511	1535	2428	3168	222	0	331	573	588	783	1040	913	1946	1403	2155	1790	2544	2597	3292	3627	4669	5674
SP12	830	1053	1605	1553	2191	1842	1866	2759	3499	553	331	0	242	257	452	709	582	1615	1072	1824	1459	2213	2266	2961	3296	4338	5343
SP13	1072	1295	1847	1795	2433	2084	2108	3001	3741	795	573	242	0	499	694	951	340	1373	1314	2066	1701	2455	2508	3203	3538	4580	5585
SP14	1087	1310	1862	1810	2448	2099	2123	3016	3756	810	588	257	499	0	195	452	370	1403	815	1567	1202	1956	2009	2704	3039	4081	5086
SP15	1282	1505	2057	2005	2643	2294	2318	3211	3951	1005	783	452	694	195	0	306	565	1598	620	1372	1056	1761	1863	2509	2844	3886	4891
SP16	1539	1762	2314	2262	2900	2551	2575	3468	4208	1262	1040	709	951	452	306	0	613	1646	814	1566	750	1955	1557	2415	2750	3792	4797
SP17	1412	1635	2187	2135	2773	2424	2448	3341	4081	1135	913	582	340	370	565	613	0	1033	1185	1937	1363	2326	2170	3028	3363	4405	5410
SP18	2445	2668	3220	3168	3806	3457	3481	4374	5114	2168	1946	1615	1373	1403	1598	1646	1033	0	2218	2970	2396	3359	3203	4061	4396	5438	6443
SP19	1902	2125	2677	2625	3263	2914	2938	3831	4571	1625	1403	1072	1314	815	620	814	1185	2218	0	752	1564	1141	2069	1889	2224	3266	4271
SP20	2654	2877	3429	3377	4015	3666	3690	4583	5323	2377	2155	1824	2066	1567	1372	1566	1937	2970	752	0	1004	389	1317	1137	1472	2514	3519
SP21	2289	2512	3064	3012	3650	3301	3325	4218	4958	2012	1790	1459	1701	1202	1056	750	1363	2396	1564	1004	0	1393	807	1665	2000	3042	4047
SP22	3043	3266	3818	3766	4404	4055	4079	4972	5712	2766	2544	2213	2455	1956	1761	1955	2326	3359	1141	389	1393	0	928	748	1083	2125	3130
SP23	3096	3319	3871	3819	4457	4108	4132	5025	5765	2819	2597	2266	2508	2009	1863	1557	2170	3203	2069	1317	807	928	0	858	1193	2235	3240
SP24	3791	4014	4566	4514	5152	4803	4827	5720	6460	3514	3292	2961	3203	2704	2509	2415	3028	4061	1889	1137	1665	748	858	0	335	1377	2382
SP25	4126	4349	4901	4849	5487	5138	5162	6055	6795	3849	3627	3296	3538	3039	2844	2750	3363	4396	2224	1472	2000	1083	1193	335	0	1042	2047
SP26	5168	5391	5943	5891	6529	6180	6204	7097	7837	4891	4669	4338	4580	4081	3886	3792	4405	5438	3266	2514	3042	2125	2235	1377	1042	0	1005
SP27	6173	6396	6948	6896	7534	7185	7209	8102	8842	5896	5674	5343	5585	5086	4891	4797	5410	6443	4271	3519	4047	3130	3240	2382	2047	1005	0

Al finalizar el algoritmo se obtiene la matriz de valores enteros, donde se tiene la distancia de menor longitud de enlace de fibra óptica hacia cada splitter, representándose la solución del camino más corto de forma gráfica como se muestra en la figura 3-10.

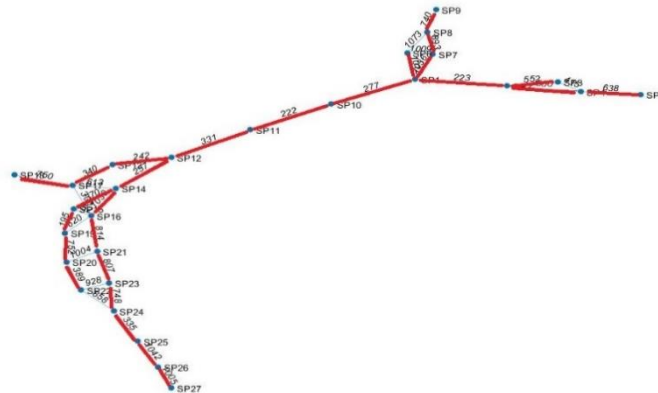


Figura 3-10 Gráfico de n-esima iteración del algoritmo Dijkstra para determinar las distancias mínimas.

3.6.1.4. Aplicación del Movimiento Browniano o Proceso de Wiener

Luego de entender los procesos estocásticos se utiliza el Movimiento Browniano utiliza para modelar el comportamiento de cuentas del servicio de internet fijo a lo largo del tiempo. Aplicando el movimiento Browniano Geométrico por ser un proceso estocástico, continuo en el tiempo.

Matemáticamente esto se contextualiza de la siguiente manera:

$$S_t = S_0 \exp\left(\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W_t\right) \quad (15)$$

Para generar distintos escenarios que siguen un modelo Browniano Geométrico se considera los parámetros anuales obtenidos de ARCOTEL durante 10 años atrás al 2019, para realizar una simulación de 3 años:

$\mu = 1.6$
 $\sigma = 0.30$
 $t = 1/3$
 npaths=100

```
nsteps=3
```

```
S0 = 209
```

Puede obtener el Movimiento Browniano W partir de 0 y utilizarlo para obtener el GBM a partir de S₀.

```
epsilon = randn(nsteps, npaths);
```

```
W = [zeros(1,npaths); sqrt(dt)*cumsum(epsilon)];
```

```
Movimiento Browniano Geométrico
```

```
t = (0:nsteps)*dt;
```

```
Y = bsxfun(@plus, (mu-0.5*sigma.^2)*t, sigma*W);
```

```
Y = S0*exp(Y);
```

```
plot(Y)
```

```
grid on
```

Con los datos anteriores se presenta los siguientes escenarios como se muestra en la figura 3-11

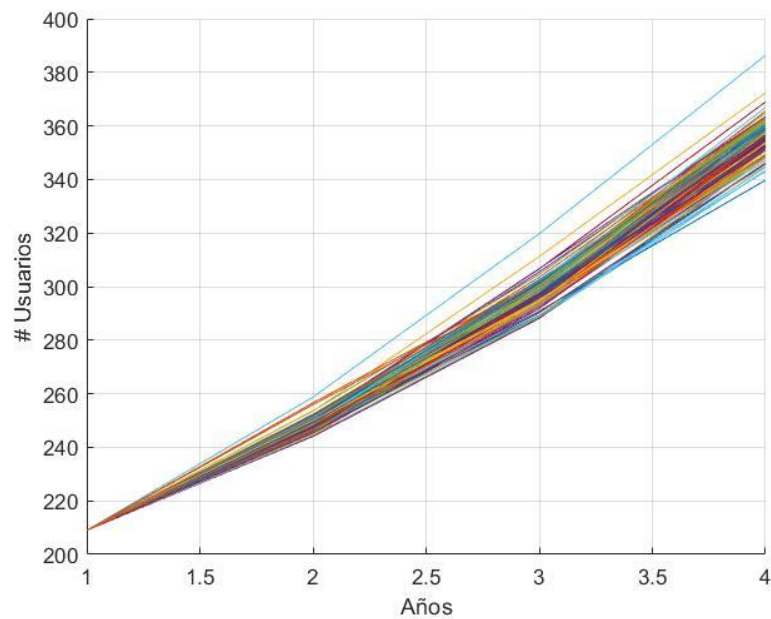


Figura 3-11 Escenarios de proyección de usuarios vs años

3.6.1.5. Reducción de escenarios

A los elementos del literal anterior media y desviación estándar incluye la volatilidad que hace que el modelo sea no determinista y más bien se inserta lo que se conoce como incertidumbre. Se procede a levantar un intervalo de confianza utilizando el teorema del límite central donde se genera un límite superior, un límite inferior y la media, con un 95% de confianza para un nivel de significación del 5% la normal es 1.96.

Estos datos generados serán los valores de entrada para el modelo de optimización considerando que uno de los aportes de esta tesis ha sido generar los escenarios aplicados al despliegue de redes FTTH con una demanda establecida dando como resultado la figura 3-12.

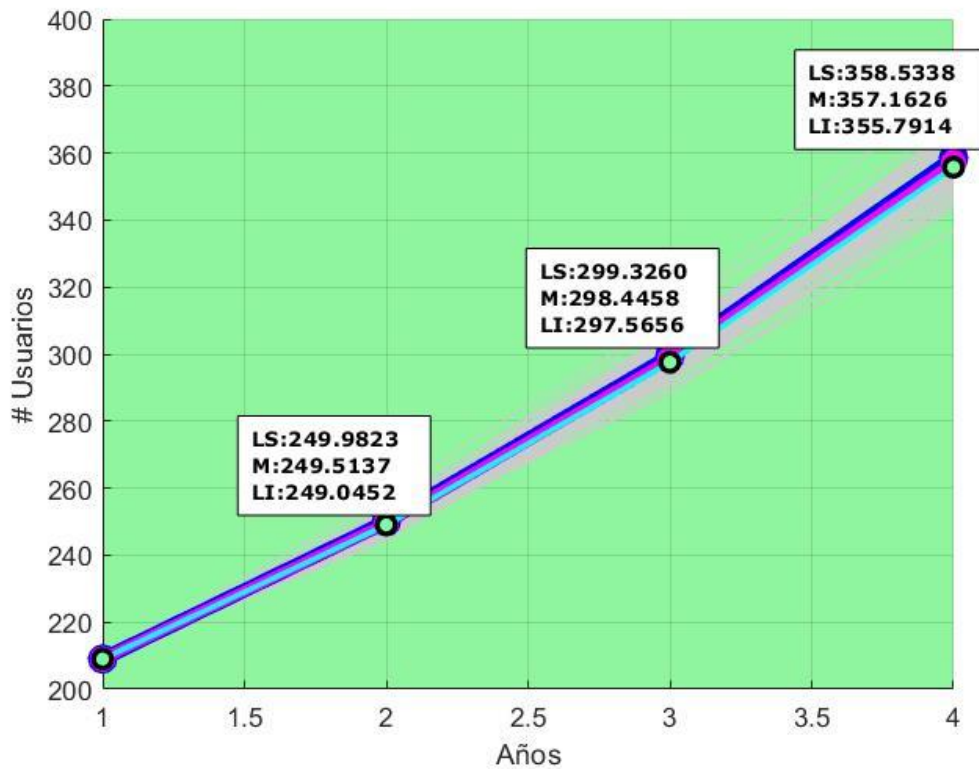


Figura 3-12 Proyección de usuarios por año

3.6.2. Modelo Matemático

Para definir las variables se utiliza la infraestructura existente de posteria y canalización de forma que se pueda minimizar los costos de inversión de la empresa FASTER ISP. Lo que se pretende con el modelo es buscar la minimización de los costos del despliegue de la red FTTH del operados de telecomunicación en caso FASTER ISP, que facilite la escalabilidad horizontal dentro del área de estudio plasmada en la figura 3-6.

Se plantea la aplicación de un problema de incertidumbre debido a la demanda proyectada que crece según los años horizonte del incremento de las cuentas de servicio de internet fijo y considerando un proceso de programación estocástica multietapa como un problema de complejidad NP-Hard [1].

