



**DISEÑO DE LA RUTA ÓPTIMA DE REGULACIÓN DE
VÁLVULAS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE TANQUES
DEL IBAL EN LA CIUDAD DE IBAGUÉ**

**Emanuel Morales Mafla
Andrés Felipe Orjuela**

**Facultad Ingeniería
Programa Ingeniería Industrial**

Ibagué, 2019

Diseño de la ruta óptima de regulación de válvulas de la red de distribución de tanques del IBAL en la ciudad de Ibagué

**Emanuel Morales Mafla
Andrés Felipe Orjuela**

Trabajo de grado que se presenta como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Industrial

Director (a):
Título Ing. Mario Alberto Casas Guerra
Director operativo del IBAL

**Facultad Ingeniería
Programa Ingeniería industrial
Ibagué, 2019**



Resumen

El IBAL es la empresa encargada del suministro de agua potable en la ciudad de Ibagué con el objetivo de cumplir esta misión se deben cumplir una serie de procesos, El proceso de regulación de válvulas consiste en conservar un control de la presión de agua que generan los tanques y mantener un nivel de agua estable para el suministro continuo de agua potable a los sectores, este proceso se realiza diariamente en 5 diferentes tanques ubicados en la ciudad de Ibagué, razón por la cual el operario debe transportarse en un vehículo a todos estos puntos. Con la finalidad de mejorar el proceso de regulación de válvulas reduciendo tiempos de transporte se requiere elaborar una optimización del ruteo que se realiza, al igual que se realiza un estudio de tiempos generando una estandarización de los tiempos de ejecución de la operación desarrollando una planificación y control del proceso.

Palabras clave Ruta, Optimización, Regulación de válvulas,

Abstract

The IBAL is the company in charge of supplying drinking water in the city of Ibagué. In order to fulfill this mission, a series of processes must be fulfilled. The process of valve regulation consists of preserving a control of the water pressure generated by the water tanks and maintain a stable water level for the continuous supply of potable water to the sectors, this process is carried out daily in 5 different tanks located in the city of Ibagué, reason why the operator must be transported in a vehicle to all these points . In order to improve the valve regulation process by reducing transport times, an optimization of the routing is generated, as well as a time study generating a standardization of the execution times of the operation, developing a control of the process .

Keywords: Route, Optimization, Valve regulation,



Contenido

Contenido

1. Marco teórico	17
2. Identificación y reconocimiento del objeto de estudio	19
2.1 Generalidades.....	19
2.2 Recolección de información	20
2.3 Caracterización de válvulas y cobertura de los sectores	22
3. Estandarización y control de tiempos.....	24
3.1 Estudio de tiempos.....	24
3.2 Elaboración de formatos	24
3.3 Calculo de la muestra	25
3.4 Toma de tiempos	26
3.5 Calculo del tiempo estándar	29
4. Ruta de optimización.....	33
4.1 Generalidades.....	33
4.2 Recolección de información	33
4.3 Elaboración de la ruta más corta.....	34
5. Conclusiones y recomendaciones	45
5.1 Conclusiones	45
5.2 Recomendaciones	46



Lista de figuras

Figura 2-1 Mapa de ubicación geográfica en la ciudad de Ibagué y los tanques	22
Figura 4-2: Elaboración de matriz en WINQSB	37
Figura 4-3: Parámetros de solución en WINQSB	38
Figura 4-4: Solución del modelo WINQSB	39
Figura 4-5 Solución grafica del modelo WINQSB.....	39
Figura 4-6: Orden de dirección de la ruta optimizada	40
Figura 4-7: Mapa con el recorrido optimo obtenido	41
Figura 4-8: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de cerro gordo a los otros distintos tanques	42
Figura 4-9: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de la 15 a los otros distintos tanques.....	43
Figura 4-10: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de la 29 a los otros distintos tanques.....	43
Figura 4-11: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de la piedra pintada a los otros distintos.....	44
Figura 4-12: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de Ambala a los otros distintos	44



Lista de tablas

Tabla 2-1 Registro de Horarios de Regulación de Válvulas.....	20
Tabla 2-2 Registro de los Tanques con Coordenada.....	21
Tabla 2-3 Registro de los Tanques con tipo de Válvulas por Sector.....	23
Tabla 3-1: Formato para la recolección de información en campo.....	24
Tabla 3-2: Relación de tiempos para cálculo de la muestra.....	25
Tabla 3-3: Registros de recolección de información primer día	27
Tabla 3-4: Registros de tiempos de relación de la muestra	28
Tabla 3-5 Suplementos del estudio de tiempos	30
Tabla 4-1 Registro de información recorrido día numero 1	34
Tabla 4-2 Registro de distancias más corta entre los Tanques	35
Tabla 4-3 Ubicación de los puntos en la ruta optimizada.....	40

Introducción

El presente trabajo tiene como objetivo proponer mejoras que permitan la optimización y organización del proceso de regulación de válvulas de los tanques de la red de distribución de agua potable pertenecientes a la empresa prestadora de servicio público domiciliario de la ciudad de Ibagué IBAL, con la finalidad de generar una mejora en la ejecución del proceso y establecer una planificación en la elaboración de las actividades que hacen parte del proceso de regulación de válvulas aportando una mejora organizacional, se establecen protocolos y ruteos fijos en la elaboración de las distintas actividades.

El IBAL es una empresa prestadora de servicio público domiciliario de la ciudad de Ibagué Encargada de la producción de agua potable; aseguramiento de la calidad del agua; Saneamiento básico; suministro y comercialización del agua potable; control y manejo de alcantarillado. Estos procesos son realizados con calidad, continuidad y cobertura contribuyendo a la protección y conservación del medio ambiente, la salud y seguridad de los trabajadores y garantizando la satisfacción del cliente.

Inmerso en la prestación del servicio de acueducto, los operarios deben realizar una regulación de válvulas en los tanques de agua potable diariamente tanto al inicio como al final de la jornada de operación, esto con el fin de evitar daños en las tuberías y un suministro continuo de agua potable que alimenten lo sectores hidráulicos de la ciudad.

Este es un proceso que se debe realizar diariamente de forma manual por los operarios de válvulas, los cuales se encargan de desplazarse a los tanques correspondientes a la red de distribución de agua potable en la ciudad de Ibagué para realizar el proceso de regulación de válvulas que permite estabilizar la presión que se genera durante las tres jornadas del día (Mañana, tarde y noche).

Para la elaboración de esta investigación se toma como jornada de estudio la correspondiente a la noche, debido a que es la jornada que la empresa quiere mejorar. La jornada de la noche se divide en dos diferentes horarios, durante la madrugada aproximadamente a las 3:30 AM los operarios de las válvulas deben hacer regulación de apertura de los tanques en toda la ciudad para dar inicio al servicio y suministrar agua potable de forma continua, razón por la cual los operarios de las válvulas se deben desplazar a todos los sectores de la ciudad y realizar la respectiva regulación.

Todas las válvulas tienen diferentes tiempos de operación, durante la noche se debe realizar un proceso de regulación de válvulas ya que el consumo de agua disminuye en los diferentes hogares y establecimientos que hacen parte de la de red de distribución, por aquella razón se debe regular las válvulas de presión de los tanques con el objetivo de evitar rompimiento en las tuberías , por lo cual los operarios de las válvulas deben realizar el proceso en la noche aproximadamente a las 8:45 PM en todos los diferentes sectores de la ciudad.



El tiempo promedio en que se demoran los operarios de las válvulas en realizar este proceso durante cada jornada es alrededor de 2 a 3 horas; el tiempo de la regulación de las válvulas es una variable muy importante debido a que a menor tiempo de elaboración de este procedimiento es menor el riesgo de generar rompimiento en las tuberías y permite un suministro continuo de agua.

Al observar e identificar la naturaleza del proceso de regulación de válvulas se logra identificar que la principal actividad para lograr el proceso es el desplazamiento vehicular hacia los distintos tanques ubicados en la red de distribución. El desplazamiento vehicular es realizado por un operario el cual también se encarga de realizar el proceso de regulación de válvulas

Con el objetivo de generar una disminución de tiempos en el desplazamiento vehicular que deben realizar los operarios para realizar el proceso de regulación de válvulas, se emplean las herramientas de ingeniería industrial como lo es el modelo de optimización de rutas que permite identificar las rutas más óptimas que el operario pueda tomar para llegar a los diferentes tanques completando la menor distancia en kilómetros existente entre cada uno de los puntos.

Se logró identificar que el proceso de regulación de válvulas actualmente no cuenta con un control organizacional en sus diferentes actividades ya que los operarios toman las rutas a los diferentes tanques a concepto propio, lo que genera una variabilidad en las diferentes rutas que se realizan diariamente generando diferentes resultados no óptimos al momento de ejecutar el proceso de regulación de válvulas

La planificación es un proceso que permite eficacia, rendimiento y un control de las actividades cumpliendo el principal objetivo que es el aprovechamiento máximo del sistema, al establecer una planificación donde se establece un orden de las actividades que deben cumplir los operarios para realizar el proceso de regulación de válvulas, generando así un control de las distintas actividades a realizar.

Con el objetivo de planificar y establecer un control en el proceso de regulación de válvulas se decide aplicar un estudio de tiempos que permita identificar y establecer tiempos estándares de elaboración del proceso en cuestión, promoviendo así una disminución en los tiempos muertos. Este proceso no cuenta con una supervisión directa a los operarios en los diferentes tanques razón por la cual establecer un tiempo estándar en la elaboración de las distintas actividades permite un control en la ejecución de estas mismas generando una disminución en los tiempos muertos

Descripción del problema y justificación

El IBAL siendo la principal empresa pública encargada de suministrar agua potable a la ciudad de Ibagué, debe realizar una actividad cotidiana tanto al inicio como al final de la jornada de operación en la red de distribución en la regulación de las válvulas que alimentan los sectores hidráulicos de la ciudad.

Este es un proceso que se debe realizar diariamente de forma manual por los operarios de válvulas, los cuales se encargan de desplazarse a los tanques correspondientes a la red de distribución de agua potable en la ciudad de Ibagué para realizar el proceso de regulación de válvulas que permite estabilizar la presión que se genera en dos momentos diferentes durante la jornada.

Durante la mañana aproximadamente a las 3:30 AM los operarios de las válvulas deben hacer regulación de apertura de los tanques en toda la ciudad para dar inicio al servicio y suministrar agua potable de forma continua, razón por la cual los operarios de las válvulas se deben desplazar a todos los sectores de la ciudad y realizar el protocolo establecido.

Todas las válvulas tienen diferentes tiempos determinados de operación, durante la noche se debe realizar un proceso de regulación de válvulas ya que el consumo de agua disminuye lo que puede generar un problema y romper las tuberías si no se realiza el debido procedimiento en las válvulas, por lo cual los operarios de las válvulas deben repetir el proceso en la noche aproximadamente a las 8:45 PM en todos los diferentes sectores de la ciudad.

El tiempo promedio en que se demoran los operarios de las válvulas en realizar este proceso durante cada jornada es alrededor de 2 a 3 horas; El tiempo de la regulación de las válvulas es una variable muy importante debido a que a menor tiempo de elaboración de este procedimiento es menor el riesgo de generar rompimiento en las tuberías y permite un suministro continuo de agua.

