

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE
MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA EN LA EMPRESA CARBONES
DEL CERREJÓN LIMITED

JUAN CARLOS PARRA CÁRDENAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
BUCARAMANGA

2014

MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE
MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA EN LA EMPRESA CARBONES
DEL CERREJÓN LIMITED

Autor

JUAN CARLOS PARRA CÁRDENAS

TRABAJO DE GRADO REALIZADO EN LA MODALIDAD PRÁCTICA
EMPRESARIAL

Director

JAVIER EDUARDO ARIAS OSORIO

Ingeniero de Sistemas y Ms. Administración con énfasis en comercio electrónico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECAÑICAS

ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES

BUCARAMANGA

2014

DEDICATORIA

Bucaramanga Abril 25 de 2014

Dedico este logro a mi familia por ser el motor fundamental en mi vida, su apoyo incondicional en las decisiones que he tomado, me permiten cumplir uno más de mis sueños.

Juan Carlos Parra Cárdenas.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

A la empresa CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED por brindarme la oportunidad de liderar y llevar a feliz término este proyecto de grado aplicando los conocimientos adquiridos durante mi formación como Ingeniero.

Al Gerente del departamento de Servicios a la Operación Hernando Fortich, en especial al Superintendente de Servicios Corporativos Andrés Bonilla, por depositar en mi la confianza, respaldo y recursos para cumplir con los objetivos planteados en el presente proyecto de grado.

A todos los compañeros de la Superintendencia de Servicios Corporativos, al analista operativo de Servicios Generales Carlos Villarreal, por mantener el interés y compromiso del personal a cargo para contribuir en cada una de las etapas que hicieron parte del proyecto.

Al personal operativo del proceso, supervisores, operarios de camiones cisterna, al igual que a cada una de las personas y áreas que respondieron de manera positiva a cada una de las solicitudes y actividades programadas durante el proyecto. Al interventor Demetrio Carracedo por su disposición para aportar y garantizar la implementación de los estándares definidos.

Al Ingeniero Javier Arias, por estar siempre dispuesto a brindar su apoyo y orientación para el cumplimiento de los objetivos planteados.

A mi compañero y amigo Iván Aguilar por sus importantes aportes siendo parte del equipo de proyecto.

A mis familiares, amigos y compañeros de quienes recibí su apoyo durante mi proceso de formación como ingeniero.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES DEL PROYECTO	19
1.1 INTRODUCCIÓN A LA EMPRESA	19
1.2 INTRODUCCIÓN AL PROCESO	20
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.4 OBJETIVOS	22
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	22
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
2. MARCO TEÓRICO	23
2.1 DISTRIBUCIÓN FÍSICA	23
2.2 PROBLEMAS COMBINATORIOS	25
2.3 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO	25
2.4 PROBLEMA DEL RUTEO DE VEHÍCULOS	25
2.5 TÉCNICA DE OPTIMIZACIÓN	29
2.5.1 BÚSQUEDA TABÚ (TS).....	33
3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA	35
3.1 CONOCIMIENTO DEL PROCESO: ABASTECIMIENTO, TRANSPORTE Y SUMINISTRO DE AGUA POTABLE	35
3.1.1 GENERALIDADES DEL PROCESO	36
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	37
3.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA FLOTA.....	37
3.2.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ABASTECIMIENTO.	38
3.2.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRANSPORTE DE AGUA POTABLE.....	39
3.2.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE SUMINISTRO.	40
3.3 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS	41