Basados en el crecimiento de usuarios en la zona de análisis del cantón Ambato, el modelo matemático de optimización es considerado para la planificación no empírica del posible despliegue de una red FTTH, debidamente bien estructurada, planificada y escalable en tiempo y espacio de forma automatizada. Este planteamiento le permitiría a la empresa FASTER ISP minimizar los costos de inversión con un mínimo riesgo, sin desperdicio ni subutilización de recursos y manteniendo la calidad de servicio exigida por el ente de regulación y control estatal.

Entonces se inicia el planteamiento de variables considerando determinar en un instante de tiempo dentro de los 10 años el incremento de las cuentas de servicio de internet fijo, por ejemplo, el crecimiento estocástico de los usuarios, en este instante de tiempo estarán también involucrados varios recursos de la red de acceso GPON. Esta consideración es importante dentro del análisis, puesto que la demanda se debe plantear como una tasa de crecimiento que depende del número de usuarios por periodo, es decir esta población son posibles usuarios que se verán beneficiados por los servicios soportados en el desarrollo de la red de acceso GPON.

Cuando esta tasa de crecimiento pasa de un tiempo t_c hacia un t_{c+1} en donde por diferentes cambios y/o variaciones, por ejemplo nivel de ingresos en el usuario final u otras circunstancias relativas al potencial cliente, que influya en un cambio de la demanda proyectada creando un posible nivel de incertidumbre para la toma de decisiones empresariales, es pertinente crear y aplicar un modelo matemático de optimización de red FTTH que genere escenarios para poder medir los riesgos y beneficios con el propósito de realizar un despliegue óptimo de una red FTTH.

3.6.2.1. Variables de salida

Con el modelo de optimización se busca determinar la mejor manera de planear una red de acceso FTTH a desplegarse considerando el tratamiento de un alto grado de incertidumbre. Las salidas obtenidas de los diferentes escenarios permitirán determinar puntos importantes, llamados de quiebre para toma de decisiones, donde nuevas actualizaciones se irán presentado en la red para cada nodo.

También es importante indicar que los datos de salida son dinámicos, puede realizarse una re-planeación desde el año o periodo posterior al de inicio, es decir año 2, 3 etc.

Entonces los datos de salida para toma de decisiones serán:

- a. Puntos de quiebre o de análisis de los periodos planteados para el proyecto vs. usuarios proyectados.
- b. Determinación de los mejores sitios activos donde se ubicaría un Splitter.
- c. Determinación de los usuarios cubiertos por cada uno de los Splitters respetando el criterio de capacidad máxima de los mismos. (8 puertos por Splitter como máximo).
- d. Obtener cuál de los escenarios MSPT es el más factible en base al análisis de toma de decisiones.

3.6.2.2. Restricciones Generales

Los valores de contorno a establecerse en el modelo a ser aplicado en la empresa están relacionados con:

Variables	Descripción
CC	Capacidad constructiva splitter por año
CS	Cantidad de clientes soportada por splitter
A	Área de cobertura para última milla(m)
NST	Número splitter totales
NSA	Número splitter actuales
NSP	Número splitter proyectados

$$CC \leq 8$$

$$CS \leq 8$$

$$A \leq 2000$$

$$NST = NSA + NSP$$

3.6.2.3. Variables de entrada

Los datos de entrada del modelo de optimización que será planteado, se generarán de una proyección Estocástica Multietapa con los datos disponibles de demanda ver Figura 3-12, para lo cual se ha elegido el método estocástico Movimiento Browniano Geométrico que permite programar en base a esta demanda, donde la principal consideración es el grado de incertidumbre cuya reducción de escenarios representa realidades con poca o excesiva demanda, tomando en cuenta que desde el primer periodo horizonte se deben considerar alternativas con niveles de incertidumbre.

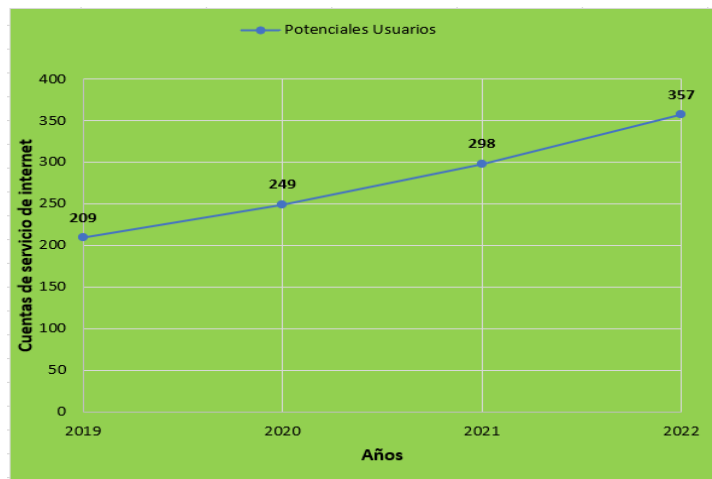


Figura 3-13 Potenciales usuarios en 3 años

El modelo buscará acoplarse a la realidad del área de estudio que se genera al instalar una red FTTH previamente representada en su forma física iniciando en un periodo cero e ir probando diferentes datos candidatos de instalación de splitters conforme se incrementa la demanda, buscando la ubicación idónea para los equipos. Los periodos o etapas de tiempo considerados para el modelo son 3.

Se continua con la obtención de información de cada nodo n , del proceso de generación estocástica multietapa, que se debe tener en cuenta para el Modelo de Optimización. En cada intervalo de los periodos del proyecto al aplicar MSPT, se debe considerar que se pasa de un estado con ciertas condiciones a otro $s \rightarrow s'$ [36], y considerando que este cambio de estado debe estar condicionado según la probabilidad siguiente: $\mathbb{F}_r(s'|s, c)$

En el que c , representa posibles acciones que pueden reflejarse en el despliegue de la red considerada en cada nodo del árbol de proyección estocastica, expresado como:

$$D\{d(n1), d(n2), \dots \dots \dots, d(nk)\} \quad (14)$$

Que tendrían que devolver los beneficios que se esperan, considerando que estos representan también una medida de riesgo e incertidumbre que se presentan en la planeación de un proyecto que involucre toma de decisiones. Adicionalmente se debe considerar que el despliegue en cada nodo generado por el árbol de proyección estocástico, devolverán luego de la aplicación del modelo, cuantos splitters se necesitan por cada período de tiempo y la posible red de distribución.

3.6.3. Obtención de la Función Objetivo

A continuación, se procede a plantear los elementos de que sirven para la definición de la función Objetivo [1].

Conjuntos

$V \rightarrow$ Conjunto de vértices

$L \rightarrow$ Conjunto de enlaces (links)

$A \subseteq \mathfrak{R}^3 \rightarrow$ Área de planificación

$\mathbb{C} \in Z \rightarrow$ Conjunto de cobertura

Escenario de árbol

$\mathbb{N} \rightarrow$ Conjunto de nodos en el escenario de simulación realizado con MSPT

$p(n) \in \mathbb{N} \rightarrow$ Nodo padre de n en MSPT

$P(n) \in (0,1)$ Probabilidad en el nodo n

Parámetros y coeficientes

$N_d \in \mathbb{N} \rightarrow$ Límite de distribución por splitter

$K^n \in Z \rightarrow$ Límite de construcción por periodo de tiempo en el nodo n

$\alpha^n \in [0,1] \rightarrow$ Valor requerido como parámetros para el requerimiento de cobertura

$C_{o_i}^{OLT,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo capital para la OLT i en el nodo n

$C_{o_i}^{MT,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo capital manga porta splitter i en el nodo n

$C_i^{MT,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo por metro de fibra (48 hilos)

$D_{p,q}^{MT} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Conjunto de distancias de los enlaces $p \rightarrow q$ hacia la manga troncal

$C_i^{sec,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo por metro de fibra (12 hilos)

$D_{p,q}^{sec} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Conjunto de distancias de los enlaces $p \rightarrow q$ hacia los distritos

$C_{o_i}^{SP,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo splitter (1:8)

$C_i^{NAP,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo por metro de fibra (2 hilos)

$D_{p,q}^{NAP} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Conjunto de distancias de los enlaces $p \rightarrow q$ hacia las Naps

$C_i^{ONT,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo por metro de fibra (2 hilos)

$D_{p,q}^{ONT} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Conjunto de distancias de los enlaces $p \rightarrow q$ hacia los usuarios

$C_{p,q}^{usu,n} \in \mathfrak{R}_{\geq 0} \rightarrow$ Costo capital para la ONT i en el nodo n

Variables de decisión

$Y_i^{OLT,n} \in [0,1] \rightarrow$ OLT i activo

$Z_{p,q}^{MT} \in [0,1] \rightarrow$ Enlace $p \rightarrow q$ está activo de manga troncal

$Z_{p,q}^{sec} \in [0,1] \rightarrow$ Enlace $p \rightarrow q$ está activo del distrito

$\mathbb{Z}_{p,q}^{NAP} \in [0,1] \rightarrow$ Enlace $p \rightarrow q$ está activo de las Naps

$\mathbb{Z}_{p,q}^{ONT} \in [0,1] \rightarrow$ Enlace $p \rightarrow q$ está activo de la ONT

$\mathbb{Z}_{p,q}^{usu} \in [0,1] \rightarrow$ Enlace $p \rightarrow q$ está activo del usuario

$XS_i^n \in [0,1] \rightarrow$ Usuario i activo

$C^n \in [0,1] \rightarrow$ Cumplimiento de cobertura en el nodo n

Función objetivo

$$\begin{aligned} \min.: & \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{OLT,n} Y_i^{OLT,n} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{MT,n} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{MT,n} D_{p,q}^{MT} \mathbb{Z}_{p,q}^{MT} + \\ & \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{sec,n} D_{p,q}^{sec} \mathbb{Z}_{p,q}^{sec} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{SP,n} \mathbb{Z}_{p,q}^{sec} + \\ & \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{NAP,n} D_{p,q}^{NAP} \mathbb{Z}_{p,q}^{NAP} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{SP,n} \mathbb{Z}_{p,q}^{NAP} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{ONT,n} D_{p,q}^{ONT} \mathbb{Z}_{p,q}^{ONT} + \\ & \sum_{i \in \mathbb{C}} C_{p,q}^{usu,n} X S_i^n \end{aligned} \quad (16)$$

Esta función objetivo como se plantea en [1], se puede también plantear para este caso de estudio aplicado a FTTH, entonces se considera que los enlaces de fibra óptica que son seleccionados de un grafo $G(V,L)$ encontrados a partir de las direcciones de las cuentas de los usuarios proporcionado por la empresa, pertenecientes al área de cobertura denotada por A , si un enlace se activa para el estado s perteneciente al nodo n del MSTP, la variable $\mathbb{Z}_{p,q}^{ONT}$ estará en 1, o por el contrario adquiere el valor de 0.

Entonces todos los enlaces que fueron seleccionados pasan a formar parte de la red de árbol de escenarios, cuyos intercambio de datos bidireccionales, se realizan entre las ONTS y la OLT.

Necesita adicionalmente analizar la ubicación de los equipos pasivos, considerando que para este caso se ha planteado un rango de cobertura de distancia práctico de 2000 metros, y considerando que el costo de inversión es alto en recursos para el despliegue de la red, al igual que lo correspondiente a trabajos como sangrados, fusiones, habilitaciones, instalación, etc, que corresponden al CAPEX del despliegue de red.