Por esta razón se decide apoyarse en las herramientas de ingeniería industrial como lo es el estudio de tiempos que permitirá determinar el tiempo estándar en el que los operarios de las válvulas deban realizar su función, al igual se utilizará el método de optimización de rutas para generar alternativas que permitan la reducción en el tiempo y la distancia al momento de realizar el proceso de regulación de válvulas en toda la red de distribución de tanques de agua potable de la ciudad de Ibagué.



Objetivos

- **Objetivo general**

Diseñar la ruta óptima de regulación de válvulas de la red de distribución de tanques del IBAL en la ciudad de Ibagué.

- **Objetivo específico**

- Identificar las válvulas que se operan y su operación en todos los sectores hidráulicos en la actividad de inicio y finalización de jornada operativa en la red de acueducto.
- Realizar un estudio de tiempos en el proceso de regulación de válvulas de la red de distribución de tanques del IBAL.
- Diseñar alternativas que permitan la reducción de tiempos muertos y un recorrido óptimo teniendo en cuenta la priorización de los sectores.

Metodología

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo ya que el escenario a investigar es el ruteo que deben realizar los operarios para ejecutar el proceso de regulación de válvulas de toda la red de distribución el cual es realizado por los operarios manualmente todos los días, por lo cual se deben calcular variables numéricas como el tiempo de ejecución de las actividades y las distancias que se deben recorrer para llegar a todos los sectores de la red de distribución

Para llevar a cabo esta investigación se debe seguir el siguiente procedimiento

1. Identificación de las válvulas

- Reconocer y analizar el ruteo que realizan los operarios de válvulas actualmente
- En el mapa de la ciudad de Ibagué resaltar los puntos donde se encuentran las válvulas que se operan
- Con la ayuda de GPS medir las distancias que hay entre los diferentes tanques de la red de distribución de agua potable del IBAL
- Por medio de la observación directa identificar las actividades que realizan los operarios en la ejecución del proceso de regulación de válvulas
- Para tomar las mediciones necesarias para la elaboración del trabajo es necesario calcular el número de observaciones a realizar por lo tanto se debe obtener una muestra dado a que este depende de gran medida el nivel de confianza del estudio de tiempos.
- Para el cálculo de esta muestra se deben realizar una serie de mediciones preliminares para luego poder aplicar la siguiente formula

$$n = \left(\frac{Z * \vartheta}{\varepsilon * \bar{X}} \right)^2$$

- Siendo Z = Valor de confianza del 95 % = 1,96
- Siendo ε = Valor del error 0,1
- Siendo ϑ = Valor de la desviación estándar de los valores obtenidos
- Siendo \bar{X} = Valor de la media de los valores obtenidos
- Siendo N = al número de observaciones realizadas

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

El cálculo de las observaciones preliminares para determinar el tamaño de la muestra, se realizará antes de empezar el estudio de tiempos



2. Elaboración de estudio de tiempos

- Elaboración de formatos donde se registre las actividades que realizan los operarios cotidianamente en el proceso de regulación de válvulas
- Examinar los datos registrados y el detalle de los elementos con sentido crítico para verificar si se utiliza la metodología más eficaz
- Por medio de observación directa y con la ayuda del cronometro calcular el tiempo en que los operarios realizan las diferentes actividades
- Calcular los tiempos de desplazamiento para llegar a cada una de las válvulas en la red de distribución
- Identificación de tiempos muertos en las actividades que realizan los operarios de las válvulas
- Calculo e identificación de los tiempos estándar en el que las actividades de regulación de válvulas se pueden ejecutar
-

3. Diseño de alternativas

- Revisar los formatos con el respectivo tiempo que se obtuvieron al realizar el proceso de regulación de válvulas por los operarios
- Realizar un estudio de métodos que permita aplicar métodos más sencillos y se logre aumentar la productividad en el proceso
- Elaboración de estrategias que permitan a los operarios reducir los tiempos muertos al momento de realizar la operación
- Con la variable obtenidas (distancia) aplicar el método de la ruta más corta que permita generar alternativas de ruta para la optimización de tiempo durante el recorrido de los operarios
- Identificar las posibles rutas optimas que pueden tomar los operarios de las válvulas en la red de distribución de tanques de agua potable de la ciudad de Ibagué teniendo en cuenta las distancias

1. Marco teórico

Para la elaboración de este trabajo de grado es importante conocer y explorar a fondo algunos conceptos que permitirán el desarrollo efectivo de esta investigación, a continuación, se explicarán y definirán estos conceptos

Inicialmente es importante conocer que el ruteo del vehículo tradicional es un modelo originado en estudios aproximadamente desde el año 1959 donde la principal problemática es el transporte y entrega de un producto a diferentes clientes distribuidos en diferentes lugares dentro de un mapa, siendo el transporte una de las principales condiciones para la ejecución adecuada del proceso de regulación de válvulas, es importante conocer la teoría y proximidad de la temática del modelo de ruteo de vehículos tradicional (Ortiz, Y 2016)

De igual forma, el ruteo de vehículos tradicional es un concepto que hace referencia a la optimización de los recorridos realizados por los vehículos que prestan un servicio a diferentes lugares donde se presenta una demanda de asistencia, esto con el fin de reducir costos y tiempo que permitan el cumplimiento exitoso del servicio (Bodin, 2013).

Por otro lado, el concepto de la ruta más corta hace referencia a determinar la menor distancia existente entre un grupo de nodos o vértices, generando así una optimización en tiempo, costos y recorrido. Usualmente para el desarrollo de esta teoría se pueden aplicar diferentes tipos de algoritmos como lo son el de Dijkstra, Bellman-Ford y Floyd Warshall (Gao, 2011; Abbas, Hussain, Zia & Mansoor, 2018).

El problema del agente viajero dentro del ámbito de la planeación de rutas es un modelo muy utilizado el cual desarrolla diferentes algoritmos buscando una solución óptima con el menor costo computacional, su principal objetivo de aplicación es el de realizar diferentes posibles rutas dentro del modelo teniendo en cuenta todas las perspectivas posibles, incluyendo los modelos que tengan una secuencia específica al igual que distribuciones que tengan una distribución de carácter logístico dentro del transporte (López, Erasmo, Salas, Óscar, & Murillo, Álex. (2014).

Es importante conocer que el estudio de tiempos y movimientos tiene por objetivo principal determinar el tiempo estándar en que un operario pueda realizar una tarea con las herramientas apropiadas y bajo condiciones ambientales adecuadas, este método usualmente se trabaja a través de la observación directa (Acero, 2009; Carlos & Acero, 2016)

Otro concepto importante para este trabajo de investigación es el muestreo, el cual es una herramienta matemática que tiene como objetivo principal el estudiar que parte de una población debe ser estudiada, así mismo evalúa las relaciones existentes entre la distribución de una variable "Y" en una población "Z" y la distribución de esta variable en la muestra a estudio (Piccini, 2013; Otzen & Manterola, 2017).



Un concepto necesario para la ejecución y el entendimiento del problema de optimización es el de inserción heurística el cual es un tipo de solución al problema del agente viajero antes mencionado que consiste en la construcción de ciclos que visiten unos nodos dentro del modelo para después extenderlos a los nodos restantes presentando una solución óptima (Cunquero, R. M. (2003)

De igual manera el concepto del ciclo de Hamilton hace hincapié en la ejecución de esta investigación ya que consiste en una trayectoria que inicia y finaliza en el mismo nodo pasando por todos los otros nodos una sola vez, siendo este ciclo un caso especial para el problema del agente viajero Stockdale, M. L. (2011)

Es importante resaltar la evolución que ha tenido a través del tiempo el problema de ruteo vehicular (VRP) que ha sido estudiado y evolucionado a partir de los principios del problema del agente viajero que busca hallar una taxonomía en los problemas de tipo VRP desde un punto de vista la formulación matemática Medina, L. B. R., La Rota, E. C. G., & Castro, J. A. O. (2011)

Siendo el caso de estudio un proceso de regulación es importante conocer el principio básico de este proceso es obtener una presión de entrada media una restricción del flujo de agua que se genera por medio de unos reductores de presión lo que permite un control adecuado de las presiones de los tanques por lo cual logra redes de distribución de agua potable mas estables y eficientes Fernández, L. J., & Huertas, E. Z. (2016).

El escenario de estudio de este trabajo es realizado en un principal proceso de un acueducto el cual se entiende como un sistema de instalaciones que suministran agua potable desde su fase inicial de captación hasta la fase final de distribución domiciliaria a los sectores que hacen parte de la red Ramírez Martínez, C. J. (2016).

2. Identificación y reconocimiento del objeto de estudio

2.1 Generalidades

IBAL SA ESP OFICIAL. Empresa ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado es una entidad pública, que presta los servicios de acueducto y alcantarillado, con calidad, continuidad y cobertura, contribuyendo a la protección y conservación del medio ambiente, la salud y seguridad de los trabajadores, garantizando la satisfacción del cliente

El funcionamiento de un acueducto se divide en diferentes componentes que permiten la recolección almacenamiento y distribución del agua a los diferentes beneficiarios del servicio que son todos los hogares, establecimientos y puntos de suministro de agua que hacen parte de la red de distribución de agua del IBAL en la ciudad de Ibagué.

La captación del agua se hace directamente en la planta de tratamiento ubicado en el barrio la Pola, donde se recibe el agua proveniente del río Combeima y la quebrada Cay, allí se realiza el proceso de limpiezas partículas por medio del desarenador el cual es un instrumento que hace la función de colador y permite la extracción de arena con la que llega el agua. El agua es almacenada en la planta potabilizadora donde se realiza el proceso de floculación donde se adiciona un químico que permite la anulación de partículas coloidales presentes en el agua, al igual con el objetivo de potabilizar el agua se realiza el proceso de sedimentación que permite por medio de la gravedad separar el agua de partículas sólidas que generan impurezas en el agua para el consumo

El agua al estar potabilizada y lista para el consumo humano debe ser conducida y almacenada en tanques que se encuentran localizados en diferentes puntos de la ciudad de Ibagué teniendo en cuenta la diferencia de nivel poblacional en la zona, requerimiento de presión de la red de suministro, distancia a la planta de tratamiento, nivel freático del área, condiciones ambiental y posibilidad de inundación del predio. En la actualidad el IBAL cuenta con 13 tanques de almacenamiento.

La conducción del agua es realizada por medio de la red de distribución el cual es el conjunto de tuberías que suministran el agua potable desde la planta principal y demás tanques que se encuentran en la ciudad a todos los consumidores que hacen parte de esta red teniendo en cuenta un intervalo de presión para evitar daños en la tubería que perjudican la red de distribución.

El IBAL siendo la principal empresa pública encargada de suministrar agua potable en la ciudad de Ibagué, debe ofrecer un suministro continuo de agua potable a los diferentes sectores que hacen parte de la red de distribución.

El proceso de regulación de válvulas se realiza con el fin de dar un continuo suministro de agua, controlando la presión en la tubería, logrando mantener el nivel de agua estable en los tanques y también permite evitar daños en las tuberías generados por la presión que se genera en los tanques.