3.3.1	RECOLECCIÓN DE DATOS FLOTA DE CAMIONES.	41
3.3.2	RECOLECCIÓN DE DATOS ABASTECIMIENTO.....	43
3.3.3	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS TRANSPORTE.....	46
3.3.4	RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS SUMINISTRO.....	48
3.4	HALLAZGOS DE PROBLEMAS Y SUS CAUSAS	49
3.4.1	HALLAZGO DE PROBLEMAS Y SUS CAUSAS CAMIONES –HERRAMIENTAS Y EQUIPO.....	49
3.4.2	HALLAZGO DE PROBLEMAS Y SUS CAUSA – ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....	51
3.4.3	HALLAZGO DE PROBLEMAS Y SUS CAUSAS – TRANSPORTE DE AGUA POTABLE.....	53
3.4.4	HALLAZGO DE PROBLEMAS Y SUS CAUSAS – SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.....	55
4.	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA.....	58
4.1	ALTERNATIVA 1: HABILITAR UNA VÁLVULA ADICIONAL PARA EL ABASTECIMIENTO DE CAMIONES EN LA BAHÍA DE PLANTA DE AGUA	59
4.1.1	OBJETIVO.....	59
4.1.2	CONSIDERACIONES.....	59
4.1.3	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA.....	61
4.1.4	RESULTADOS ESPERADOS.....	63
4.2	ALTERNATIVA 2: ESTANDARIZAR LOS PUNTOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE QUE NO CUMPLEN CON LAS CONDICIONES DE ÁREA REQUERIDAS PARA HACER EL PROCESO DE MANERA EFICIENTE Y SEGURA.	66
4.2.1	OBJETIVO.....	66
4.2.2	CONSIDERACIONES.....	66
4.2.3	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA.....	66
4.2.4	RESULTADOS ESPERADOS.....	74
4.3	ALTERNATIVA 3: IMPLEMENTACIÓN, MODIFICACIÓN, ADECUACIÓN Y/O REEMPLAZO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO EMPLEADOS EN EL PROCESO	75
4.3.1	OBJETIVO.....	75
4.3.2	CONSIDERACIONES.....	75
4.3.3	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA.....	75
4.3.4	RESULTADOS ESPERADOS.....	75
4.4	ALTERNATIVA 4. INSTALACIÓN DE MIRILLAS EN LOS TANQUES DE LOS CAMIONES DE AGUA POTABLE	78
4.4.1	OBJETIVO.....	78
4.4.2	CONSIDERACIONES.....	78
4.4.3	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA.....	78
4.4.4	RESULTADOS ESPERADOS.....	79
4.5	ALTERNATIVA 5. ELABORAR UNA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DIARIO DE LOS PUNTOS EN LOS CUALES SE DEBE SUMINISTRAR AGUA POTABLE	79

4.5.1	OBJETIVO.....	79
4.5.2	CONSIDERACIONES.....	79
4.5.3	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA.....	80
4.5.4	RESULTADOS ESPERADOS.....	80
4.6	ALTERNATIVA 6. DISEÑAR UNA PROGRAMACIÓN DE ATENCIÓN DE LOS PUNTOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE APLICANDO EL CONCEPTO DE RUTEO DE VEHÍCULOS Y LOS CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN SOBRE ESTE.....	80
4.6.1	OBJETIVO.....	80
4.6.2	CONSIDERACIONES.....	80
4.6.3	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA.....	81
4.6.4	RESULTADOS ESPERADOS.....	81
5.	ELABORACIÓN DE PROGRAMACIÓN DE PUNTOS A VISITAR.....	83
5.1	GEO-REFERENCIACIÓN DE LOS PUNTOS.....	84
5.2	OBTENCIÓN DE REPORTES DE VISITAS DE LOS CAMIONES DE AGUA POTABLE A CADA UNO DE LOS PUNTOS.....	86
5.3	DEFINICIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA OBTENER DATOS DE CANTIDAD DE AGUA ENTREGADA EN LOS PUNTOS.....	86
5.3.1	CRONÓMETROS PARA OBTENCIÓN DE TIEMPOS DE SUMINISTRO.....	86
5.3.2	CONSULTA Y POSIBLE COMPRA E INSTALACIÓN DE MEDIDORES BADGER METER.....	87
5.3.3	ACTIVACIÓN DE PTO DE LOS CAMIONES DE AGUA POTABLE PARA INTEGRARLO A LOS REPORTES DE FMWEB. 88	
5.3.4	RESULTADOS DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EVALUADOS.....	89
5.4	OBTENCIÓN DE DATOS DE TIEMPOS DE SUMINISTRO EN LOS PUNTOS.....	89
5.5	PROGRAMACIÓN DE PUNTOS A VISITAR.....	90
6.	DISEÑO DE PROGRAMACIÓN DE ATENCIÓN DE LOS PUNTOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE APLICANDO EL CONCEPTO DE RUTEO DE VEHÍCULOS Y LOS CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN SOBRE ESTE.....	95
6.1	MATRIZ ORIGEN - DESTINO.....	95
6.2	ELABORACIÓN DE RUTEO.....	98
6.2.1	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO DE RUTEO.....	98
6.2.2	EXPERIMENTACIÓN.....	101
6.2.3	APLICACIÓN DE BÚSQUEDA TABÚ.....	106
7.	CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....	107

CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110

LISTADO DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Descripción de áreas y responsabilidades	36
Tabla 2. Descripción de capacidad para cada uno de los camiones	37
Tabla 3. Diagnóstico camión 76 - 183.....	42
Tabla 4. Tiempos de llenado de Camiones.....	44
Tabla 5: Tiempo promedio de abastecimiento para cada camión	44
Tabla 6. Porcentaje de cumplimiento con la programación de puntos a ser atendidos.....	47
Tabla 7 Porcentaje de cumplimiento con la cantidad de puntos programados para ser atendidos cada día	48
Tabla 8. Áreas, roles y aportes para el planteamiento e implementación de alternativas..	58
Tabla 9. Minutos de espera por repetición de eventos hasta cuatro veces al día	60
Tabla 10: Mediciones en Islas de combustible (estado actual).....	71
Tabla 11: Cálculo de estándar para suministro de agua potable en islas.....	72
Tabla 12. Ejemplo situación actual en puntos de suministro de agua potable	73
Tabla 13. Acciones para herramientas y equipo empleados en el proceso de suministro de agua potable.....	76
Tabla 14. Convenciones distancias entre puntos de suministro	97
Tabla 15. Resultados proceso de experimentación.....	105
Tabla 16. Cumplimiento de objetivos específicos.	107

LISTADO DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Localización de la mina Cerrejón, ferrocarril y Puerto Bolívar.....	20
Ilustración 2. Distribución física.....	23
Ilustración 3. Variaciones del VRP	26
Ilustración 4. Diagrama de flujo actividades de abastecimiento transporte y suministro de agua potable.....	37
Ilustración 5. Diagrama de flujo actividades de abastecimiento de camiones.....	38
Ilustración 6. Diagrama de flujo actividades transporte de agua potable	39
Ilustración 7. Diagrama de flujo actividades suministro de agua potable.....	40
Ilustración 8. Distribución física bahía de abastecimiento de camiones.....	43
Ilustración 9. Cantidad de visitas a la bahía de abastecimiento durante la jornada de trabajo en el periodo enero a julio de 2013.....	45
Ilustración 10. Colas en la bahía de abastecimiento de camiones.....	46
Ilustración 11. Cantidad de visitas a los puntos de suministro por área/zona	47
Ilustración 12. Diagrama general Causa-Efecto proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camiones cisterna.....	57
Ilustración 13. Estado actual abastecimiento de agua potable	59
Ilustración 14. Tiempos de espera por evento camiones Cerrejón	60
Ilustración 15. Distribución física de la bahía de abastecimiento de agua potable al implementar la alternativa 1.....	62
Ilustración 16. Tiempos de espera al implementar alternativa 1.....	63
Ilustración 17. Comparativo tiempos de espera actual vs alternativa 1.....	64
Ilustración 18. Porcentaje de reducción de tiempo para cada evento - alternativa 1	64
Ilustración 19. Bahía de abastecimiento con tres válvulas de suministro de agua potable	65
Ilustración 20. Suministro estándar vs Suministro subestándar	67
Ilustración 21. Distancia máxima entre acople de camión e instalación para suministro en todos los puntos (Estándar).....	68
Ilustración 22. Distribución actual de área en islas de combustible.....	68
Ilustración 23. Mediciones realizadas a los camiones de agua potable	69
Ilustración 24. Medidas en islas de combustible para determinar la ubicación del tope llanta	71
Ilustración 25. Distancias requeridas para realizar un suministro seguro	72
Ilustración 26. Cantidad de adecuaciones por zona.....	74
Ilustración 27. Mirilla camión 76-143.....	78
Ilustración 28. Alternativas de solución para cada problema identificado.....	82