Esto como fuente de entrevista realizada a personal técnico de la empresa Faster ISP. Esta técnica es considerada como un problema No Trivial. Por lo tanto, si un enlace

$Z_{p,q}^{ONT}$ de fibra óptica es seleccionado en un nodo padre $p(n)$ en la proyección de escenarios se mantiene en este estado hasta que cambia de un tiempo $t_c \rightarrow t_{c+1}$. El modelo MILP buscará entonces poder lograr la mínima inversión inicial que todo operador busca durante el despliegue de la red FTTH, expresado mediante la Función Objetivo planteada (Ec. 16), elementos de los cuales se describen en los términos siguientes para un mayor entendimiento:

$\sum_{i \in C} C o_i^{OLT,n} Y_i^{OLT,n} \rightarrow$ Costo de inversión por cada OLT.

$\sum_{i \in C} C o_i^{MT,n} \rightarrow$ Costo de inversión por cada manga troncal.

$\sum_{i \in C} C_i^{MT,n} D_{p,q}^{MT} Z_{p,q}^{MT} \rightarrow$ Costo por metro de fibra óptica que contiene el enlace o enlaces activos en cada manga troncal.

$\sum_{i \in C} C_i^{sec,n} D_{p,q}^{sec} Z_{p,q}^{sec} \rightarrow$ Costo por metro de fibra óptica que contiene el enlace o enlaces activos en la red secundaria.

$\sum_{i \in C} C o_i^{SP,n} Z_{p,q}^{sec} \rightarrow$ Costo de inversión por cada splitter en la red secundaria.

$\sum_{i \in C} C_i^{NAP,n} D_{p,q}^{NAP} Z_{p,q}^{NAP} \rightarrow$ Costo por metro de fibra óptica que contiene el enlace o enlaces activos en la NAP.

$\sum_{i \in C} C o_i^{SP,n} Z_{p,q}^{NAP} \rightarrow$ Costo de inversión por cada splitter en la NAP.

$\sum_{i \in C} C_i^{ONT,n} D_{p,q}^{ONT} Z_{p,q}^{ONT} \rightarrow$ Costo por metro de fibra óptica que contiene el enlace o enlaces activos en la ONT.

$\sum_{i \in C} C_{p,q}^{usu,n} X S_i^n \rightarrow$ Costo de inversión por cada usuario.

3.6.3.1 Restricciones de la función objetivo

1. Para garantizar la cobertura y el servicio a cada usuario se define la siguiente restricción:

$$Nd \sum_{i \in C} Y_i^n \geq \sum_{j \in C} X S_j^n \rightarrow \forall n \in \mathbb{N}$$

2. Con las siguientes restricciones se evita que los splitter y enlaces de fibra óptica no sean destruidos de los nodos padre hacia los nodos hijos en el MSPT. El nodo padre inicial en el MSPT se representa mediante las variables $Y_i^{p(n)} = 0 \wedge Z_{p,q}^{p(n)} = 0$

$$Y_i^n \geq Y_i^{p(n)} \rightarrow \forall n \in \mathbb{N}, i \in C$$

$$\mathbb{Z}_{p,q}^n \geq \mathbb{Z}_{p,q}^{p(n)} \rightarrow \forall n \in \mathbb{N}, (p, q) \in L$$

3. En esta restricción se limita el número de equipos pasivos divisores que pueden adicionarse a las ya existentes desde el nodo padre.

$$\sum_{i \in C} (Y_i^n - Y_i^{p(n)}) \leq K^n \rightarrow \forall n \in \mathbb{N}$$

4. Esta restricción debe controlar la cobertura por parte de los equipos pasivos del problema MILP.

$$\sum_{j \in A} Xs_j^n \geq \alpha^n |A| C^n$$

5. En esta restricción se asegura una sola ruta que cursa tráfico desde los m equipos ONT hacia las OLT a través de un enlace de fibra con la mínima distancia.

$$\sum_{q|(p,q) \in L_p^{out}} \mathbb{Z}_{p,q}^{n,m} - \sum_{q|(p,q) \in L_p^{in}} \mathbb{Z}_{q,p}^{n,m} = \mathbb{R}_{p,i} Y_i^n \text{ donde}$$

$$\mathbb{R}_{p,i} = \begin{cases} 1, si \rightarrow i = OLT \\ -1, si \rightarrow i = m \\ 0, si \rightarrow i \neq OLT \wedge i \neq m \end{cases}$$

6. Esta restricción hace que se cumpla que los enlaces activos se correspondan con cada uno de los m flujos.

$$\sum_{m \in F} \mathbb{Z}_{p,q}^{n,m} \leq M \mathbb{Z}_{p,q}^{n,m} \rightarrow \forall n \in \mathbb{N}, (p, q) \in L$$

3.7. Variables respuesta o resultados alcanzados

Se utiliza la metodología de investigación cuantitativa para realizar una comparación entre el esquema determinista y el modelo estocástico para verificar el crecimiento de la demanda y encontrar las variables y los resultados esperados.

3.7.1. Aplicación del modelo de optimización MILP (Programación lineal entera mixta)

En este caso de aplicación y generación de la función objetivo se realiza con un enfoque MILP que es a donde se alinea las características de nuestra aplicación del modelo de optimización conceptuando variables de decisión enteras o binaria, considera el modelo como híbrido tomando en cuenta la composición de variables enteras y continuas (característica de los modelos de programación lineal).

Basados en la descripción anterior se plantea el modelo como un problema de optimización matemática lineal entera mixta con restricciones. De la misma manera se considera un modelo estocástico, que proporciona una descripción del comportamiento de la demanda que varían en el tiempo definido, que permitirá realizar el modelamiento de la función objetivo definida mediante MILP.

Los resultados obtenidos de las simulaciones en este tipo de modelos estocástico son los que se emplean en la planeación. El ajuste metodológico con el que se propone la función objetivo para la simulación es un modelo estocástico, no determinista. La diferencia es que el determinista puede ayudar a medir la eficiencia técnica, sin considerar otras posibilidades mientras que un estocástico ayuda a determinar la asignación de recursos o algún parámetro importante para el despliegue de una red FTTH. En presencia de incertidumbre además de mirar y tratar el problema desde diferentes puntos de vista.

3.7.2. Algoritmos utilizados en la solución del problema de optimización

Para este problema de aplicación del caso de estudio sobre el área de planeación elegida en el sector urbano sur del cantón Ambato, se puede considerar como un problema cuya complejidad es alta, debido a que crece linealmente en función del número de usuarios que generan, de donde se obtiene los sitios candidatos. La combinatoria utilizada, en este caso son 209 sitios como dato inicial, la solución es como poder agrupar estos datos, por eso se busca el análisis mediante metaheurísticas.

En ese estudio es pertinente definir una función objetivo simplificada, por la limitada información proporcionada por la empresa FASTER ISP, lo que permite reducir determinados parámetros del modelo general presentado en la ecuación 16.

Función objetivo simplificada

$$\min.: 2500 \sum_{i \in \mathbb{C}} Y_i^{OLT,n} + 0.77 \sum_{i \in \mathbb{C}} D_{p,q}^{ONT} + 26 \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{SP,n} + 70 \sum_{i \in \mathbb{C}} X S_i^n \quad (17)$$

Restricciones:

$$-1500 Y_i^{OLT,n} + X S_i^n \leq 0$$

$$D_{p,q}^{ONT} - 1600 C_i^{SP,n} \leq 0$$

$$X S_i^n - 8 C_i^{SP,n} \leq 0$$

$$-200 X S_i^n + D_{p,q}^{ONT} = 0$$

Con la función objetivo simplificada lo que se pretende es optimizar los parámetros importantes en un despliegue de red física, entonces la optimización ha sido planificada, mediante parámetros para aplicar al modelo y que generen escenarios para análisis y obtención de resultados como se presenta en la siguiente tabla 3-3.

Tabla 3-3. COSTOS APLICANDO CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN

COSTOS DE INVERSIÓN APLICANDO CRITEROS DE OPTIMIZACIÓN EN LA PLANEACIÓN DE UNA RED FTTH					
RECURSO	CANTIDAD	DISTANCIA (m)	LOGITUD (m)	COSTO (\$)	TOTAL(\$)
FIBRA OPTICA HACIA LOS SPLITERS	31	550	17.050	0,77	13.128,50
HERRAJE	31			47,74	1479,94
SPLITERS	31			26,06	807,86
FIBRA OPTICA HACIA LAS ONT	209	200	41.800	0,77	32.186,00
CABLE DROP	209			1,58	330,22
CONECTOR MECÁNICO	209			8,23	1720,07
ROSETA ÓPTICA	209			3,77	787,93
PATH CORD	209			7,45	1557,05
MÓDEM	209			45,64	9538,76
TOTAL (\$)					61.536,33

Tabla 3-4. COSTOS APLICANDO CRITERIOS DETERMINISTAS

COSTOS DE INVERSIÓN APLICANDO CRITEROS DETERMINISTAS EN LA PLANEACIÓN DE UNA RED FTTH					
RECURSO	CANTIDAD	DISTANCIA (m)	LOGITUD (m)	COSTO (\$)	TOTAL(\$)
FIBRA OPTICA HACIA LOS SPLITERS	110	550	60.500	0,77	46.585,00
HERRAJE	110			47,74	5251,4
SPLITERS	110			26,06	2866,6
FIBRA OPTICA HACIA LAS ONT	209	200	41.800	0,77	32.186,00
CABLE DROP	209			1,58	330,22
CONECTOR MECÁNICO	209			8,23	1720,07
ROSETA ÓPTICA	209			3,77	787,93
PATH CORD	209			7,45	1557,05
MÓDEM	209			45,64	9538,76
TOTAL (\$)					100.823,03

Aplicando los criterios de optimización puede identificar claramente las variables independientes de mayor incidencia en los contos de la planeación de la red física FTTH que son el número de splitter, la cantidad de metros de la fibra óptica de los que se obtiene mayor optimización en el costo como se puede evidenciar en la tabla.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se realiza una revisión bibliográfica y una investigación exhaustiva del estado de arte de los modelos matemáticos de optimización, de programación estocástica, Optimización de la evolución de la red, redes FTTH.

En este estudio realizado se encuentra una infinidad de algoritmos aceptables para cumplir con los objetivos de esta tesis, pero se inclina en utilizar los descritos a continuación:

Algoritmos Estocásticos utilizados en la planeación de la red FTTH de la empresa

FASTER:

Algoritmo K-means

Algoritmo Set-cover

Algoritmo Dijkstra

Movimiento Browniano Geométrico

Una vez entendidos los conceptos, los modelos y algoritmos a ser aplicados en el desarrollo del este proyecto, identifica los recursos y realiza la recolección, procesamiento y análisis de los datos necesarios para realizar la optimización de la red de la empresa FASTER, donde encuentra las variables de entrada y de respuesta que sirven como parámetros para definir el modelo matemático – función objetivo y los resultados de esta función. Todos los resultados obtenidos se plasman en capítulo III.

Resalta en este capítulo el modelo matemático de planeación que es el resultado del trabajo que se realiza, en el que se consideran casi en su totalidad las variables que intervienen en la implantación de una red FTTH que es el caso de este estudio.

Modelo Matemático De Optimización Para Planeación De Redes FTTH
$\begin{aligned} \min.: & \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{OLT,n} Y_i^{OLT,n} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{MT,n} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{MT,n} D_{p,q}^{MT} Z_{p,q}^{MT} + \\ & \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{sec,n} D_{p,q}^{sec} Z_{p,q}^{sec} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{SP,n} Z_{p,q}^{sec} + \\ & \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{NAP,n} D_{p,q}^{NAP} Z_{p,q}^{NAP} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C o_i^{SP,n} Z_{p,q}^{NAP} + \sum_{i \in \mathbb{C}} C_i^{ONT,n} D_{p,q}^{ONT} Z_{p,q}^{ONT} + \\ & \sum_{i \in \mathbb{C}} C_{p,q}^{usu,n} X S_i^n \end{aligned}$

Teóricamente el modelo se define cumpliendo la normas y leyes matemáticas que garantiza su valides lo que lleva a probar su eficacia con datos proporcionados por la empresa FASTER, obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente tabla.