El suministro de agua potable debe ser constante durante todo el día en los diferentes sectores, razón por la cual la operación de regulación de válvulas debe realizarse durante 3 jornadas para mantener el control del nivel de agua que presentan los tanques. En la Tabla 2-1 se registran los horarios de las jornadas que deben realizar los operarios.

Tabla 2-1 Registro de Horarios de Regulación de Válvulas

JORNADA	HORA DE INICIO	HORA DE FINALIZACIÓN
Mañana	7 am	1 pm
Tarde	1 pm	9 pm
Noche	9 pm	7 am

Fuente: Propia.

Actualmente el proceso de regulación de válvulas no cuenta con un ruteo establecido fijo a los diferentes tanques de agua de la red de distribución de agua potable razón por la cual los operarios encargados deben trasladarse a los diferentes puntos establecidos, los operarios son libres de tomar el recorrido que desean generando una variabilidad de en los ruteos y así distancias de recorridos innecesarios.

Para el análisis y desarrollo del caso de estudio, se decide tomar como referencia la jornada nocturna que va de (9:00 PM – 7:00AM), debido a que en esta jornada se cumplen las dos operaciones que corresponden a regulación de válvulas y apertura de válvulas.

2.2 Recolección de información

La recolección de información se hizo a partir de un proceso coordinado, planeado y aprobado por el director operativo del IBAL, cumpliendo con las diferentes normas de seguridad en el trabajo.

La recolección de información inicia con el desplazamiento en los vehículos de la empresa IBAL, a los diferentes distritos donde se encuentran los tanques que alimentan de agua potable a todos los sectores. En cada distrito se encuentra una válvula que debe ser operada según la necesidad que presenta el tanque.

El recorrido que realizan los operarios en la jornada nocturna inicia en la sede administrativa del IBAL Carrera 3 No.1- 04 en el barrio la Pola, donde deben realizar el cambio de turno, el registro del vehículo que hace el recorrido e informar la salida.

El registro de información se hizo en cinco (5) tanques, que son operados en el turno nocturno. Cada uno de estos tanques alimentan de agua potable a diferentes sectores de la ciudad de Ibagué, estos tanques se encuentran ubicado en un punto estratégico de la red de distribución.

La recolección de información se hizo contando con el acompañamiento del operario de válvulas, se realizó el recorrido a los distintos tanques que hacen parte de la red de distribución allí se logra identificar la principal información requerida para el desarrollo de la investigación.

Los tanques se encuentran ubicados en puntos estratégicos que permiten una conexión con la red de distribución de agua potable. Cada uno de estos tanques alimenta distintos sectores que se encuentran en el perímetro de la zona.

En la tabla 2-2 se registran la relación de los tanques con las respectivas coordenadas de ubicación satelital de cada punto en la ciudad de Ibagué y en la figura 2-1 se presenta el mapa de la ciudad de Ibagué que indica la ubicación de cada uno de los tanques que hacen parte de la red de distribución de agua potable

El recorrido que se realiza para realizar el proceso de regulación de válvulas se inicia desde la planta de tratamiento de agua ubicado el barrio la Pola, ya que es donde los operarios recogen el automóvil que utilizaran para desplazarse a todos los 5 tanques que deben visitar

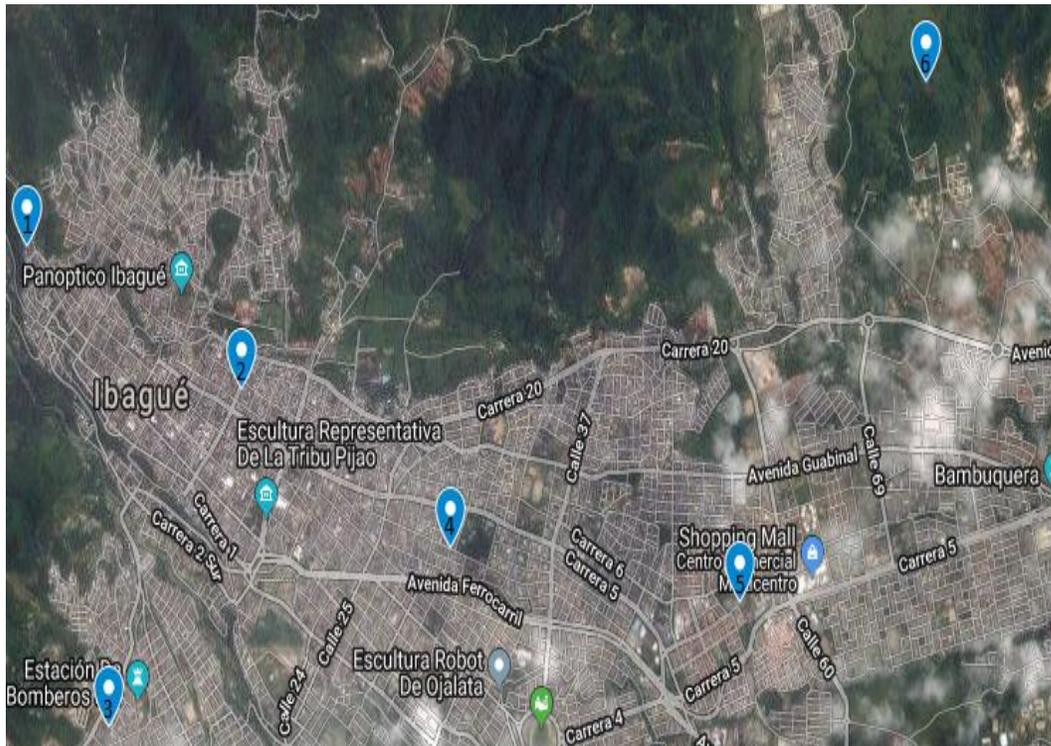
Tabla 2-2 Registro de los Tanques con Coordenada

Número de puntos	NOMBRE DEL TANQUE	COORDENADAS
1	Planta de Tratamiento de Agua Potable IBAL - La Pola	4.450989, -75.249415
2	IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL/ Tanque de la 15	4.444795,-75.236530
3	Tanque de cerro gordo	4.43048,-75.244419
4	Tanque de la 29	4.438085,-75.223639
5	Tanque de piedra pintada	4.435797,-75.206037
6	Tanque de Ambala	4.444795,-75.236530

Fuente: Propia



Figura 2-1 Mapa de ubicación geográfica en la ciudad de Ibagué y los tanques



Fuente: Google Maps

Estos tanques son visitados diariamente por los operarios de válvulas en la jornada nocturna durante todos los días del año. Los vehículos de transporte utilizados para los recorridos están dotados con las herramientas necesarias para realizar el proceso de regulación de válvulas.

Debido a las condiciones topográficas y dinámicas de los tanques, se cuenta con un sistema de válvulas reguladoras de presión que permiten el control de la presión de los caudales suministrados a los diferentes distritos también permitiendo evitar daños en las tuberías o en los accesorios, por el fenómeno conocido como “golpe de ariete” que es generado por una fuerte presión en las tuberías de la red de distribución esto genera un corte de agua potable a los beneficiarios de los diferentes distritos que se alimentan en la red de distribución de agua potable .

2.3 Caracterización de válvulas y cobertura de los sectores

Los tanques que pertenecen a la red de distribución del estudio cuentan con 1 tipo de válvula.

Figura 2-2 Ilustración válvula cortina



1. Válvulas tipo Cortina: La válvula tipo cortina se caracteriza principalmente por levantar una cuchilla o compuerta que permite el libre paso de fluidos son de operación más larga que las de válvulas de mariposa ya que necesita una vuelta enterar para dar posición de cerrado a posición abierta.

Los reductores de presión que hacen parte esencial del sistema de funcionamiento de los tanques, favorecen el suministro continuo de agua potable a los diferentes sectores ya que este sistema permite evitar daños en las tuberías por el rompimiento, fugas en los accesorios generando una calidad en el servicio

En el proceso de recolección de información se identificaron los tanques que hacen parte de la red de distribución que suministran el agua potable a los diferentes barrios y sectores de la ciudad de Ibagué, de igual manera se identificó el tipo de válvula que se encuentra en cada uno de los tanques. En la Tabla 2-2 se registra esta información

Este proceso de observación directa se realiza para identificar los sectores que hacen parte de la red de distribución y conocer las válvulas que forman parte de los tanques dando mayor información a la naturaleza del problema

Tabla 2-3 Registro de los Tanques con tipo de Válvulas por Sector

TANQUE	TIPO DE VÁLVULA	PRINCIPALES SECTORES
Cerro gordo	Cortina	Barrios: Yuldaima, Venecia, Galarza, Kennedy, galán, San pedro alejandrino y el sector del terminal
La 15	Cortina	Barrios desde la calle 15, Barrio Cádiz, Calle 42, Carrera 7 Barrios Calarcá y Restrepo
La 29	Cortina	Barrios aledaños
Piedra pintada	Cortina	Barrios: Piedra pintada y Jordán y la Zona industrial
Ambala	Cortina	Barrios: Vergel, topacio, Jardín, Protecho, Vasconia y la cima

Fuente: Propia.

A partir de la observación directa y el acompañamiento a los operarios de válvulas, a los respectivos puntos (tanques), donde se realiza la operación de regulación se logró obtener la información necesaria para realizar la investigación que permita una optimización de tiempo y posibles mejoras que se puedan realizar en el proceso de regulación de válvulas.



3. Estandarización y control de tiempos

3.1 Estudio de tiempos

Siendo uno de los principales objetivos del trabajo establecer un orden en el proceso de regulación de válvulas se realiza un estudio de tiempos que permite identificar las actividades que se realizan en el proceso de regulación de válvulas el tiempo en que se ejecutan y establecer un tiempo estándar en la elaboración de este proceso.