Ilustración 29. Registros de suministro de agua potable	83
Ilustración 30. Identificación de puntos de suministro de agua potable en la plataforma FM WEB.....	85
Ilustración 31. Puntos de agua potable geo-referenciados	85
Ilustración 32. Ejemplo consumo de agua en un periodo de tiempo	92
Ilustración 33. Programación de puntos a visitar Abril 11 de 2014	93
Ilustración 34. Diagrama de actividades para elaboración de la programación diaria de puntos a visitar.....	94
Ilustración 35. Recorrido camión de agua potable.....	95
Ilustración 36. Áreas en que está dividida geográficamente la mina	96
Ilustración 37. Matriz origen - destinos	97
Ilustración 38. Construcción de rutas evaluando un solo vecino más cercano	100
Ilustración 39. Selección de condiciones para elaboración de la ruta inicial	100
Ilustración 40. Descripción gráfica ruta 1.....	101
Ilustración 41. Ruteo evaluando más de un vecino más cercano	102
Ilustración 42. Selección de condiciones ruta - variación 1	102
Ilustración 43. Modificación construcción de la ruta 1	103
Ilustración 44. Selección de condiciones para obtener ruta variación 2.....	104
Ilustración 45. Selección de condiciones para ruteo variación 1 y 2.....	105
Ilustración 46. Selección de cantidad de memorias e iteraciones para generar el ruteo aplicando búsqueda tabú.	106

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. HALLAZGOS CAMIONES DE AGUA POTABLE.....	112
ANEXO B DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES ABASTECIMIENTO DE CAMIONES EN PLANTA DE AGUA.....	115
ANEXO C. PROGRAMACIÓN DE VISITAS.....	118
ANEXO D. OBSERVACIONES DE LOS PUNTOS DONDE SE REALIZA SUMINISTRO DE AGUA POTABLE.....	121
ANEXO E DIAGRAMA CAUSA EFECTO HERRAMIENTAS Y EQUIPO	142
ANEXO F. DIAGRAMA CAUSA EFECTO ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE.....	143
ANEXO G. DIAGRAMA CAUSA EFECTO TRANSPORTE DE AGUA POTABLE.....	144
ANEXO H. DIAGRAMA CAUSA EFECTO SUMINISTRO DE AGUA POTABLE	145
ANEXO I. EVENTOS Y TIEMPO DE ESPERA PARA ABASTECIMIENTO DE CAMIONES.....	146
ANEXO J. EVENTOS Y TIEMPO DE ESPERA PARA ABASTECIMIENTO DE CAMIONES EN CASO DE IMPLEMENTAR ALTERNATIVA 1	149
ANEXO K. INVENTARIO DE PUNTOS PARA ORIENTACIÓN DE TUBOS (ACOPLES) E INSTALACIÓN DE TOPE LLANTA	153
ANEXO L. PROCEDIMIENTO PARA OBTENER REPORTE DE PUNTOS VISITADOS POR CADA UNO DE LOS CAMIONES DE AGUA POTABLE.....	162
ANEXO M. PASO A PASO OBTENCIÓN REPORTE DE TIEMPOS DE SUMINISTRO.....	166
ANEXO N. HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DIARIO DE LOS PUNTOS A VISITAR	168
ANEXO O. LISTADO DE PUNTOS A VISITAR ABRIL 11 DE 2014.....	169
ANEXO P RUTA CONSTRUIDA EVALUANDO UN SOLO VECINO MÁS CERCANO EJEMPLO ABRIL 11 DE 2014	170
ANEXO Q RUTEO CONSIDERANDO TODOS LOS VECINOS MÁS CERCANOS	172
ANEXO R RUTEO CONSIDERANDO EL INICIO DE LA PRIMERA RUTA POR CADA UNO DE LOS PUNTOS A VISITAR Y EVALUANDO UN SOLO VECINO MÁS CERCANO	174
ANEXO S RUTEO CONSIDERANDO TODOS LOS VECINOS POSIBLES E INICIO DE LA PRIMERA RUTA A PARTIR DE TODOS LOS PUNTOS A VISITAR	176
ANEXO T RUTEO OBTENIDO APLICANDO BÚSQUEDA TABÚ.....	178
ANEXO U HERRAMIENTA DE RUTEO DE VEHÍCULOS (MATRIZ-ORIGEN DESTINOS)	180
ANEXO V CÓDIGO RESULTANTE PROCESO DE EXPERIMENTACIÓN	180
ANEXO W CÓDIGO RESULTANTE BÚSQUEDA TABÚ	185

GLOSARIO

CAMBIADERO: Lugar de transición para la llegada y salida de los trabajadores.