Costo de implementación de la red FTTH de la empresa FASTER con planeación determinista.	Costo de implementación de la red FTTH de la empresa FASTER con planeación utilizando el modelo matemático.
100.823,03	61.536,33

Con el proceso de optimización se obtiene una eficacia aproximada del 39% en los costos para la planeación e implementación de la infraestructura de red FTTH de la empresa FASTER. Los parámetros enviados al modelo corresponden únicamente a los de planta externa que corresponden a la infraestructura, es decir no se toma en cuenta los parámetros de funcionalidad y mantenimiento, dado que los parámetros de planta interna utilizados por la empresa son únicos y constantes sin tener mayor influencia la optimización.

El aporte de la presente tesis es tener un modelo generalizado de optimización, valido y útil para la planeación de redes FTTH. Para poder extender la generalidad del modelo un trabajo futuro seria la aplicabilidad en otro tipo de red de datos como por ejemplo la red WIFI. Otro aspecto importante que realizar es probar la eficacia del modelo en un área de mayor longitud como por ejemplo una provincia.

Por último, también sería interesante realizar el mismo estudio con información historia de por lo menos 10 años atrás y con un software diferente a Matlab como por ejemplo Python que tiene mayor número de algoritmos desarrolladas en este tipo de problemas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones

- Se realizó un estudio y una investigación exhaustiva del estado de arte de los métodos de reducción y construcción de escenarios donde se determinó, el movimiento browniano como el más adecuado para este estudio obteniendo un total de 100 escenarios, los cuales se redujo al óptimo por medio del teorema de limite central.
- Para realizar la optimización de recursos primeramente se depuró y analizó los datos adquiridos de la empresa, posteriormente se procesó esta información utilizando en primer lugar el algoritmo K-means para agrupar los usuarios más cercanos a la ubicación de cada uno de los 27 splitters, en segundo lugar se realizó la optimización del número de splitter mediante el algoritmo Set-cover obteniendo una reducción de 4 splitters, por último se utilizó el algoritmo Dijkstra y se obtuvo la distancia más corta del tendido de la fibra óptica.
- Del estudio realizado, y el análisis de las estadísticas publicadas por ARCOTEL, el incremento estocástico de las cuentas de los usuarios de servicio de internet fijo de los últimos 10 años, se planteó en el literal 3.1.2. de este documento: conjuntos, escenarios de árbol, variables de decisión, parámetros y coeficientes que son necesarios para definir el modelo matemático de optimización para la planeación de redes FTTH descrito en la ecuación [16](#).
- Para alcanzar el número mínimo de splitter y la cantidad mínima de la fibra óptica en la planeación de red FTTH del área considerada en esta tesis, se propuso la función objetivo simplificada descrita en la ecuación 17, como un problema de optimización matemática lineal entera mixta con restricciones, la

misma que se codificó en Matlab utilizando la función lineprog, obteniendo 31 splitters y 41800 metros de fibra óptica.

- Aplicando los algoritmos K-means, Set-cover, Dijkstra, Movimiento Browniano y el modelo estocástico a los datos de la empresa FASTER ISP, se obtuvo una eficacia del 39% al reducir los costos de inversión en la planeación de la red FTTH en \$39286.7 según los cálculos de la tabla 3.3 comparado al modelo determinista, evidenciando que la mala ubicación de un equipo splitter lleva a sobredimensionar o desperdiciar recursos.

5.2. Recomendaciones

- Analizar exhaustivamente los métodos de reducción y construcción de escenarios no considerados en esta tesis: k-medoid, kruskal, proceso de Levy para incrementar las posibilidades en la obtención del método óptimo.
- Mejorar el modelo utilizado en esta tesis, incorporando variables relevantes como la pérdida de potencia: que es aproximadamente de 0.35 dB / km, 0.25 dB por conector y 0.15 dB por fusión, que son parámetros importantes para validar la eficiencia en la planeación de redes FTTH.
- Extender los estudios expuestos en esta tesis desarrollando un modelo de maximización de beneficios y el tiempo de retorno de la inversión en el despliegue de la red FTTH.
- Se propone programar los diferentes algoritmos utilizados en esta tesis en otro lenguaje de programación diferente a Matlab, como Phyton, R, para comparar los resultados obtenidos.

5.3. Bibliografía

- [1] A. P. O. E. I. & H. R. Sevilla, «FiWi network planning for smart metering based on multistage stochastic programming.,» *IEEE Latin America Transactions*, vol. 13, nº 12, pp. 3838-3843, 2015.
- [2] A. EISENBLÄTTER y J. SCHWEIGER, «Multistage stochastic programming in strategic telecommunication network planning.,» *Computational Management Science*, vol. 9, nº 3, pp. 303-321., 2012.
- [3] D. O. ANAUT, «Optimización de redes eléctricas mediante la aplicación de algoritmos genéticos.,» *Información tecnológica*, vol. 20, nº 4, pp. 137-148, 2009.
- [4] R. C. CASTRO MANDUJANO, «Diseño de una red FTTH basado en el estándar GPON para la conexión de videocámaras para el distrito de San Martín de Porres.,» Universidad Peruana de Ciencias, Lima, 2019.
- [5] A. C. F. M. y F. S. E. Amaldi, «Modelos de optimización y algoritmos para la planificación de radio UMTS de enlace descendente.,» *IEEE Wireless Communications and Networking*, vol. 2, pp. 827-831, 2003.
- [6] B. W. I. V. y A. K. A. Awada, «Optimización de los parámetros de la red de radio del sistema de evolución a largo plazo utilizando el método de Taguchi.,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 60, nº 8, pp. 3825-3839,, 2011.
- [7] E. C. A. & M. F. Amaldi, « Planificación de radio y optimización de cobertura de redes celulares 3G.,» *Wireless Netw 14*, pp. 435-447, 2008.
- [8] E. L. y J. L. K. Lieska, «Optimización de la cobertura de radio con algoritmos genéticos.,» *Noveno Simposio Internacional IEEE sobre Comunicaciones de Radio Personales, Interiores y Móviles Boston*, vol. 1, pp. 318-322, 1998.
- [9] J. D. Escobar y D. A. Rivas, «Modelos de optimización estocástica en la generación térmica de energía eléctrica.,» Universidad de el Salvador, Ciudad Universitaria, 2013.
- [10] A. E. N. Ramirez, « Aplicación de algunos modelos matemáticos a la toma de decisiones.,» *Política y Cultura*,, nº no 6, pp. p. 183-198., 1996.

- [11] A. Prekopa, «Stochastic Programming. Dordrecht, The Netherlands, 1995.,» *Kluwer Academic Publishers*, 1995.
- [12] M. d. M. M. Martos, «Programación Estocástica algunas aportaciones teoricas y computacionales,» Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 1998.
- [13] A. J. C. P. P. G. y. N. A. Enrique Castillo, «Formulacion y Resolución de Modelos de Programacion Matemática en Ingenieria y Ciencia,» España, 2020.
- [14] N. J. Driebeek, « Un algoritmo para la solución de problemas de programación de enteros mixtos.,» *Management Science* , vol. 12, nº 7, pp. 576-587., 1996.
- [15] R. V. Ibarróla, «Colaboraciones en Matemáticas: Movimiento Browniano.,» *Revista 100cias@ uned*, vol. 8, pp. 81-88, 2005, vol. 8, p. 81-88..
- [16] J. I. Illana, «Métodos monte carlo.,» *Departamento de Física Teórica y del Cosmos, Universidad de Granada*, vol. 26, nº 01, 2013.
- [17] I. G. M. Cristina Garcia Cambroner, «Algoritmos de aprendizaje: knn & kmeans.,» *Intelgencia en Redes de Comunicación, Universidad Carlos III de Madrid*, 2006, vol. 23, 2006.
- [18] R. S. a. M. S. E. Liberty, «"An Algorithm for Online K-Means Clustering,"» *Proceedings of the Eighteenth Workshop on Algorithm Engineering and Experiments* , pp. 81-89, 2016.
- [19] J. E. D. K. R. K. R. K. S. K. a. T. M. S. Dobrev, «Improved analysis of the online set cover problem with advice,» *Theoretical Computer Science*, 2017.
- [20] R. Johnsonbaugh, *Matemáticas discretas (4ª edición)*, Prentice Hall, , 2000.
- [21] L. RINCÓN, *Introducción a los procesos estocásticos.*, Mexico: UNAM, Facultad de Ciencias, 2012.
- [22] J. R. R. Bonilla, «La formula de Ito en la resolución de procesos de difusión con aplicaciones en física,» *EscuelaPolitécnica Nacional* , Quito, 2016.
- [23] V. M. Francisco, *Riesgos financieros y económicos: Productos derivados y decisiones económicas bajo incertidumbre*, Thomson, 1997.
- [24] B. F. M. Scholes, «The Pricing of Options and Corporate Liabilities,» *Journal of Political Economy* , 1828.
- [25] M. L., «Theory of Rational Option Pricing,» *Bell Journal of Economics and Management Science* , 1973.

- [26] C. D. G. y. M. P. V. S. KIRKPATRICK, «Optimization by simulated annealing,»,» *Science*, vol. 220, n° 4598, pp. 671-680, 1983.
- [27] J. e. a. D. C. PERALTA-ABARCA, «Esquema de enfriamiento en la metaheurística de recocido simulado,» *Esquema de Inventio, la génesis de la cultura universitaria en Morelos*, vol. 14, n° 32, pp. 37-42, 2018.
- [28] V. Y. Piqueras, «Poli Blogs,» Universidad Politecnica de Valencia, 7 Noviembre 2017 . [En línea]. Available: <https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/programacion/>. [Último acceso: 1 Octubre 2020].
- [29] C. A. P. M. M. G. E. Jhon Jairo Santa Chávez, «Algoritmo de recocido simulado aplicado al problema de secuenciamiento regular,» *AVANCES Investigación en Ingeniería*, vol. 11, n° 1, 2014.
- [30] M. & M. B. M. D. Martínez Gómez, « Utilización Práctica del Teorema Central del Límite.,» Universidad Politecnica de Valencia, Valencia, 2010.
- [31] J. D. Tinoco, «Estudio y diseño de una red de fibra optica FTTH para brindar servicio de voz, video y datos para la urbanizacion los olivos ubicada en el sector Toctesol en la parroquia Borrero de la ciudad de Azogues,» Universidad Politecnica Salesiana , Cuenca, 2011.
- [32] M. Josan, «Naseros,» [En línea]. Available: <https://naseros.com/2017/03/13/como-funciona-una-conexion-de-fibra-gpon-y-ftth/>.
- [33] E. Y. D. D. U. R. D. F. Ó. F. P. BRINDAR, «ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA BRINDAR,» 2011.
- [34] J. A. Castillo, «www.profesionalreview.com,» [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2019/02/15/fibra-optica-que-es/>.
- [35] EP-EMAPA-A, «maetungurahua.files.wordpress.com,» 2013. [En línea]. Available: <https://maetungurahua.files.wordpress.com/2013/07/informe-ambiental-vh.pdf>). [Último acceso: 2 10 2020].
- [36] A. P.-S. R. C. H. F. A. a. I. T. M. E. Inga-Ortega, «E. Inga-Ortega, A. Peralta-Sevilla, R. C. HincOptimal dimensioning of FiWi networks over advanced metering infrastructure for the smart grid,» *Innovative Smart Grid Technologies Latin America*, 2015.