Con la finalidad de establecer una planificación en el proceso de regulación de válvulas es importante conocer los tiempos estándares de las variables analizadas principalmente como lo son el tiempo y distancia recorrida en las 2 principales actividades que son el transporte vehicular a los diferentes puntos y el proceso de regulación de las válvulas

La importancia del estudio de tiempos en este caso permite reducir los tiempos en la ejecución de las 2 actividades (transporte y regulación de la válvula) ya que es una variable de gran importancia para el proceso, al igual permitirá la reducción de gasto en la gasolina en el transporte vehicular siendo así el factor económico disminuido

3.2 Elaboración de formatos

Para dar inicio al estudio de tiempos primero se realiza un formato donde se establecen las actividades que debe cumplir el operario para completar su función, esta tabla contiene la información necesaria para analizar las variables de interés para la elaboración de esta investigación que son tiempo y distancia

Tabla 3-1: Formato para la recolección de información en campo

FORMATO PARA TOMA DE TIEMPOS									
Fecha								Jornada	Noche
#	Origen	Tiempo de recorrido	Tiempo de operación	Tipo de válvula	Numero de vueltas	Tipo de regulación	Tiempo Muerto	Distancia recorrida	Destino
1									
2									
3									
4									
Fecha								Jornada	Madrugada
#	Origen	Tiempo de recorrido	Tiempo de operación	Tipo de válvula	Numero de vueltas	Tipo de regulación	Tiempo Muerto	Distancia recorrida	Destino
5									
6									
7									
8									

Fuente: Propia

3.3 Calculo de la muestra

Teniendo en cuenta que para la elaboración de este estudio de tiempos se debe calcular la cantidad de muestras que se van obtener para realizar el debido análisis y proponer las posibles respuestas en esta investigación. Para el cálculo de la muestra primero se deben realizar 10 muestras previas con los tiempos de las actividades realizadas y aplicar la siguiente formula

$$n = \left(\frac{Z * \vartheta}{\varepsilon * \bar{X}} \right)^2$$

Siendo Z = Valor de confianza del 95 % = 1,96

Siendo ε= Valor del error 0,1

Siendo ϑ = Valor de la desviación estándar de los valores obtenidos

Siendo \bar{X} = Valor de la media de los valores obtenidos

Siendo N = al número de observaciones realizadas

$$\vartheta = \sqrt{\frac{\sum (X-x)^2}{N-1}}$$

Tabla 3-2: Relación de tiempos para cálculo de la muestra

Numero de mediciones	Tiempo	X	X- \bar{X}	(X- \bar{X}) ²
1	11:51	11,850	-0,782	0,6110028
2	13:52	13,867	1,235	1,525225
3	19:30	19,500	6,868	47,174003
4	12:56	12,933	0,302	0,0910028
5	11:12	11,200	-1,432	2,0496694
6	11:22	11,367	-1,265	1,600225
7	9:24	9,400	-3,232	10,443669
8	5:53	5,883	-6,748	45,540003
9	16:41	16,683	4,052	16,416003
10	13:38	13,633	1,002	1,0033361
Total		126,317		126,45414

Fuente: Propia

$$\vartheta = \sqrt{\frac{125,4541}{10-1}} \qquad \vartheta = 3,73354$$



$$\bar{X} = \frac{\sum x}{N} \qquad \bar{X} = 12,6317$$

Teniendo todos los valores se reemplaza en la fórmula para hallar el número de muestras previas hay que realizar

$$n = \left(\frac{1,96 * 3,33547}{0,1 * 12,6317} \right)^2$$

$$n = 26,78 \approx 27 \text{ muestras}$$

3.4 Toma de tiempos

Al aplicar la fórmula con la información del muestreo previo realizado se llegó a la conclusión de que se deben realizar 27 muestras mínimo para poder analizar y buscar alternativas que permitan una mejora en la actividad con la ayuda del estudio de tiempos

Asignados por el director operativo del IBAL, se realizan los muestreos durante la jornada (Madrugada y noche) durante 5 días ya que durante la jornada de noche se pueden obtener el número de muestras de las variables necesarias para realizar el estudio de tiempos

Para implementar el estudio de tiempos se decide realizar por medio de la observación directa, acompañando a los operarios en los recorridos que realizan y con la ayuda del cronometro para realizar la toma de los tiempos de recorrido, tiempos de operación y tiempos muertos.

Para la elaboración del estudio de tiempos se decide trabajar únicamente con la actividad de regulación de válvula la cual se realiza manualmente y consiste en girar una válvula un número de veces según requiera el nivel del tanque. Esto se realiza con el fin de obtener un tiempo estándar de ejecución de esta actividad para obtener así un tiempo total estándar en la ejecución de todos los tanques que son operados y establecer un tiempo fijo en el proceso completo

Esta operación es muy variable ya que no siempre se regulan las válvulas con el mismo número de vueltas en todos los tanques y también cambia durante los días. A lo que se quiere llegar con la elaboración de este estudio es establecer un tiempo promedio en que los operarios deben realizar esta función, Con la finalidad de evitar tiempos muertos y establecer un control en esta operación.

Establecer un tiempo estándar de operación permitirá establecer un orden en el proceso de regulación de válvulas y disminuir los tiempos muertos evitando demoras por los operarios en tareas no necesarias y en tiempo de ocio al momento de dirigirse a los tanques de la red de distribución de agua potable

En la Tabla 3-3 se registran los formatos que se diligenciaron para realizar las muestras y obtener la información necesaria para desarrollo del estudio de tiempos

Tabla 3-3: Registros de recolección de información primer día

FORMATO PARA TOMA DE TIEMPOS								
Fecha	17-12-18						Jornada	Noche
#	Origen	Tiempo de operación	Tipo de válvula	Numero de vueltas	Tipo de regulación	Tiempo Muerto	Distancia recorrida	Destino
1	IBAL	1:32	cortina	25	Protocolo	2:25	3,40 km	Cerro Gordo
2	Cerro Gordo	0:50	cortina	5	protocolo	2:10	4,22 km	La 29
3	La 29	6:24	No hay regulación		Revisión de daño		6,42 km	Vergel
4	Vergel	5:00	No hay regulación		Revisión		1,99 km	Ambala
Fecha	18-12-18						Jornada	Madrugada
#	Origen	Tiempo de operación	Tipo de válvula	Numero de vueltas	Tipo de regulación		Distancia recorrida	Destino
2	Cerro Gordo	0:30	cortina	5	Protocolo	1:20	4,37 km	la 29
3	La 29	2:02	cortina	12	Protocolo	4:25	2,37 km	Piedra pintada
4.	Piedra Pintada	4:32	cortina	6--10	Protocolo	4:50	5,25 km	Ambala
5	Ambala	0:42	Cortina	9	Protocolo	2:10	4,45 km	Piedra pintada

Fuente: Propia

Los formatos junto con la información recolectada en el trabajo de campo durante los cuatros días restantes es anexada junto a este trabajo como anexo 1

Con la información obtenida se puede extraer el número de muestras necesarias para realizar el estudio de tiempos y establecer un tiempo estándar del proceso de regulación de válvulas, durante los recorridos en todos los tanques no siempre se realizó el proceso



de regulación de válvulas por lo que los valores de la muestra solo van a ser 29 que fue el número de regulaciones que se realizaron.

En la tabla 3-4 se registra la relación de muestras:

Tabla 3-4: Registros de tiempos de relación de la muestra

Observaciones	Tiempo de operación	Tiempo Muerto	Tiempo total
1	0:01:32	0:02:25	0:03:57
2	0:00:50	0:02:10	0:03:00
3	0:00:30	0:01:20	0:01:50
4	0:02:02	0:04:25	0:06:27
5	0:04:32	0:04:50	0:09:22
6	0:00:42	0:02:10	0:02:52
7	0:01:10	0:04:19	0:05:29
8	0:01:02	0:01:10	0:02:12
9	0:00:42	0:01:12	0:01:54
10	0:03:45	0:03:10	0:06:55
11	0:03:12	0:01:10	0:04:22
12	0:02:25	0:03:20	0:05:45
13	0:01:25	0:02:17	0:03:42
14	0:00:52	0:01:22	0:02:14
15	0:01:55	0:01:10	0:03:05
16	0:00:50	0:02:40	0:03:30
17	0:01:11	0:02:50	0:04:01
18	0:03:08	0:04:32	0:07:40
19	0:01:46	0:04:32	0:06:18
20	0:00:52	0:03:10	0:04:02
21	0:05:20	0:06:25	0:11:45
22	0:05:27	0:04:20	0:09:47
23	0:06:11	0:03:17	0:09:28
24	0:02:03	0:01:22	0:03:25
25	0:02:53	0:02:50	0:05:43
26	0:00:50	0:01:04	0:01:54
27	0:00:32	0:01:22	0:01:54
28	0:03:10	0:03:45	0:06:55
29	0:07:23	0:02:40	0:10:03
Total	1:08:12	1:21:19	2:29:31
Promedio	0:02:21	0:02:48	0:05:09

Fuente: Propia

3.5 Calculo del tiempo estándar

Teniendo en cuenta como uno de los objetivos establecer una planificación y un orden al proceso de regulación de válvulas es importante tener puntos de referencia que permitan establecer un orden de las actividades que se realizan, el tiempo de ejecución de la principal actividad que es el de regulación de válvulas dentro del proceso es la variable más importante razón por la cual se desea establecer un tiempo estándar de ejecución de esta actividad con el objetivo de optimizar y mejorar el proceso que se está estudiando

Para el análisis del estudio de tiempos se tendrá en cuenta únicamente el tiempo de operación con el tiempo muerto ya que el tiempo de recorrido es un tiempo muy variable por lo tanto durante el proceso de recolección de información no se realizaron las mismas rutas por lo que no existe un ruteo fijo establecido

1) Valoración del ritmo del trabajador

Esta valoración se realiza con la intención de calificar a los operarios que realizan la operación ya que estos pueden variar dependiendo de su capacidad al momento de ejecutar la operación. Durante las observaciones realizadas al momento de calificar la velocidad del trabajador siendo diferentes operarios los que realizaron la operación se llegó a la conclusión que al momento en que ellos operaron las válvulas siendo una actividad sencilla todos la realizaron a una velocidad normal no generando mucha variabilidad en los tiempos obtenidos

Rápido Valoración >100%

Normal Valoración = 100 %

Lento Valoración < 100%

2) Calculo del tiempo básico

Tiempo Básico = Tiempo Promedio X Valoración

Tiempo Básico = (00:02:21) x 0,9 =00:02:07

Al obtener el tiempo básico que se tiene después de realizar la calificación por la valoración del ritmo del trabajador ahora se debe calcular el factor de los suplementos de tiempo que se obtienen por las exigencias de la operación, se utilizara el método de Westinghouse para obtener este factor a continuación se muestra la tabla de valoración y el resultado obtenido de la calificación



Tabla 3-5 Suplementos del estudio de tiempos

SUPLEMENTOS CONSTANTES	
Descripción	Hombres
Suplemento por necesidades personales	5
Suplemento base por fatiga	4
SUPLEMENTOS VARIABLES	
Suplemento por trabajar de pie	2
A. Suplemento por postura anormal incómoda (inclinado)	2
C. Uso de fuerza/energía muscular 7,5 kg	2
D. Mala iluminación insuficiente	5

enfriamiento Kata	
16	0
Trabajos de gran precisión o muy fatigosos	5
Ruido	
Continuo	0
Intermitente y fuerte	2
Tensión mental	
Proceso bastante complejo	1
Monotonía	
Trabajo muy monótono	4
Tedio	
Trabajo bastante aburrido	2

Nota. Tabla recuperada de Introducción al estudio del trabajo, 4ta Edición George Kanawaty FREELIBROS.ORG

Teniendo un total en el factor de suplementos de 34

Se aplica la siguiente fórmula para obtener el tiempo final

Este tiempo es conocido como el tiempo coincido final

$$T_t = 00:02:07 \times (1 + 0,34)$$

$$T_t = 0:02:50$$

Al realizar el estudio de tiempos se logró como resultado que para la operación que se realiza de regulación de válvulas teniendo en cuenta únicamente el tiempo de operación en todas las 29 muestras que se realizaron se tiene una respuesta en el tiempo teniendo en cuenta una valoración de velocidad del 90% y un factor de suplementes de 34% según la tabla de Westinghouse equivalente a 2 minutos y 50 segundos como tiempo estándar en la operación de regulación de válvulas.

Teniendo en cuenta el objetivo de realizar el proceso de regulación de válvulas entre todos los tanques en el menor tiempo posible es importante establecer un tiempo estándar total de regulación de todas las válvulas que hacen parte de la red de distribución

Siendo 5 válvulas las que deben ser reguladas y el tiempo estándar es igual a 0:02:50

Tiempo total de las 5 válvulas = $0:02:50 \times (5) = 0:14:10$

El tiempo estándar de regulación de todas las cinco válvulas es igual a 0:14:10

4. Ruta de optimización

4.1 Generalidades

Con el fin de cumplir la labor de regulación de válvulas los operarios deben transportarse en un vehículo de la Empresa el IBAL; a los diferentes tanques que hay en la ciudad de Ibagué, razón por la cual el tiempo de desplazamiento y distancia recorrida son variables importantes en la operación, ya que realizar las regulaciones de protocolo establecidas en un rango de tiempo permite evitar daños en las tuberías de la red de distribución al igual que permite un suministro continuo de agua a los distintos sectores

El principal objetivo de esta investigación es diseñar una ruta óptima que deben optar los operarios para cumplir con el proceso de regulación de válvulas, al igual que generar algunas alternativas de mejoramiento que permitan una eficiencia o reducción en los tiempos en las distancias recorridas por los operarios.

Con el objetivo de mejorar el desempeño y lograr una eficiencia y eficacia en el proceso de regulación de válvulas se decide aplicar las herramientas de ingeniería industrial que permita optimizar una de las principales actividades del proceso, que es el transporte vehicular a los distintos tanques de agua que deben regularse, La optimización y establecimiento de una ruta fija permitirá una mejora y una reducción de tiempos muertos y reducción de gastos principalmente de gasolina

4.2 Recolección de información

Con el propósito de conocer el ruteo que se realiza entre los tanques para cumplir con el proceso de regulación de válvulas, se decide hacer el acompañamiento con el fin de registrar la siguiente información de los recorridos que se realizan.

- La distancia que recorren para llegar a cada uno de los puntos

Durante 5 días consecutivos se realiza el acompañamiento al operario de válvulas en la jornada nocturna, para conocer la ubicación geográfica de cada uno de los tanques, para esta recolección de información no se necesita tomar muestras ya que con la ubicación geográfica y la distancia en kilómetros que hay entre los tanques es suficiente para realizar la optimización de la ruta. El tiempo es una variable que se recolectó al momento del registro de información pero que no se tuvo en cuenta ya que no genera un valor importante al momento de tomar una decisión, puesto que este proceso se realiza en una jornada nocturna donde el tiempo de transporte no varía mucho por la facilidad de traslados a los tanques en ausencia de obstrucción vehicular a continuación en la tabla 4-1 se evidencia el registro de información del recorrido del día numero 1 en el apartado de anexos 2 se evidencia el registro de información de los cuatro días restantes

Tabla 4-1 Registro de información recorrido día numero 1

Primer día			
Jornada de la noche			
#	Origen	Distancia recorrida	Destino
1	IBAL	3,40 km	Cerro Gordo
2	Cerro Gordo	4,22 km	La 29
3	La 29	6,42 km	Vergel
4	Vergel	1,99 km	Ambala
Jornada de la madrugada			
#	Origen	Distancia recorrida	Destino
5	Cerro Gordo	4,37 km	la 29
6	La 29	2,37 km	Piedra pintada
7	Piedra Pintada	5,25 km	Ambala
8	Ambala	4,45 km	Piedra pintada

Fuente: Propia

4.3 Elaboración de la ruta más corta

Después de realizados los recorridos y conocer las rutas que se toman para llegar a los distintos tanques, se encuentra una variabilidad en los ruteos, ya que ninguno de los días se realiza el mismo recorrido y no se visitan todos los tanques durante la jornada, razón por la cual se identifica la primera problemática, que corresponde a la variabilidad de los recorridos, no existe una ruta establecida para realizar los recorridos en el proceso de regulación de válvulas, La variabilidad de los recorridos es generada por distintos factores como:

- Priorización de tanques debido a bajo nivel de agua: esto puede suceder cuando en un sector hay un alto consumo de agua fuera de lo normal, durante el año este problema se presenta en temporadas en que la ciudad recibe el ingreso de visitantes como lo puede ser la temporada navideña o la temporada de ferias y fiestas del Tolima.

•Daños en la tubería, Cuando se presenta un daño grande de tuberías que afecte en gran proporción a un sector el operario de válvulas tendrá que apoyar a los operarios encargados de arreglar el daño, por si es necesario cerrar algún distrito.

•Decisión del operario, los operarios sin contar una ruta establecida para realizar el recorrido ellos toman la decisión de que ruteo van a realizar para llegar a cada uno de los tanques

Debido a la variabilidad de las rutas que se toman y a la ausencia de un plan de recorrido establecido, se pueden generar problemas en el proceso de regulación de válvulas ocasionando un incremento en los daños de tuberías y el no suministro continuo de agua potable a los sectores, además de que se gasta mayor tiempo y se recorre mayor distancia.

Con la información obtenida del proceso de regulación de válvulas, como lo es la ubicación geográfica de cada uno de los puntos que hacen parte de la red de distribución, se debe formular un gráfico que describa todas las posibilidades existentes para realizar el debido recorrido entre los distintos puntos y aplicar el concepto de la ruta más corta que permita optimizar el ruteo

Contando con un GPS y Google maps, establecimos las distancias más cortas en kilómetros que existen entre cada uno de los puntos para así establecer una matriz que permita realizar un gráfico entre cada uno de los nodos que hacen parte de la red de distribución de agua potable en la Tabla 4-2 se evidencia la matriz con las respectivas distancias en kilómetros entre tanques

Tabla 4-2 Registro de distancias más corta entre los Tanques

	IBAL	Tnq 15	Tnq Cerro	Tnq la 29	Tnq PiedraP	Tnq Ambala
IBAL	0 km	1,8 km	3,2 km	3,5 km	6,2 km	9 km
Tnq 15	2,2 km	0 km	4,2 km	2,3 km	4,4 km	7,3 km
Tnq Cerro	3,8 km	4,02 km	0 km	4,3 km	6,4 km	10,9 km
Tnq la 29	4,1 km	2,3 km	3,9 km	0 km	2,3 km	6,3 km
Tnq Piedra P	5,5 km	3,8 km	6,2 km	2,4 km	0 km	5,6 km
Tnq Ambala	8 km	6,4 km	9 km	5,2 km	4,9 km	0 km

Fuente: Propia

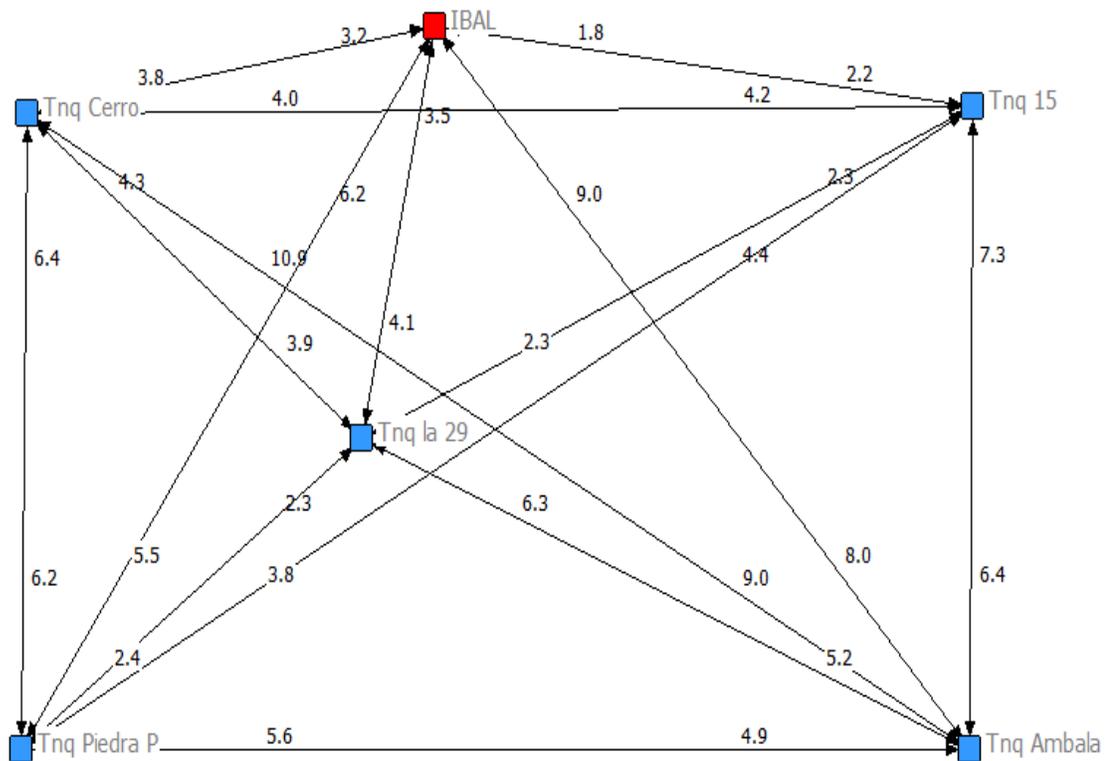
La matriz obtenida permite generar un valor en kilómetros que existe para transportarse a cada uno de los tanques, el problema que se está abordando para el estudio se divide en 6

diferentes nodos cada nodo tiene 5 rutas posibles para llegar a cada uno de los tanques, este problema no tiene en condiciones normales una priorización de visita de tanques siendo la única condición encontrar la distancia más corta.

Contando con esta información se logró diseñar el grafico de nodos, Con la ayuda del software UCINET, program que nos permite editar la matriz con respecto a las características que necesitamos para realizar el grafico, Teniendo la matriz en el formato correspondiente se ejecuta el software llamado NETDRAW. Con ayuda de este software, realizamos el grafico de nodos obteniendo todas las rutas posibles que hay para visitar cada uno de los puntos que existen en el proceso de regulación de válvulas

A continuación, en la figura 4-1, se muestra el grafico de nodos que conecta cada uno de los puntos existentes que hacen parte del sistema de distribución.

Figura 4-1 Grafico de Nodos que conecta los Puntos (tanques)



Fuente: UCINET Program

Al obtener el grafico de nodos se puede lograr una mejor descripción de las posibles rutas que se pueden tomar y la distancia que tiene cada una de ellas para llegar a cada uno de los tanques.