- [37] J. Jara, «Aplicación de un modelo matemático de optimización para la planeación de redes de fibra óptica pon, aplicado al aciudad de Gualaceo-provincia del Azuay,» Cuenca, 2017.
- [38] J. E. D. K. R. K. R. K. S. K. a. T. M. S. Dobrev, «Improved analysis of the online set cover problem with advice,» *Theoretical Computer Science*, 2017.
- [39] C. D. G. y. M. P. V. S. KIRKPATRICK, « Optimization by simulated annealing,» *Science*, vol. 220, n° 4598, pp. 671-680, 1983.
- [40] J. e. a. d. C.-. Abarca, «Esquema de enfriamiento en la metaheurística de recocido simulado,» *La génesis de la cultura universitaria en Morelos*, vol. 14, n° 32, pp. 37-42, 2018.

5.4. Anexos

Anexo 1 Usuarios a noviembre del 2020

Cédula	Apellidos Nombres	Longitud	Latitud
1801444538	ARCOS FREIRE AVELINO MOISES	-78,629966200	-1,27389980
1802687705	CACERES VILLACIS WASHINGTON FERNANDO	-78,631927400	-1,27021630
1803411204	RAMOS BENAVIDES PABLO RENATO	-78,632353400	-1,27199830
1803078375	CRIOLLO MAYORGA SANDRA JAQUELINE	-78,631927400	-1,27021630
1803367778	VILLALVA CACERES MARIO GUILLERMO	-78,631927400	-1,27021630
1803859386001	AVILA HERRERA DIEGO FERNANDO	-78,631927400	-1,27021630
1891751385001	ALPHA INGENIERIA ALPHADESING CIA LTDA	-78,631927400	-1,27021630
1805069364	PAZMIÑO VIEIRA VERONICA GABRIELA	-78,634048800	-1,28853390
1891793312001	ALFAPAZ CIA.LTDA.	-78,633627700	-1,27073770
1804474243	LOPEZ ARCOS DIANA CAROLINA	-78,632350000	-1,27199000
0503979320	MORENO PERALTA KARINA MARICELA	-78,636616300	-1,27479550
1804426599	VILLALVA CÁCERES PEDRO ANDRES	-78,631927400	-1,27021630
0550346084	PANCHI ZURITA VALERIA PAMELA	-78,638354200	-1,27532120
1803805298	ESPIN MORA HUGO PAUL	-78,638354200	-1,27532120
1800932681	CACERES ARCOS JOSE OSWALDO	-78,632391600	-1,26508920
1804548301	MAYORGA PAZMIÑO ANDREA SOLEDAD	-78,630440500	-1,27461740
1804456307	COBOS MASAQUIZA GABRIEL ALEJANDRO	-78,641424200	-1,27664030
1804523585	ULLOA PAREDES DAYANA FABIOLA	-78,631927400	-1,27021630
1801896810	VILLACRES NUÑEZWALTER GONZALO	-78,638375300	-1,29514700
1804531919	VILLA MOREANO DIEGO FERNANDO	-78,630640000	-1,26084000
1802703882	CRIOLLO MEDINA CARLOS ENRIQUE	-78,634048800	-1,28853390
1803780723	YUGCHA QUINATO ANA CRISTINA	-78,631927400	-1,27021630
1800690875	MEDINA ARCOS GLORIA LUCILA	-78,635773000	-1,28482300
1802597052	VILLACRES NUÑEZ NANCY CARMITA	-78,631234300	-1,28126820
1802625242	MEDINA ARCOS MARIA EUGENIA	-78,634048800	-1,28853390
1804445391	MIRANDA GALARZA LENIN STALIN	-78,634048800	-1,28853390
1802730810	GUAMANQUISPE TUBON XIMENA DEL ROCIO	-78,630567700	-1,27899850
1701016410	VARGAS ACOSTA JOSE ARMANDO	-78,628465200	-1,27414550
1802713253001	MOPOSITA GUAITA RAUL GONZALO	-78,632131000	-1,28045610
0200932689	BENAVIDES REDROVAN MARCO EDUARDO	-78,636897000	-1,27849940
1805139035	GUACON VISCAINO VERONICA PAOLA	-78,633888800	-1,26942210
1804526034	ULLOA PAREDES EVELYN LIBETH	-78,635781300	-1,29308460
1802290872	VILLACIS SILVA PATRICIA DEL ROCIO	-78,626913000	-1,29909950
1803165545	MURILLO GRANIZO ROBERTO CARLOS	-78,633074800	-1,26309080
1803396835	CARVAJAL AVILA RAUL ANDRES	-78,629488300	-1,27240510
1803553229	SANTAMARIA BUSTOS MESIAS ROLANDO	-78,628528800	-1,27576820
1803441565	CARRILLO MANZANO GRACIELA JUDITH	-78,631426600	-1,27447150
1800863852	GAVILANES VASCO GALO HERNAN	-78,620162000	-1,25856850
1803205630	PAZ VARGAS CARLOS GEOVANNY	-78,614340700	-1,27157470

1801985118	LOPEZ PAZMIÑO BYRON ROBERTO	-78,628827300	-1,27392130
1756621478	DRAGULIN CONSTANTIN	-78,627362300	-1,27591410
1803626547	LOPEZ VARGAS MILTON EDUARDO	-78,628150000	-1,29994000
1801667807	LOPEZ VARGAS MILTON EDUARDO	-78,628827300	-1,27392130
1804455929	ALTAMIRANO ARCOS JHONATAN VICENTE	-78,628528800	-1,27576820
1801038694	AGUIRRE CHIMBORAZO VICTOR HUGO	-78,628528800	-1,27576820
1804534269	MOPOSITA MORALES DARIO FERNANDO	-78,622619900	-1,25908530
1803023587	BENAVIDES REDROBAN ALEXANDRA DELFINA	-78,627362300	-1,27591410
1804343786	PEREZ VACA DIANA CAROLINA	-78,628528800	-1,27576820
1803083524	PEREZ BENAVIDES JORGE ROLANDO	-78,636599700	-1,27934360
1804705240	NUÑEZ YAGUARGOS STALIN DARIO	-78,620476100	-1,25746380
1803697109	ZAGAL MOLINA GEOVANNA KARINA	-78,630719000	-1,26358720
0928895937	TOMALA MORALES CHRISTIAN ALBERTO	-78,635806700	-1,27425040
1801996719	POVEDA LLERENA SONIA RAQUEL	-78,634048800	-1,28853390
0707142931	TILLAGUANGO GUZMAN JENRY MANUEL	-78,632133100	-1,30059720
1803927845	CHISAG CHISAG HOLGER ANIBAL	-78,633092600	-1,27038370
0200921393	SISALEMA CARRILLO ANITA NARCISA	-78,623550000	-1,26910000
0920610300	RAMIREZ VELASQUEZ JOSE ALFREDO	-78,637226900	-1,28603060
1802730653	CARVAJALNCHAMORRO MONICA JISELA	-78,638221300	-1,28374650
1803616810	YAMBAY PICO MARIA FERNANDA	-78,631927400	-1,27021630
1802930154	VILLACRES NUÑEZ MARCO ANTONIO	-78,632796300	-1,28206190
1900333095	MARIÑO ORDOÑEZ JOHANA ELIZABETH	-78,631459400	-1,27282750
1802577914	MIRANDA OCAÑA MIRIAM CECILIA	-78,636896300	-1,27000040
1801232131	LOPEZ HEREDIA WALTER EDISSON	-78,628528800	-1,27576820
144742776	SUAREZ LOPEZ GABRIELA LUZMAR	-78,630700000	-1,28450000
1600108821	ROMERO GONZALEZ MARIA RUBI	-78,630700000	-1,28450000
1803595469	OÑATE GARCES HUMBERTO RAFAEL	-78,631459400	-1,27282750
0200213080	GARCIA ZAPATA MARIANA DE JESUS	-78,634496200	-1,27310450
1805160635	FLORES MAYA LIZBETH ANAHI	-78,627376800	-1,27870260
1850235845	FRUTOS CALERO CHRISTIAN ISMAEL	-78,632889800	-1,27230970
1751297571	ALVAREZ GANCHOZO SIXTO GONXALO	-78,631814900	-1,27693110
0503230534	CRUZ TITUAÑA MARLON OMAR	-78,631810000	-1,27693000
0501003016	CRUZ MORA JORGE ALONSO	-78,637291400	-1,29415200
1805043591	COBEÑA MORALES SABRINA VALERIA	-78,627376800	-1,27870260
1803595634	LOPEZ BETANCOURT MARIA AUGUSTA	-78,625240000	-1,26107000
1804079604	NAVAS PULLA GUSTAVO ENRIQUE	-78,631814900	-1,27693110
1803819471	LEMA PULLA JENNY GRACIELA	-78,638146500	-1,27182050
1850420744	MOROCHO ANILEMA JONATHAN IVAN	-78,635781300	-1,29308460
0912787462	MANJARREZ IZQUIERDO OLGA ELENA	-78,634048800	-1,28853390
1802351674	SOLIS PEREZ DELIA DEL ROCIO	-78,631896800	-1,29945000
1103120612	ELIZALDE ROBLES OVER ALSIBAR	-78,635115600	-1,28416100
1803407186	MARTINEZ ALVEAR MARIO MARCELO	-78,639524100	-1,29726320
1804058657	TAPIA MARCA NATALI ALEXANDRA	-78,615878800	-1,25663220
1804508412	CASTELO VARGAS RICARDO LEOPOLDO	-78,635115600	-1,28416100
1804748075	CARRILLO TOCAGON GABRIELA JACQUELINE	-78,637632400	-1,27270720
1804348207	FLORES MERO JORGE LUIS	-78,620012100	-1,27597960