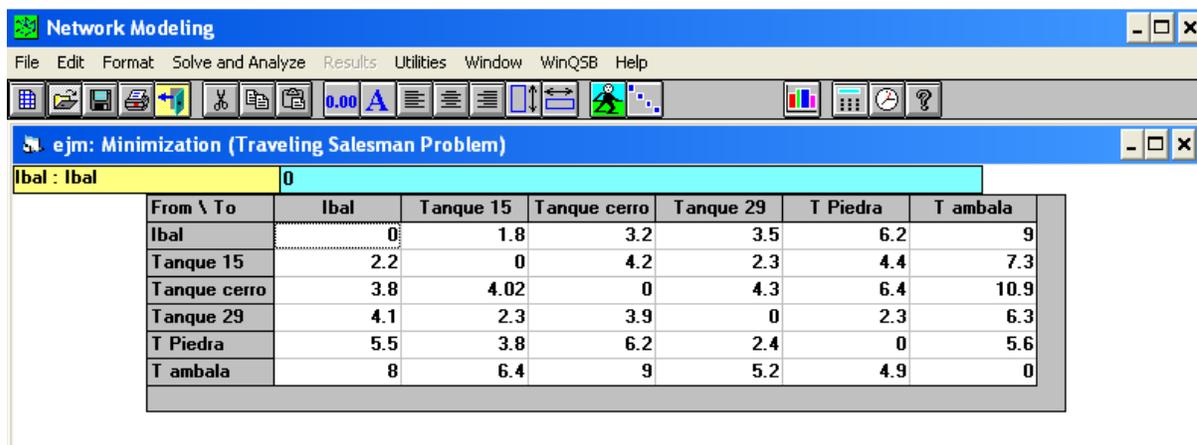
El objeto de estudio que se presenta en esta parte de la investigación consiste en el transporte vehicular a diferentes puntos iniciando desde un nodo y finalizando el recorrido en este mismo nodo, con la única condición que se debe visitar cada uno de los puntos una vez. En la teoría este modelo se conoce como el problema del agente viajero el cual consiste en el transporte a diferentes nodos visitándolos una vez realizando el recorrido en la menor distancia recorrida entre todos los puntos.

En el caso de estudio que se esta trabajando, el operario de válvulas es el encargado de transportarse a los 5 diferentes tanques de la ciudad (nodos) una vez, partiendo desde un punto inicial que es la planta de tratamiento de agua IBAL y en ese punto se debe finalizar el recorrido. Con la información lograda en el trabajo de campo realizado, se obtienen las distancias en kilómetros que hay entre cada uno de los nodos en el modelo, lo que permite encontrar la ruta mas corta entre cada unos de los vértices cumpliendo así un ciclo de Hamilton ya que la trayectoria inicia y finaliza en el mismo punto teniendo en cuenta únicamente la variable de distancia.

Con el objetivo de encontrar la posible mejora del ruteo presentado en este problema y aplicar la metodología conocida en el problema del agente viajero y cumplir el ciclo de Hamilton se decide utilizar el software “Winqsb” que permite una solución practica al problema presentado generando una ruta óptima para el proceso que se está analizando

La matriz generada anteriormente en la tabla 4-2 debe ser agregada al programa WINQSB para denotar las distancias existentes entre cada uno de los tanques, el número de distancias encontradas entre los puntos es igual a 32 lo que genera una gran cantidad de opciones posibles para la solución

Figura 4-1: Elaboración de matriz en WINQSB



From \ To	Ibal	Tanque 15	Tanque cerro	Tanque 29	T Piedra	T ambala
Ibal	0	1.8	3.2	3.5	6.2	9
Tanque 15	2.2	0	4.2	2.3	4.4	7.3
Tanque cerro	3.8	4.02	0	4.3	6.4	10.9
Tanque 29	4.1	2.3	3.9	0	2.3	6.3
T Piedra	5.5	3.8	6.2	2.4	0	5.6
T ambala	8	6.4	9	5.2	4.9	0

Fuente: WINQSB

Teniendo en cuenta que el modelo de estudio que se está trabajando es el problema del agente viajero y debido a que en problemas de optimización es uno de los más estudiados, se presentan diferentes escenarios y algoritmos de solución, existiendo desde métodos de tanteo que se apoyan simplemente en la constante prueba de soluciones posibles, y en métodos que tienen como base una solución heurística generando propiedades como ser métodos eficientes, que están cerca de lo óptimo, y con una menor probabilidad de cometer errores.

En este caso de estudio para dar solución al problema del agente viajero se decide aplicar el método heurístico de inserción más barata, que consiste en seleccionar los vértices que generen menor coste de distancia entre cada uno de los vértices, iniciando en el vértice de partida conocido como vértice i y formar una subruta con el nodo k el cual es nodo que presenta la segunda distancia más corta entre ellos, en este caso se evidencia de la siguiente manera.

i = Planta de tratamiento de agua potable IBAL

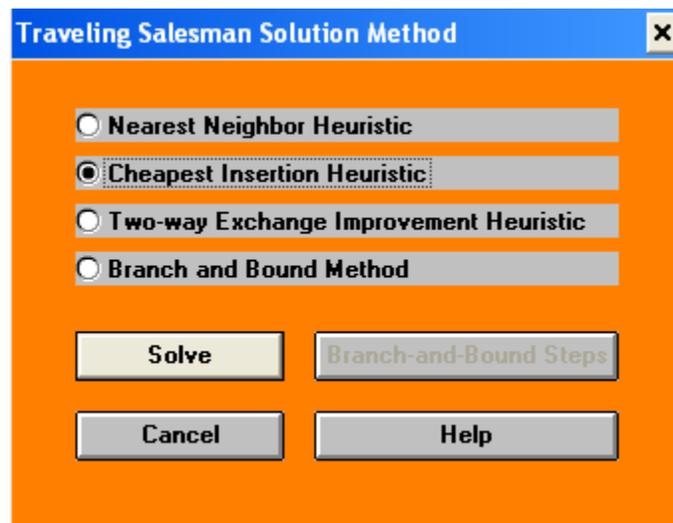
k = Tanque de cerro gordo

C_{ik} = 3,2 km

Y a partir de esta subruta generada C_{ik} desde el vértice k seleccionar el recorrido al vértice que genere menor coste de distancia

Con la ayuda del software WINQSB seleccionando los parámetros de solución al problema del agente viajero, utilizando el método de inserción heurística como se presenta en la figura 4-3

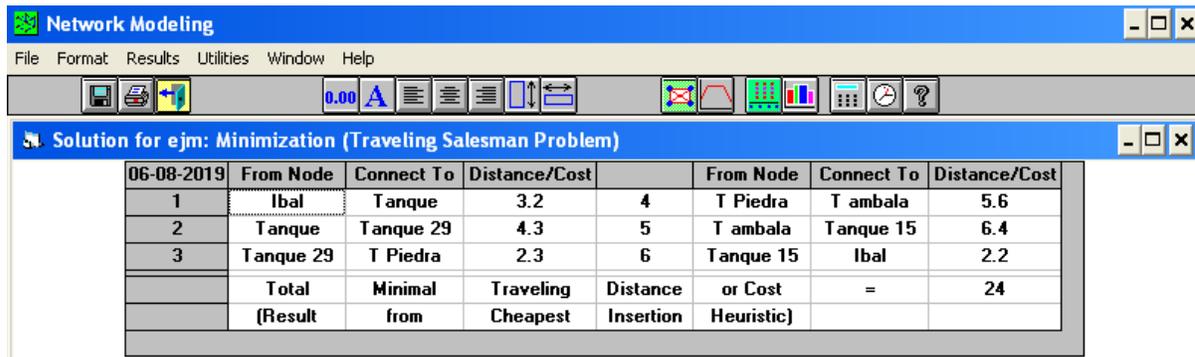
Figura 4-2: Parámetros de solución en WINQSB



Fuente: WINQSB

Con la herramienta de WINQSB se obtiene como solución del modelo presentado en este caso de estudio con los parámetros antes mencionados una ruta con el costo mínimo de distancia recorrido equivalente a 24 kilómetros entre el vértice inicial visitando una vez cada uno de los puntos y finalizando en el mismo vértice inicial generando así un ciclo de Hamilton en la menor distancia posible por medio de la modelación del problema del agente viajero aplicando la inserción heurística a continuación en la figura 4-4 se muestra el resultado del software WINQSB.

Figura 4-3: Solución del modelo WINQSB

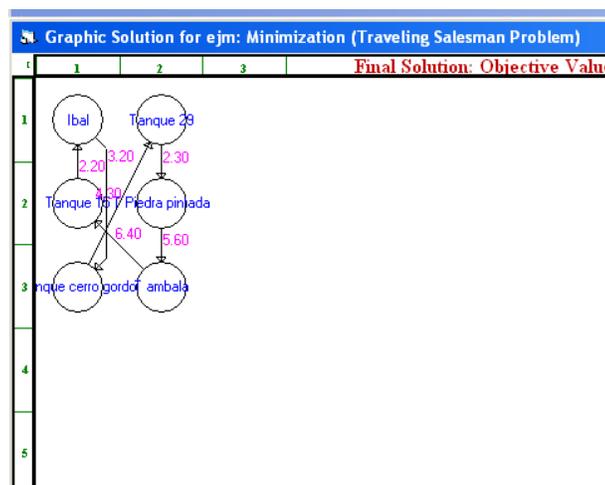


06-08-2019	From Node	Connect To	Distance/Cost	From Node	Connect To	Distance/Cost	
1	Ibal	Tanque	3.2	4	T Piedra	T ambala	5.6
2	Tanque	Tanque 29	4.3	5	T ambala	Tanque 15	6.4
3	Tanque 29	T Piedra	2.3	6	Tanque 15	Ibal	2.2
	Total	Minimal	Traveling	Distance	or Cost	=	24
	(Result	from	Cheapest	Insertion	Heuristic)		

Fuente: WINQSB

De igual manera con la ayuda de la herramienta utilizada para este proceso el software WINQSB obtenemos el grafico del recorrido mínimo que deben realizar los operarios de válvulas para llegar a cada uno de los tanques en la menor distancia posible, para poder optimizar el recurso de distancia recorrida y el recurso económico de la gasolina eliminando rutas innecesarias durante los recorridos, a continuación, en la figura 4-5 se puede observar la solución grafica del modelo

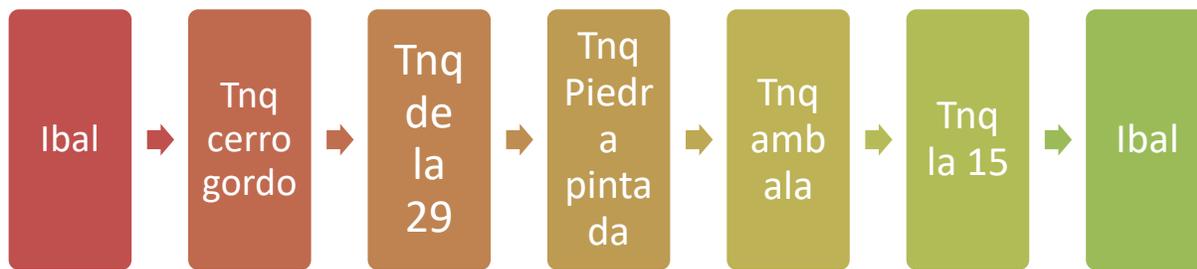
Figura 4-4 Solución grafica del modelo WINQSB



Fuente: WINQSB

Para mejorar la interpretación del gráfico obtenido en el software WINQSB se agrega un gráfico en la figura 4-6 donde se muestra el orden que debe tomar el operario para dirigirse a los diferentes tanques de la red de distribución en condiciones normales

Figura 4-5: Orden de dirección de la ruta optimizada



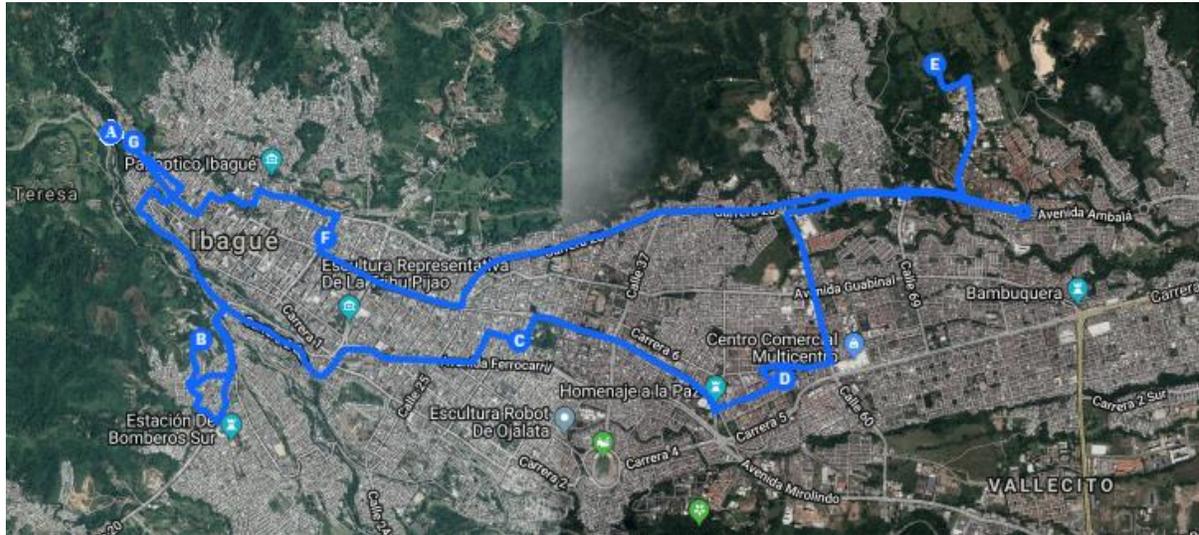
En la figura 4-7 se muestra en el mapa de la ciudad de Ibagué el recorrido óptimo obtenido a partir de la ruta de optimización que deben seguir los operarios para llegar a cada uno de los tanques

Tabla 4-3 Ubicación de los puntos en la ruta optimizada

Número de puntos	NOMBRE DEL TANQUE
A/G	Planta de Tratamiento de Agua Potable IBAL - La Pola
B	Tanque de cerro gordo
C	Tanque de la 29
D	Tanque de piedra pintada
E	Tanque de Ambala
F	Tanque de la 15

Fuente: Propia

Figura 4-6: Mapa con el recorrido optimo obtenido



Fuente: Google Maps

Al obtener el resultado del recorrido optimo que deben realizar los operarios en la red de distribución, con el objetivo de evaluar y generar una relación del estudio de tiempos con la ruta de optimización se realiza un tiempo estimado total completo de la ruta de optimización. Siendo el tiempo estándar de la realización de la actividad de regulación de válvulas igual 00:02:50 el tiempo total de la actividad en las 5 válvulas es de a 0:14:10

Tiempo estándar de regulación de las 5 válvulas	0:14:10
Transporte del IBAL a tanque cerro gordo	0:10:19
Transporte del tanque de cerro gordo al tanque de la 29	0:13:02
Transporte del tanque de la 29 al tanque de piedra pintada	0:03:51
Transporte del tanque de piedra pintada al tanque de Ambala	0:12:15
Transporte del tanque de Ambala al tanque de la 15	0:19:18
Transporte del tanque de la 15 al IBAL	0:08:15
Tiempo total del proceso completo	1:21:10

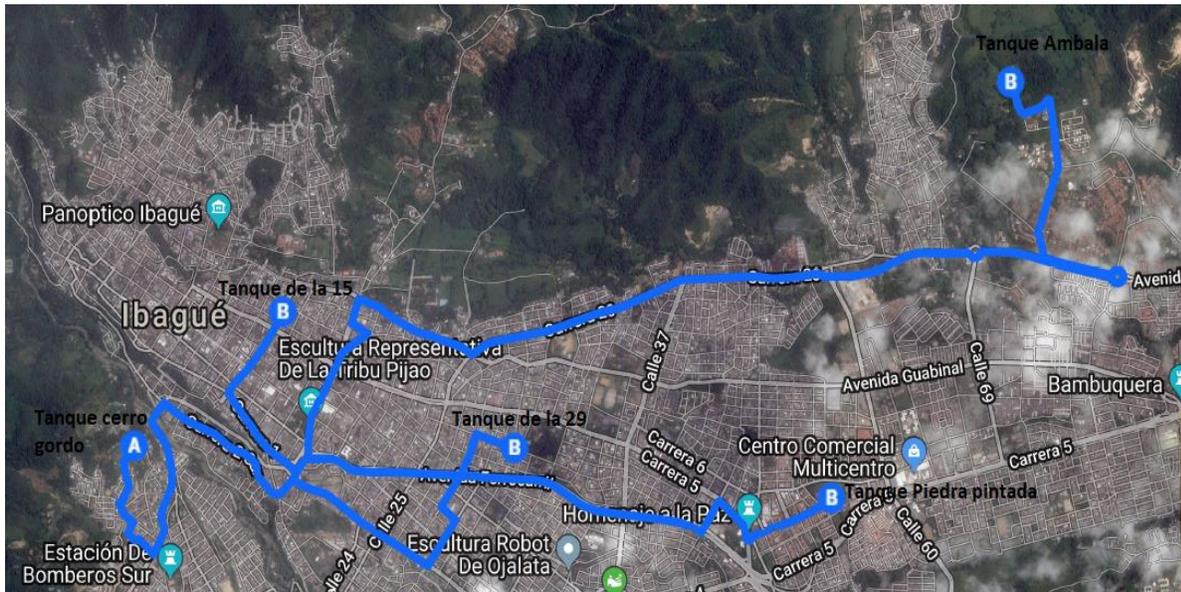
Teniendo en cuenta que el tiempo de transporte es un valor que fue calculado una sola vez durante los recorridos es importante denotar que los valores de la tabla 4-4 son valores estimados pero permiten dar una aproximación al tiempo total del proceso completo de regulación de válvulas el cual es de 1:21:10 Una hora con 21 minutos y 10 segundos lo que nos permite calificar como una opción viable el ruteo que se propone ya que permite realizar todas las regulaciones en un intervalo de tiempo menor al de 2 horas lo que beneficiara al proceso ya que se generara una reducción en los daños de tubería por las fuertes presiones de los tanques y se disminuirá la falta de suministro a algunos sectores por falta de presión en los tanques

Uno de los principales problemas que se tiene en este proceso de regulación de válvulas, corresponde al de la variación de recorridos, debido a algún tipo de emergencia en la red de distribución ya sea por la presencia de un daño en las tuberías o bajo nivel de agua en los tanques.

Con la intención de generar una optimización de las rutas de igual manera en las situaciones de emergencia se proponen rutas alternativas optimas que el operario debe de realizar para dirigirse a cada uno de los puntos estando en un tanque cuando se presenten estas eventualidades de emergencia, y así dirigirse a los tanques en la menor distancia posible

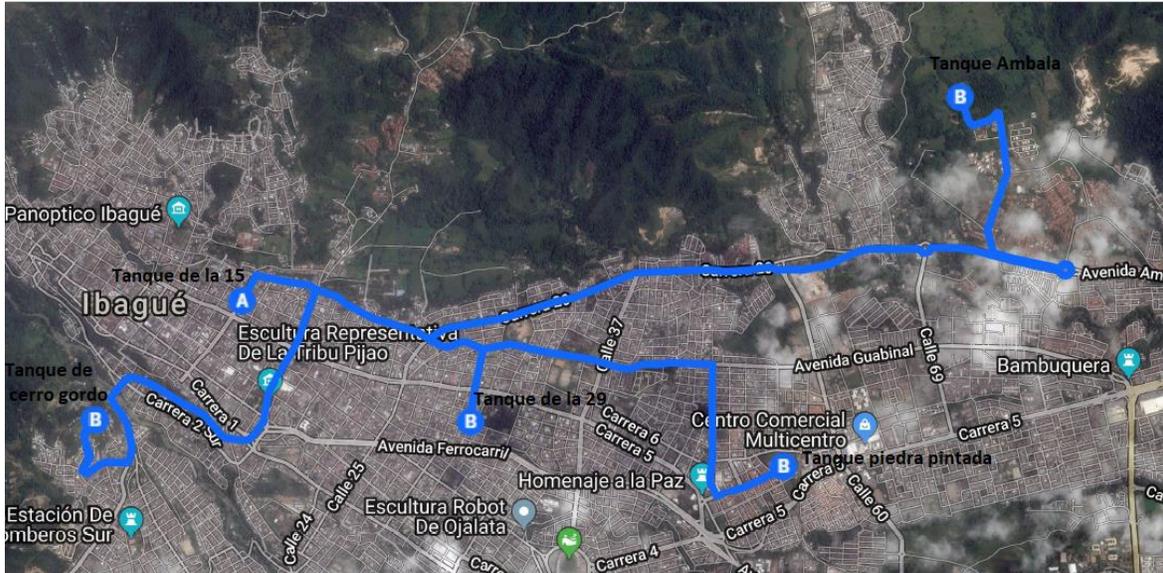
A continuación, se muestran las rutas más cortas que deben de optar los operarios cuando se encuentran en cada uno de los tanques

Figura 4-7: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de cerro gordo a los otros distintos tanques



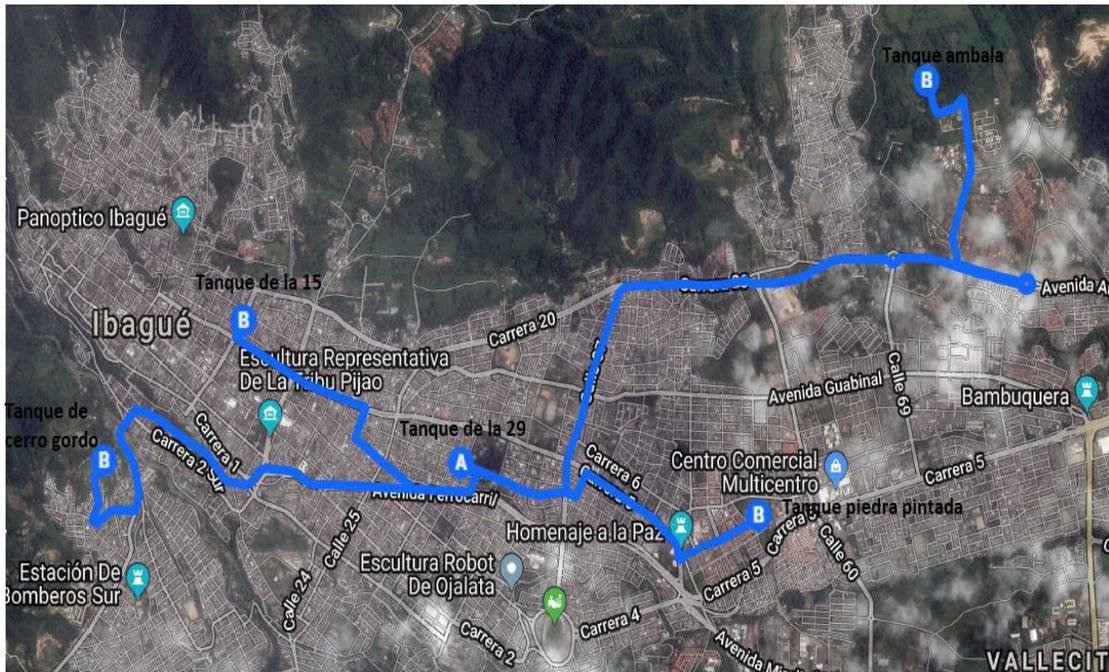
Fuente: Google Maps

Figura 4-8: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de la 15 a los otros distintos tanques