1205852773	GARCIA ZUÑIGA MAYENSI VIVIANA	-78,620012100	-1,27597960
1804286563	LOPEZ MONTEZDEOCA SUSANA GIOCONDA	-78,620012100	-1,27597960
1804237657	GALLARDO MORILLO DANIEL BLADIMIR	-78,622635400	-1,26764210
1600327306	SOLIS TOAPANTA AMANDA CARLOTA	-78,622635400	-1,26764210
1310865439	FARIAS OBANDO HOMERO BENEDICTO	-78,624770000	-1,26340000
0604325019	CHERRES PEREZ JANET MARIA	-78,632508600	-1,26817380
1802041325	PAREDES CASTRO MELIDA NOEMI	-78,632508600	-1,26817380
1801084987	ACHUPALLAS ORELLANA ZOILA VIRGINIA	-78,619123500	-1,25596800
1801911981	ARCOS PAZMIÑO ANITA VIVIANA	-78,635488100	-1,27903880
1001528320	BOLAÑOS RECALDE PATRICIO	-78,628342600	-1,27429880
1801962125	SILVA MONTEROS FRANKLIN MANUEL	-78,628528800	-1,27576820
1803673449	PILAMUNGA YANSAPANTA BYRON ROBERTO	-78,631010000	-1,52734000
1804754875	PUJOS ANDAGANA DIEGO FERNANDO	-78,634048800	-1,28853390
1804063457	VELASTEGUI VARGAS PAUL FERNANDO	-78,630679800	-1,27559270
1803905684	SANCHEZ MORALES MARIA CRISTINA	-78,623858400	-1,27625850
1801160035	MANZANO LOPEZ LUIS GONZALO	-78,621927000	-1,27162910
1804511481	NUÑEZ BARRIGA LUDWIN DANIEL	-78,629359800	-1,27219710
0918305137	BENALCAZAR MORALES LUIS PABLO	-78,621224700	-1,26881260
1805029202	VELASTEGUI VARGAS CHRISTIAN ALEXIS	-78,630679800	-1,27559270
1802457896	CASTRO AREVALO LUIS ALFONSO	-78,631990900	-1,28961450
1800870899	MAIGUA PACHECO OLGA FABIOLA	-78,629689500	-1,27409710
1803599552	GUERRERO GUERRERO IDANIA ANABELL	-78,629500000	-1,27480000
1805188040	FAVICELA AUCATOMA BYRON FABRICIO	-78,640416300	-1,27090670
1802374015	VARGAS VILLACIS NUBIA LORENA	-78,637928800	-1,27987070
0302180310	CARRILLO CHAGUARRO VERONICA ALEXANDRA	-78,628576200	-1,27568790
1804300596	VILLEGAS CASTILLO JUAN CARLOS	-78,636421600	-1,28732510
1804644662	CHULCO RUIZ JAIME GIOVANNI	-78,635773000	-1,28482300
1759228347	LEON DUEÑAS MOISES	-78,628342600	-1,27429880
1804713624	REVELO CANDO GISSELA CAROLINA	-78,635668500	-1,26806240
1803557436	MURILLO PICO LUIS MAURICIO	-78,623211600	-1,26310130
1803697539	YUGCHA PANIMBOSA GUILLERMO HERIBERTO	-78,629689500	-1,27409710
1805205000	VARGAS CASTILLO EDWIN STEVEN	-78,636322500	-1,28524960
1803104189	ORTIZ FLORES NANCY GUADALUPE	-78,627609900	-1,27793050
1105324857	CHUCHUCA AJILA SEGUNDO GONZALO	-78,636322500	-1,28524960
1805320213	SANDOVAL VELEZ RONNIE ALEXANDER	-78,638354200	-1,27532120
1803849205	OROZCO FREIRE ANA LUCIA	-78,625051000	-1,27568030
1803421039	POMAQUERO LEMA FRANKLIN ROLANDO	-78,632291500	-1,27350130
1803553229	SANTAMARIA BUSTOS MESIAS ROLANDO	-78,627616200	-1,27305940
1802639748	ZAPATA ZAPATA LUIS ALFONSO	-78,616948100	-1,25644190
1803642022	PAJUÑA ASAS ANGELA LUCIA	-78,636045000	-1,29263520
1900176437	JARAMILLO AMARI BERTHA OIVIA	-78,638321000	-1,30689370
0702332925	JUMENEZ CUEVA ANGEL MARCELO	-78,636322500	-1,28524960
0501481972	JORDAN MIRANDA NANCY CECILIA	-78,622367600	-1,27558680
1802683019	NIVELERO ERAZO LINDA MARISOL	-78,638589100	-1,30605650
1803628120	VARGAS ESCOBAR LUIS GONZALO	-78,637291400	-1,29415200
1802461879	PORTERO YANSAPANTA CARLOS TARQUINO	-78,635110300	-1,28430580

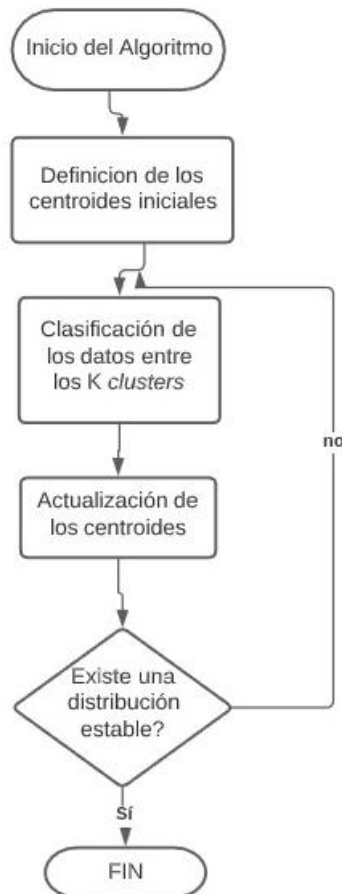
1804395927	CHICO VARGAS JOHNY ALEXANDER	-78,631814900	-1,27693110
0201639804	WILSON RODRIGO RUIZ GUERRERO	-78,633414400	-1,29110850
0953543410	CORDOVA SANCHEZ DIEGO ALEXANDER	-78,621880300	-1,26729740
1803727641	LOPEZ VASCONEZ DORIS ANDREA	-78,631770100	-1,27838750
0602874653	GUARACA GUAMAN JOSE MARCELO	-78,630679800	-1,27559270
1804141594	SEGOVIA GUAMAN DIEGO RAFAEL	-78,596034700	-1,26021010
1900361310	NUGRA GUAMAN ANA MARIA	-78,636045000	-1,29263520
1800644377	SOLANO REMACHE JOSE FRANCISCO	-78,620154200	-1,25730140
0901185538	BENALCAZAR FLORES HUGO OSWALDO	-78,620154200	-1,25730140
1850556977	MANJARRES VELASCO KEVIN BRYAN	-78,621880300	-1,26729740
1705334116	ZAGAL IZA JAIME GERMAN	-78,631403400	-1,26322610
1800932681	CACERES ARCOS JOSE OSWALDO	-78,632391600	-1,26508920
1804999371	PILLAO CHICAIZA MONICA PATRICIA	-78,635639700	-1,29605600
1802686418	CACERES MORA PABLO GEOVANNY	-78,631927400	-1,27021630
1800744482	CARRILLO MARTINEZ HILDA CORINA	-78,629742100	-1,25923300
1875963240	JIMENEZ BAYONA YURI ANDREA	-78,632500600	-1,27565120
1801867910	ZAPATA ZAPATA GLORIA BEATRIZ	-78,616948100	-1,25644190
1804653010	NAVARRETE CRIOLLO FRANCISCO SEBASTIAN	-78,636921000	-1,28996300
148092475	GARVETH DEROY CARLOS ALFONZO	-78,632734200	-1,27535700
1805413224	FACONDA NUÑEZ CELINA VANESSA	-78,621730000	-1,27668020
1803778503	CORMILLO TIPAN NELSON EDUARDO	-78,625910500	-1,28260450
1803890589	RAMIREZ ORTEGA LORENA ELIZABETH	-78,630640000	-1,26084000
202236410	GAVILANEZ SEGURA JORDY HAIR	-78,630567700	-1,27899850
1713367447	BARRERA CERON SANTIAGO FERNANDO	-78,641563700	-1,29824440
1804241055	MONTERO PAREDES NELLY CUMANDA	-78,639174500	-1,30305960
1710064534	SUBERO RODRIGUEZ ASENCION DE JESUS	-78,596034700	-1,26021010
1802246932	VARGAS GUAITARA VICTOR PATRICIO	-78,637320900	-1,27762880
1803103603	TOCAGON BONILLA MIRIAM ELIZABETH	-78,633952900	-1,27188110
1802812832	COPO GUAMAN JOSE JACINTO	-78,631927400	-1,27021630
1706723747	RAMON ROSERO MARIO GONZALO	-78,630223800	-1,27755200
1803611209	ZAGAL MOLINA ADRIANA PAOLA	-78,630719000	-1,26358720
1800961607	PAZMIÑO PAZMIÑO MARIO EDUARDO	-78,631450900	-1,27159090
1801790534	JACOME LOPEZ JOSE TOMAS	-78,628528800	-1,27576820
1805411822	CHISAG CHISAG MIRIAM MARICELA	-78,628520000	-1,27576000
1803029428	RAMOS MALDONADO PAULINA DE LOS ANGELES	-78,629689500	-1,27409710
1802135325	GUERRERO VARGAS MARIO RICARDO	-78,639577100	-1,28088740
1803064474	AMALUISA GUEVARA MONICA ELIZABETH	-78,639174500	-1,30305960
1759786930	APARICIO LONDOÑOHECTOR FRANKLIN	-78,633030000	-1,27821000
0500365762	SEMANATE SALAZAR MARCELO ANIBAL	-78,630855700	-1,26147100
1801146166	ORTIZ FLORES LAURA TERESA	-78,638354200	-1,27532120
1803618121	GANCINA YAMBAY ALVARO ANDRES	-78,615878800	-1,25663220
1802092757	FREIRE CUNALATA MARY GUADALUPE	-78,616948100	-1,25644190
1805221460	PEREZ BAUTISTA STEFANIA ARACELLY	-78,632133100	-1,30059720
1804505632	AGUALANGO SANCHEZ FREDDY ANDRES	-78,620655900	-1,25978390
1803616992	ACOSTA AROCA DIEGO RAFAEL	-78,620577100	-1,28324920
1803904364	ESCOBAR ZUÑIGA LEONARDO OCTAVIO	-78,627108100	-1,27322240

1804376760	MONTERO LANDA GABRIELA ESTEFANIA	-78,639174500	-1,30305960
1719260398	MARIN ROSERO CARLOS ALFREDO	-78,635781300	-1,29308460
1875623594	NAVARRO DURAN ARTURO ENRIQUE	-78,631320000	-1,29697000
1101901435	PUGLLA MONTOYA ERCIA VITALINA	-78,596034700	-1,26021010
1804309050	CASTRO VALDEZ KATHERINE NOEMI	-78,614340700	-1,27157470
1803033586	BENAVIDES REDROBAN PATRICIO IVAN	-78,620169200	-1,28186310
1802616431	QUINGA CEVALLOS MONICA DEL PILAR	-78,615878800	-1,25663220
1805089081	BRAVO PARRALES YULI LICETH	-78,620169200	-1,28186310
0801887274	BORJA REQUENE GINA	-78,616254500	-1,27939860
1806357895	VILLARROEL BELLORIN JEUDIS DEL VALLE	-78,616254500	-1,27939860
1802548592	ZURITA FUENTES SANTIAGO FERNANDO	-78,632324300	-1,26722460
1800766121	HARO LOPEZ INES MARIA	-78,620162000	-1,25856850
1804362539	CRIOLLO ACOSTA JOHANNA LISSETTE	-78,638186500	-1,29495380
1803744133	TAYO PAZMIÑO ANA CRISTINA	-78,631814900	-1,27693110
1850381417	CHULDE CHICAIZA TATIANA GUADALUPE	-78,631060000	-1,29507000
1801562628	SILVAGUERRERO LUIS MARCELO	-78,638425000	-1,29222290
1804056594	MARINO CHIMBO ITALO FERNANDO	-78,596034700	-1,26021010
1711232171	BELTRAN ORDONEZ LIDA ECILDA	-78,631410000	-1,28708000
0200767853	SEY SALAZAR GALO REGULO	-78,634117800	-1,28334040
0927667485	QUIÑONEZ FREIRE MARIA EUGENIA	-78,619683100	-1,28228810
1801148345	TIBANTA LUGMAÑA ALICIA ESPERANZA	-78,627664400	-1,26044540
1801115336	VILLALVA GUEVARA GUILLERMO	-78,626340000	-1,26207000
1850214311	CASTILLO MELENDEZ ANDREA MARISOL	-78,616980000	-1,27521000
1803423258	REINA ULPO WASHINGTON XAVIER	-78,638650000	-1,27586000
1804904736	CARDENAS SEVILLA JOMAIRA ALEJANDRA	-78,619002600	-1,27835580
1803197308	QUINATOA GARZON ELIZABETH ALEXANDRA	-78,631927400	-1,27021630
0601975907	LAGUAY BUENO ROSA ELIZABETH	-78,639916500	-1,30761820
0201629383	RAMOS SEGURA LUIS ALBERTO	-78,627362300	-1,27591410
1804543286	ACOSTA SOLIS JIMMY JOEL	-78,622850000	-1,25434000
0200688190	MELENDEZ ESCOBAR JOSE UBILO	-78,625300000	-1,29309000
1803356482	SILVA VALENCIA FANNY YOLANDA	-78,623850000	-1,27625000
1802803401	GAVILANES FREIRE ROSA ELENA	-78,622814400	-1,28354130