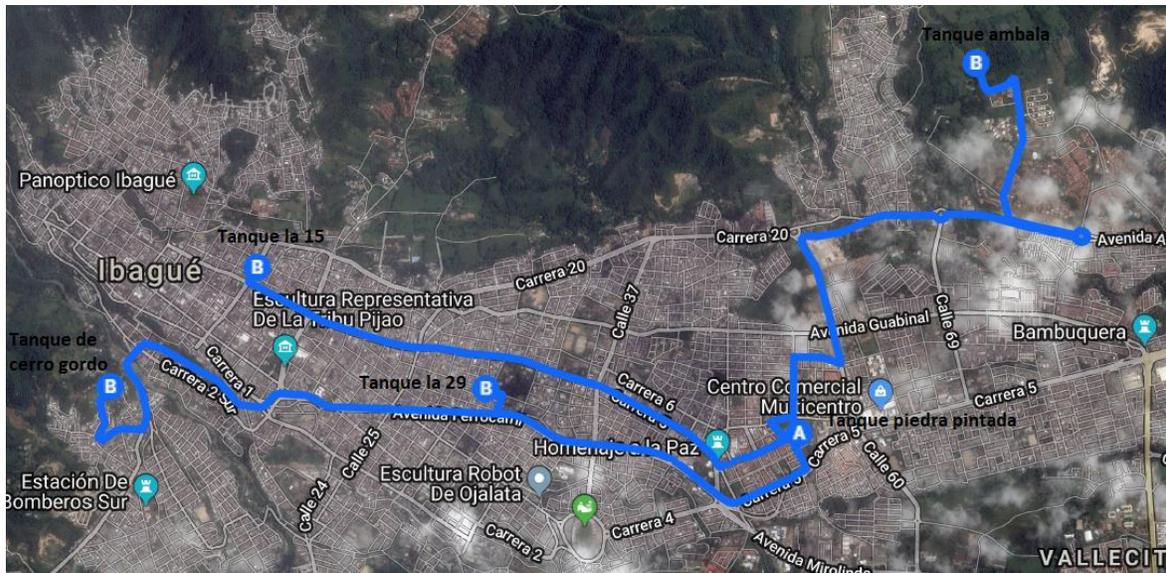
Fuente: Google Maps

Figura 4-9: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de la 29 a los otros distintos tanques



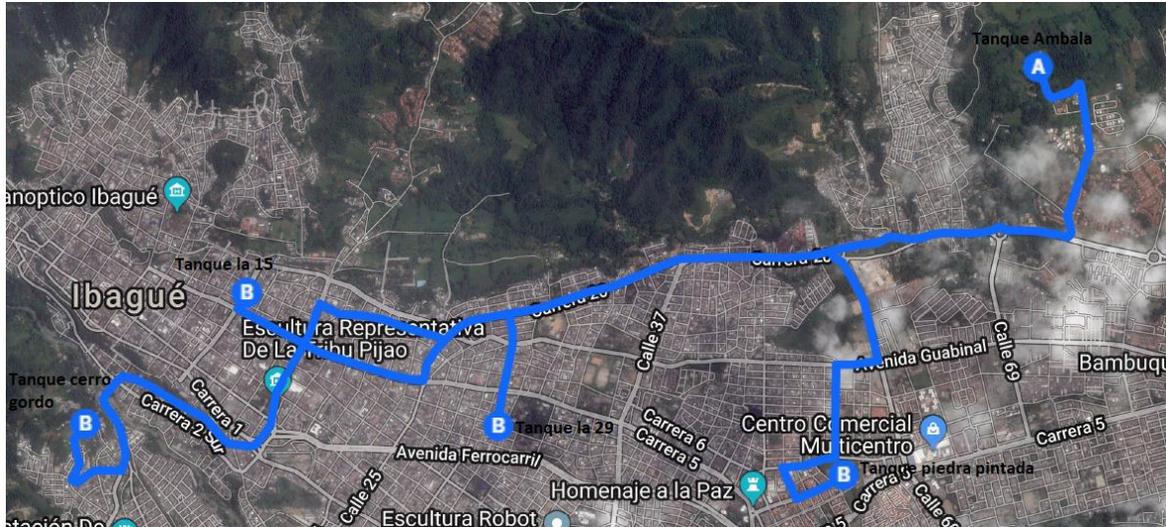
Fuente: Google Maps

Figura 4-10: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de la piedra pintada a los otros distintos



Fuente: Google Maps

Figura 4-11: Mapa Ruteo optimo partiendo desde el tanque de Ambala a los otros distintos



Fuente: Google Maps

Estas rutas permitirán una optimización en tiempo y distancias recorridos aun así en situaciones de emergencia, siendo el punto A en cada uno de los mapas el nodo de origen y el punto B cada uno de los posibles nodos de destino dependiendo donde ocurra la emergencia.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

Al realizar reconocimiento del escenario actual en el proceso de regulación de válvulas se identifica una variabilidad en las rutas realizadas para cumplir con el proceso, se localizaron geográficamente los tanques que hacen parte de la red de distribución de agua potable las posibles rutas y recorridos que realizan los operarios para llegar a los diferentes tanques al igual que las decisiones que toman libremente debido a la falta de planificación del proceso de regulación de válvulas

Se genera una optimización del ruteo en el proceso de regulación de válvulas que puede permitir una reducción en las distancias recorridas y en el tiempo de recorrido entre los diferentes tanques que hacen parte de la red de distribución

Con la presencia de escenarios de emergencia que puedan afectar el ruteo establecido a los operarios se presenta cinco rutas posibles que pueden tomar los operarios partiendo de cada uno de los tanques dependiendo de la ubicación de emergencia, permitiendo así una reducción en las distancias recorridas incluso cuando se presentan emergencias

Al calcular el tiempo estándar de ejecución en la actividad de regulación de válvulas se obtiene el tiempo estándar total de toda la operación lo que puede permitir establecer un control y evaluación del proceso estudiado

Se genera un tiempo estándar total estimado de toda la operación de regulación de válvulas contando desde el transporte a todos los tanques junto al tiempo de operación de todas las válvulas, permitiendo obtener un tiempo base de ejecución del proceso completo

5.2 Recomendaciones

Con la información recolectada durante el proceso de observación directa al igual que con los resultados de estandarización en los tiempos de ejecución obtenidos en el estudio de tiempos realizado se propone establecer manuales de funciones estableciendo el orden y el tiempo de la ejecución de las actividades necesarias para cumplir con el proceso de regulación de válvulas generando así una reducción en los tiempos muertos de ejecución por los operarios.

Aplicar el plan de ruteo fijo que permita un control a los operarios al momento de realizar las actividades de transporte en el proceso de regulación de válvulas.

Establecer fechas de controles del proceso de regulación de válvulas para verificar el tiempo y rutas tomadas por los operarios, siendo un proceso que se realiza diariamente durante todo el año es importante mantener un control

Implementar un estudio probabilístico que permita identificar el valor porcentual de coger los semáforos en rojo durante el desplazamiento vehicular en el proceso de regulación de válvulas para así obtener un resultado más exacto en la ruta optima

Siendo la ciudad de Ibagué un municipio principal del departamento de Ibagué con un área metropolitana aproximadamente de 3261 km² y con una población aproxima de 605496 habitantes, la principal empresa que suministra agua potable es el IBAL debe brindar por una continua mejora en sus procesos, razón por la cual a futuro se debe estudiar la posibilidad del cambio del sistema de regulación de válvulas de los tanques que hacen parte de la red de distribución de agua potable. A un sistema con mayor tecnología actual, un sistema de regulación de válvulas automático que permite un mejor control de la presión que presentan los tanque y así evitar continuos daños en el sistema.

Referencias bibliográficas

Acero, L. C. P. (2009). Ingeniería de métodos: movimientos y tiempos. Ecoe Ediciones.

Abbas, Q., Hussain, Q., Zia, T., & Mansoor, A. (2018). Reduced Solution Set Shortest Path Problem: Capton Algoritm With Special Reference to Dijkstra's Algorithm. *Malaysian Journal of Computer Science*, 31(3), 175-187.

Bodin, L. (2013). Vehicle routing. *Encyclopedia of Operations Research and Management Science*, 1610-1618.

Carlos, L., & Acero, P. (2016). Ingeniería de métodos: movimientos y tiempos. Ecoe Ediciones.

Fernández, L. J., & Zamudio, E. (2016). Implementación y Manejo de las válvulas reductoras de presión con control dinámico, en redes de distribución. *AVANCES: Investigación en Ingeniería*, 13(2).

Gao, Y. (2011). Shortest path problem with uncertain arc lengths. *Computers & Mathematics with Applications*, 62(6), 2591-2600.

Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232.

Piccini, J. E. (2013). El muestreo: técnica al servicio de la valoración documental. *Informatio. Revista del Instituto de Información de la Facultad de Información y Comunicación*, (14/16).

López, Erasmo, Salas, Óscar, & Murillo, Álex. (2014). El problema del agente viajero: un algoritmo determinístico usando búsqueda tabú. *Revista de Matemática Teoría y Aplicaciones*, 21(1), 127-144. Retrieved July 29, 2019, from http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-24332014000100008&lng=en&tlng=es.

- Ortiz, Y (2016) "Diseño de un sistema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos en empresas de transporte de carga por carretera"
- Aguado A., A., & Jiménez de V., J. (2013). Optimización de rutas de transporte. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España: E-Prints Complutense.
- Cunquero, R. M. (2003). Algoritmos heurísticos en optimización combinatoria. Valencia: Universidad de Valencia. Retrieved, 11(01), 2012.
- Stockdale, M. L. (2011). El problema del viajante: un algoritmo heurístico y una aplicación (tesis de grado). Consultado en <https://goo.gl/bBBZTa>.
- Kanawaty, G. (2011). Introducción al estudio del trabajo (No. 65.015). OIT.
- Medina, L. B. R., La Rota, E. C. G., & Castro, J. A. O. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. Ingeniería, 16(2), 35-55.
- Fernández, L. J., & Huertas, E. Z. (2016). Implementación y Manejo de las válvulas reductoras de presión con control dinámico, en redes de distribución. Avances: Investigacion en Ingeniería, 13(1), 8.
- Ramírez Martínez, C. J. (2016). Alfabetización SENA guía técnica acueducto y alcantarillado.