Anexo 2

Algoritmo kmeans

Diagrama de flujo



Código Matlab

```
filename = 'Ubicacion.xlsx'; % Carga de archivo de Excel%
Latitud = xlsread(filename,'A:A'); % Lectura de la latitud del archivo%
Longitud = xlsread(filename,'B:B'); %Lectura de la longitud del
archivo%
A=xlsread(filename); % Asignación del archivo en la A%
plot(A(:,1),A(:,2),'o','MarkerSize',5,'MarkerFaceColor','r'); %
Despliegue del gráfico de agrupación %
N=size(A); % Tamaño de la matriz %
%Algoritmo Final%

K=27; %Número de grupos %
indC=randperm(209,K); %Centroides Aleatorios K randm%
for it = 1: 5 %Inicio del bucle for para el número de iteraciones%
fig=figure; % Almacenar las figuras de cada interacción %
subplot(1,3,1); % Dimensionamiento de las imágenes %
hold all % Permite desplegar todas las imagenes%
plot(A(:,1),A(:,2),'o','MarkerSize',5,'MarkerFaceColor','k'); %
Despliegue del gráfico de agrupación por cada interacción del
algoritmo %
plot(A(indC,1),A(indC,2),'or','MarkerSize',10,'MarkerFaceColor',
'r');
```

```

%Despliegue del gráfico de agrupación por cada interacción del
algoritmo %
grid on % Muestra Cuadriculas de fondo de imagen%

subplot(1,3,2); % Dimensionamiento de las imágenes %
%Indice más cercano para cada punto%
ind=knnsearch(A(indC,:),A)
hold all % Permite desplegar todas las imágenes%
for k=1:K %Inicio del ciclo para graficar las por cada uno de las
agrupaciones%
    indk=find(ind==k); %Encuentra el vecino más cercano%
    plot(A(indk,1),A(indk,2),'o','MarkerSize',5,'MarkerFaceColor',
'auto'); %Despliegue del gráfico de agrupación por cada interacción
del algoritmo %

end %Fin del ciclo%
plot(A(indC,1),A(indC,2),'or','MarkerSize',10,'MarkerFaceColor',
'r');
%Despliegue del gráfico de agrupación por cada interacción del
algoritmo %

grid on

subplot(1,3,3); % Dimensionamiento de las imágenes %
%Recalculo de los centroides%
for k=1:K %Inicio del ciclo para plasmar todas las gráficas del número
de agrupaciones%

    indk=find(ind==k); % Asignación de la variable para encontrar el
siguiente vecino %
    meank=mean(A(indk,:)); %Nueva interacción del algoritmo para
encontrar el nuevo vecino %
    indC(k)=knnsearch(A,meank; %Almacenamiento del nuevo vecino
encontrado%
end %Fin del ciclo%
hold all
for k=1:K %Inicio del ciclo para plasmar todas las gráficas del número
de agrupaciones%
    indk=find(ind==k); % Comparación de la variable para desplegar la
gráfica correspondiente %
    plot(A(indk,1),A(indk,2),'o','MarkerSize',5,'MarkerFaceColor',
'auto'); %Despliegue del gráfico de agrupación por cada interacción
del algoritmo %

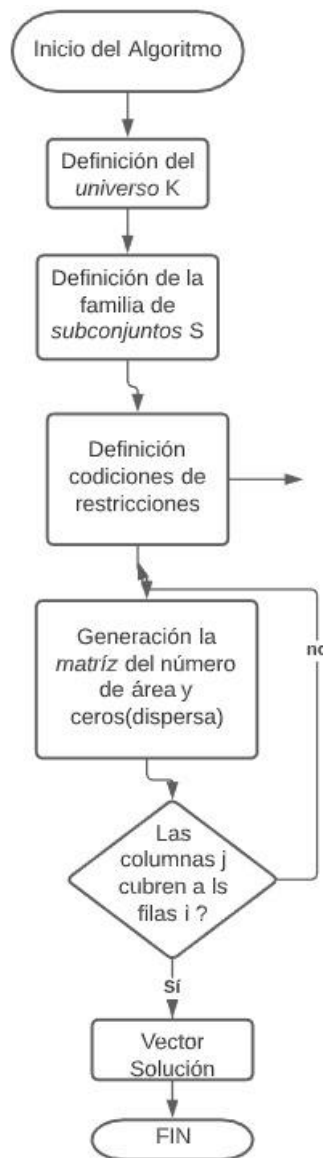
end %Fin del ciclo%
plot(A(indC,1),A(indC,2),'o','MarkerSize',10,'MarkerFaceColor',
'r'); %Despliegue del gráfico de agrupación por cada interacción del
algoritmo %
grid on %Cuadriculas en el fondo de la imagen%
end %Fin del ciclo%

```

Anexo 3

Algoritmo Set-Cover

Diagrama de flujo



Código Matlab

```
result=setcover(covby)%Envio de la matriz%  
  
%Función de cobertura %  
function result=setcover(covby)  
    %Encontrando todos los elementos en el universo  
  
    universe=unique(covby);  
    universe(universe==0)=[];  
    %universo=universo';  
    result=zeros(1,length(covby));  
    %Encontrar el tamaño de cada conjunto
```

```

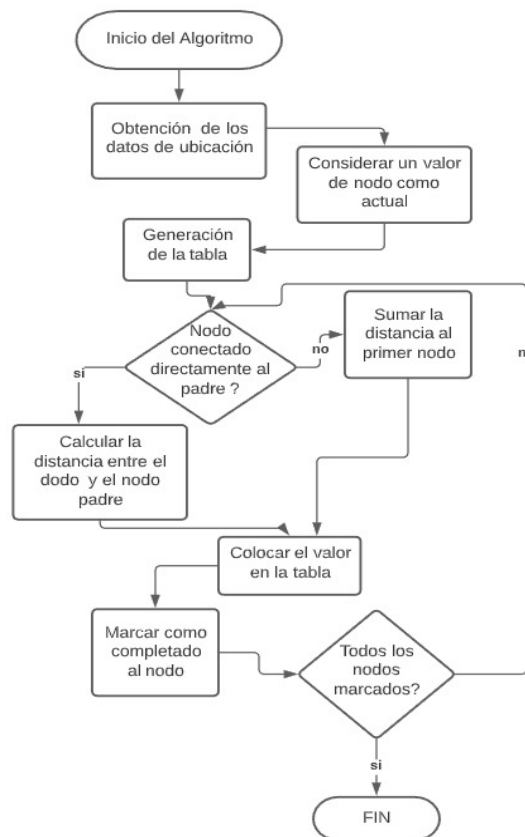
count=zeros(1,length(covby));
for i=1:length(covby)%Inicio del ciclo para la cobertura de
todos los puntos%
a=covby(i,:);
a(a==0)=[];
count(i)=length(a);
end
% encontrar la fila con el tamaño máximo establecido
[~,place]=sort(count,'descend');
for i=1:length(covby)
a=covby(place(i),:);
a(a==0)=[];
for j=1:length(a)
for k=1:length(universe)
if(a(j)==universe(k))
universe(k)=0;
result(place(i))=1;
break;
end %Fin de ciclo del lugar del universo%
end %Fin de ciclo de la longitud del universo%
end %Fin de ciclo de la longitud de la matriz%
if(sum(universe)==0)
break
end %Fin de ciclo del recorrido del universo%
end %Fin de ciclo de cada fila recorrida%
end %Fin de la función de cobertura%

```

Anexo 4

Algoritmo Dijkstra

Diagrama de flujo



Código Matlab

```
names = {'SP1', 'SP2', 'SP3', 'SP4',
         'SP5', 'SP6', 'SP7', 'SP8', 'SP9', 'SP10', 'SP11', 'SP12', '
         SP13', 'SP14', 'SP15', 'SP16', 'SP17', 'SP18', 'SP19', 'SP2
         0', 'SP21', 'SP22', 'SP23', 'SP24', 'SP25', 'SP26', 'SP27'}
; %Nombres de los nodos de las rutas%
s = [1 1 1 1 2 2 3 4 6 6 7 8 10 11 12 12 13 17 17 17
     14 14 15 15 16 16 19 20 20 23 23 23 24 24 25 26];
%Etiquetas de los orígenes de las rutas%

t = [2 6 7 10 3 4 4 5 7 8 8 9 11 12 13 14 17 14 18 16
     16 15 16 19 19 21 20 21 22 21 22 24 22 25 26 27];
%Etiquetas de los destinos de las rutas%

w = [223 1012 1036 277 552 500 415 638 1009 1073 893
     740 222 331 242 257 340 370 1033 613 452 195 306 620
     814 750 752 1004 389 807 928 858 748 335 1042 1005];
%Peso de cada una de las rutas%
```

```
G = graph(s,t,w, names); %Parámetros para graficar cada una de
las rutas%

p = plot(G); %Parámetros para desplegar grafica de cada una de
las rutas%

labeledge(p,1:numedges(G),w); % Etiqueta de los nodos de
los pesos de cada ruta%
%function D = dijkstra(A, p) %#codegen
dist = dijkstrafinal(G) %Instancia a la función Dijkstra final
%
```


Anexo 5

Algoritmo Browniano

Código Matlab

```
%a = [178446 179738 181140 182552 183976]
a = [472429 645822 890276 1084535 1322802 1491405
1613358 1779390 1954337 2092961]%Matriz de proyección de
crecimientos de usuarios%
M=mean(a)%Media del crecimiento de usuarios%
R=diff(log(a)) % Calcula las diferencias entre los elementos
adyacentes de X a lo largo de la primera cota de matriz cuyo tamaño
no es igual a 1 %
MR=mean(R)*10 % Media del crecimiento de los usuarios %
sigma=std(R)*sqrt(10) %Desviación standar del crecimiento de
usuarios%
close all %Cierra todo las aplicaciones y procesos%
clc %Limpia todas las variables de las aplicaciones y procesos%
hold on % Mantienen todos los procesos activos%
mu = 1.6/3; %Valor de la Media%
sigma = 0.030/sqrt(3); %Valor de la desviación estandar%
dt = 1/3; %Valor del intervalo de tiempo%
npaths = 100; %Valor del número de caminos%
nsteps = 3; %Valor del número de saltos%
S0 = 209; %Número de usuarios del escenario inicial%

% BM
epsilon = randn(nsteps, npaths);%Calculo randomico a basados
en el número de saltos y camibois%
W = [zeros(1,npaths); sqrt(dt)*cumsum(epsilon)];

% GBM
t = (0:nsteps)'*dt; %Rango de tiempo de cada salto%
Pr = bsxfun(@plus, (mu-0.5*sigma.^2)*t, sigma*W) %
Probabilidad de cada escenario%
Y1 = bsxfun(@plus, (mu-0.5*sigma.^2)*t, sigma*W);
%Calcular la trayectoria de cada escenario%
Y = S0*exp(Y1); %Aplicar la función exp de la trayectoria de cada
escenario%
Y = round(Y,4); %Redondear el valor devuelto por la función %
%plot(Y)
%plot(Y)
x=Y(1,:);%Asignar la primera fila de la matriz a la variable x%
X = Y.' % Transpuesta de la matriz Y%
X1= X(:,1);%Asignar la primera columna de la matriz a la variable
X1%
X2= X(:,2);%Asignar la segu7ndo columna de la matriz a la variable
X2%
```

```

X3= X(:,3); ,:);%Asignar la tercera columna de la matriz a la
variable X3%
X4= X(:,4); ,:);%Asignar la cuarta columna de la matriz a la
variable X4%
Ym = []; %Declaro la variable tipo matriz %
pd1= fitdist(X1,'Normal') %Se asigna el tipo de función Normal
a la fila 1%
%a=pd1[mu];
m1 = mean(pd1)% Media de la distribución Normal fila 1%
Ym = [Ym,m1]; )
pd2 = fitdist(X2,'Normal')
m2 = mean(pd2) % Media de la distribución Normal fila 2 %
Ym = [Ym,m2];
pd3 = fitdist(X3,'Normal') %Se asigna el tipo de función Normal
a la fila 3%
m3 = mean(pd3) % Media de la distribución Normal fila 3 %
Ym = [Ym,m3];
pd4 = fitdist(X4,'Normal') %Se asigna el tipo de función Normal
a la fila 4%
m4 = mean(pd4) % Media de la distribución Normal fila 2 %
Ym = [Ym,m4]
%Vectores para la graficas
Yi = []; %Declaración de la matriz inferior%
Ys = []; %Declaración de la matriz superior%

%Yrc = [];
ci1 = paramci(pd1)
%Vy1i = ci1(:,1)
Yi = ci1(1:1) %Asignación de la fila 1 y la columna 1 a la matriz
inferior %
Ys = ci1(1:1);
ci2 = paramci(pd2)
%Yrc = [ci2(1:1),Yrc]
Yi = [Yi,ci2(1:1)] %Asignación de la fila 1 y la columna 2 a la
matriz inferior %

Ys = [Ys,ci2(2:2)];
%Yrc = [ci2(2:2),Yrc]
ci3 = paramci(pd3);
Yi = [Yi,ci3(1:1)]; %Asignación de la fila 1 y la columna 3 a
la matriz inferior %

Ys = [Ys,ci3(2:2)];
ci4 = paramci(pd4);
Yi = [Yi,ci4(1:1)]; %Asignación de la fila 1 y la columna 4 a
la matriz inferior %

Ys = [Ys,ci4(2:2)];
%Yrc = [Yi;Ym;Ys];
%Yrc = Yrc.';

```

```

ejeX = [1,2,3,4]
%Plot(Y);
p = plot(Y, 'Color', [0.795,0.795,0.795]);%Despliegue de la
gráfica de los escenarios de las proyecciones delos usuarios%
hold on
q = plot(ejeX,Ys, '-bo', ...
        'LineWidth',5.5) %Despliegue del límite superior%
hold on
q = plot(ejeX,Ym, '-mo', ...
        'LineWidth',4) %Despliegue de la media%
q = plot(ejeX,Yi, '-co', ...
        'LineWidth',2, ...
        'MarkerEdgeColor','k', ...
        'MarkerFaceColor',[.49 1 .63], ...
        'MarkerSize',7) %Despliegue del límite inferior%
%q(1).LineWidth = 4

```

Anexo 6

Función objetivo

Código Matlab

```
f =[-2500 -0.77 -26 -70]% Coeficientes de las
variables
% los valores 2500 representa representa un costo
aproximado de la OLT, 0.77 costo aproximado por
metro de fibra de 2 hilos, 26 costo aproximado de
splitter, 70 costo aproximado de instalación de un
ONT, esta función está documentada en la ecuación 16
A= [1 0 0 0;% Matriz de las restricciones
    0 1 0 0;
    0 0 1 0;
    0 0 0 1]
b= [1
    200
    31
    209] % Matriz de los valores mínimos de las
variables considerados en las restricciones de la
ecuación 17 del documento
x = linprog(f,A,b)% funcion para resolver ecuaciones
lineales
```

Código Matlab

```
% Variables: Yi^OLD, Di^ONT, Spi, Xsi.
f=[2500 0.77 26 70]; % Función a minimizar.
A=[-1500 0 0 1;0 1 -1600 0;0 0 -8 1]; % Matriz de
coeficientes de las restricciones con desigualdades.
b=[0 0 0]; % Vector de constantes de las
desigualdades.
Aeq=[0 1 0 -200]; % Matriz de coeficientes de las
restricciones de las igualdades.
beq=[0]; % Vector de constantes de las igualdades.
lb=[1 200 1 209]; % Límites inferiores
ub=[]; % Límites superiores
intcon=[1 2 3 4]; % Variables enteras.
[x,fval]=intlinprog(f,intcon,A,b,Aeq,beq,lb,ub)
disp('RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN
LINEAL')
fprintf('El valor de la variable Yi^OLD es:
%.f.\n',x(1))
fprintf('El valor de la variable Di^ONT es:
%.f.\n',x(2))
```

```
fprintf('El valor de la variable Spi es:  
%.f.\n',x(3))  
fprintf('El valor de la variable Xsi es:  
%.f.\n',x(4))  
fprintf('La función minimizada es igual a: %.f  
USD.\n',fval)
```

Anexo 7

Costos de insumos



CONSTRUCCION DE RED DE PLANTA EXTERNA

COSTOS Y EVALUACIÓN FINANCIERA

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS 2020

N°	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	COLOCACIÓN DE POSTE DE HORMIGÓN 10 m	u	1.00	\$ 271,75	\$ 271,75
2	COLOCACIÓN DE POSTE DE HORMIGÓN 12 m	u	1.00	\$ 340,30	\$ 340,30
3	CONFIGURACIÓN EQUIPO ONT H88245 SERVICIOS DE INTERNET	u	1.00	\$ 14,94	\$ 14,94
4	FUSIÓN DE 1 HILO DE FIBRA ÓPTICA	u	1.00	\$ 4,91	\$ 4,91
5	FUSIÓN DE 1 HILO DE FIBRA ÓPTICA CON PIGTAIL	u	1.00	\$ 8,51	\$ 8,51
6	INSTALACIÓN DE PORTA RESERVAS DE FIBRA EN GALERÍA DE CABLES	u	1.00	\$ 27,18	\$ 27,18
7	INSTALACIÓN DE HERRAJE MURAL	u	1.00	\$ 4,34	\$ 4,34
8	INSTALACIÓN DE HERRAJE 1 EXTENSION	u	1.00	\$ 8,54	\$ 8,54
9	INSTALACIÓN DE HERRAJE 2 EXTENSION	u	1.00	\$ 8,92	\$ 8,92
10	INSTALACIÓN DE HERRAJE B	u	1.00	\$ 13,45	\$ 13,45
11	INSTALACIÓN DE HERRAJE FAROL	u	1.00	\$ 19,12	\$ 19,12
12	PREFORMADO HELICOIDAL PARA VANO HASTA DE 200m PARA FIBRA ADSS 11,80-12,60mm	u	1.00	\$ 7,21	\$ 7,21
13	PREPARACIÓN DE PUNTA DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA Y SUJECIÓN DE CABLES DE 2 HILOS-CABLE DROP	u	1.00	\$ 2,58	\$ 2,58
14	PREPARACIÓN DE PUNTA DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA Y SUJECIÓN DE CABLES DE 6 - 96 HILOS	u	1.00	\$ 3,86	\$ 3,86
15	PRUEBA DE TRANSMISIÓN FIBRA ÓPTICA (POR HILO, POR FIBRA, EN 2 VENTANAS) + TRAZA REFLECTOMÉTRICA	u	1.00	\$ 4,69	\$ 4,69
16	PRUEBA DE POTENCIA DE 1 HILO DE FIBRA ÓPTICA 9PON	u	1.00	\$ 4,69	\$ 4,69
17	SUMINISTRO INSTALACION CABLE DE FIBRA ÓPTICA 6 HILOS 0652 D VANO 120	m	1.00	\$ 2,04	\$ 2,04
18	SUMINISTRO INSTALACION CABLE DE FIBRA ÓPTICA 12 HILOS 0652 D VANO 120	m	1.00	\$ 2,15	\$ 2,15
19	SUMINISTRO INSTALACION CABLE DE FIBRA ÓPTICA 24 HILOS 0652 D VANO 120	m	1.00	\$ 2,20	\$ 2,20
20	SUMINISTRO INSTALACION CABLE DE FIBRA ÓPTICA 48 HILOS 0652 D VANO 120	m	1.00	\$ 2,98	\$ 2,98
21	SANGRADO DE BUFFER DE FIBRA ÓPTICA	u	1.00	\$ 4,82	\$ 4,82
22	SANGRADO DE CABLE DE FIBRA ÓPTICA ADSS DE 6-48 HILOS	u	1.00	\$ 8,05	\$ 8,05
23	SANGRADO DE CABLE FIBRA ÓPTICA ADSS DE 72-96 HILOS	u	1.00	\$ 9,66	\$ 9,66
24	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE CAJA DE DISTRIBUCIÓN AÉREA NAF DE 8 PUERTOS 50/APC CON DERIVACIÓN	u	1.00	\$ 52,18	\$ 52,18
25	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROSETA ÓPTICA PARA FUSIÓN	u	1.00	\$ 3,77	\$ 3,77
26	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CAJA METÁLICA (30 X 30 X 10)cm ADOSADA	u	1.00	\$ 118,52	\$ 118,52
27	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CAJA METÁLICA (40 X 30 X 10)cm ADOSADA	u	1.00	\$ 121,75	\$ 121,75
28	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CAJA METÁLICA (60 X 40 X 15)cm ADOSADA	u	1.00	\$ 136,58	\$ 136,58
29	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CAJA METÁLICA (75 X 60 X 15)cm ADOSADA	u	1.00	\$ 176,45	\$ 176,45
30	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE IDENTIFICADOR ACRILICO	u	1.00	\$ 4,01	\$ 4,01
31	INSTALACIÓN DE PORTA RESERVAS DE FIBRA EN POSTE	u	1.00	\$ 8,42	\$ 8,42
32	ETIQUETA ADHESIVA UV	u	1.00	\$ 0,47	\$ 0,47
33	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ROSETA ÓPTICA 2 PUERTOS 50/APC	u	1.00	\$ 12,64	\$ 12,64
34	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PATCH CORD 50/UPC - 50/APC	u	1.00	\$ 7,45	\$ 7,45
35	SUMINISTRO E INSTALACION CABLE DE FIBRA ÓPTICA DROP 2 HILOS 0657A	m	1.00	\$ 0,77	\$ 0,77
36	SUMINISTRO E INSTALACION CONECTOR MECANICO 50/APC	u	1.00	\$ 8,23	\$ 8,23
37	SUMINISTRO E INSTALACION ONT H88245 - H88546M - H88545M	u	1.00	\$ 45,64	\$ 45,64
38	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE PATCH CORD UTP CAT 6	u	1.00	\$ 6,94	\$ 6,94
39	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MANGUERA CORRUGADA 3/4"	u	1.00	\$ 1,69	\$ 1,69
40	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE BANCHO Y TENSOR	u	1.00	\$ 1,50	\$ 1,50
41	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE HERRAJE DE DISPERSION	u	1.00	\$ 3,58	\$ 3,58
42	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MANGA PORTA SPLITER DE 12H	u	1.00	\$ 77,71	\$ 77,71
43	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MANGA PORTA SPLITER DE 24H	u	1.00	\$ 101,71	\$ 101,71
44	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE MANGA PORTA SPLITER DE 48H	u	1.00	\$ 125,71	\$ 125,71
45	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE SPLITTER 1:8 PARA FUSION	u	1.00	\$ 26,60	\$ 26,60
46	SUMINISTRO Y COLOCACIÓN DE ODF 48 HILOS 50/APC	u	1.00	\$ 321,22	\$ 321,22
47	CONFIGURACIÓN EQUIPO OLT M5680T	u	1.00	\$ 8,57	\$ 8,57

NOTA: ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN IVA.

ENERO DE 2020

ALPHA INGENIERIA