EPP: Elementos de protección personal

FM-WEB: plataforma virtual para el seguimiento y control de la flota de camiones propiedad de Cerrejón.

GEOREFERENCIAR: Registro de puntos y coordenadas en la plataforma FMWEB

INTERVENTOR: Persona encargada de hacer seguimiento y control del proceso de acuerdo a los estándares de operación y cumplimiento establecidos por Cerrejón.

ISLA DE COMBUSTIBLE: Lugar donde se suministra combustible a los equipos mineros (Camiones de 320 y 240 toneladas).

LÍNEA DE LISTOS: Lugar ubicado al interior de la mina para el descanso o refugio de los trabajadores cuenta con baño y fuente de agua potable.

PTO: Sistema de potencia que tienen los camiones de agua potable el cual se activa para realizar el suministro.

P40: Proyecto de expansión, busca llevar la producción a 40 millones de toneladas de carbón anuales.

SISCAF: Empresa administradora de la plataforma de seguimiento satelital FMWEB.

TAJOS: Áreas de explotación de carbón a cielo abierto.

TANQUEO: Llenado del tanque del camión cisterna en la planta de agua.

UNIDAD RESIDENCIAL MUSHAISA (URM): Área residencial donde viven algunos trabajadores de Cerrejón y sus familias

VDO: Instrumento para el registro de información de manera satelital

RESUMEN

TÍTULO DEL PROYECTO: MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED*¹

AUTOR: JUAN CARLOS PARRA CÁRDENAS**

PALABRAS CLAVE: MEJORAMIENTO DE PROCESOS, RUTEO DE VEHÍCULOS, HEURÍSTICA DEL VECINO MÁS CERCANO, METAHEURÍSTICA BÚSQUEDA TABÚ.

CONTENIDO: Este trabajo de grado se realizó en la empresa CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED, la cual se dedica a la extracción, transporte y embarque de carbón térmico, está ubicada en el departamento de la Guajira, Colombia; integra sus actividades en la mina, ferrocarril y puerto Bolívar.

Los procesos de soporte contribuyen al normal desarrollo de las actividades de producción. El proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna, permite proveer del líquido a todas las personas que están ubicadas en instalaciones donde no es posible transportar agua potable por medio de tubería.

El proyecto de grado está orientado a identificar alternativas para mejorar el proceso, para esto se realiza un diagnóstico el cual permite detectar causas de la problemática y plantear alternativas para la solución de la misma.

Lo anterior se complementa con una herramienta, que integra la programación de puntos a visitar y el ruteo de vehículos que contempla la heurística del vecino más cercano; con el propósito de mejorar la solución obtenida se emplea la metaheurística Búsqueda Tabú. Como resultado se obtiene la programación de puntos a visitar al igual que el orden en que se debe hacer la distribución de agua potable.

En el proyecto de grado se aplican criterios de optimización los cuales están orientados a desarrollar el proceso de manera eficiente y segura.

*Proyecto de Grado

**Facultad de Ingenierías Físico mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Director: Ingeniero Javier Arias

ABSTRACT

PROJECT TITLE: IMPROVEMENT OF THE POTABLE WATER SUPPLY THROUGH THE USE OF TANKERS IN CARBONS DEL CERREJON LIMITED*

AUTHOR: JUAN CARLOS PARRA CÁRDENAS**

KEY WORDS: PROCESS IMPROVEMENT, VEHICLE ROUTING, HEURISTIC OF THE CLOSEST NEIGHBOR, METAHEURISTIC TABÚ SEARCH.

ABSTRACT: The present document has been done for CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED, which focuses on the extraction, transport and ship-loading of thermal coal; is located in La Guajira, Colombia; and its activities are held at the mine, the rail road and Puerto Bolivar.

The support processes contribute to the appropriate development of the production activities. The use of tankers for potable water supply makes it possible for the liquid to reach facilities where it isn't suitable to make it by pipelines.

This thesis project is oriented towards the identification of alternatives of improving this process; for this, we give a diagnosis which allows to detect the causes of the problem and to develop alternatives for its solution.

A tool integrating the scheduling of the facilities to be supplied and vehicle routing taking into account the heuristics of the closest neighbor complements the previous: A Tabu search is used in order to improve the obtained solution. As a result, we get the scheduling of the sites to be visited as well as the order in which the water supply is to be made.

This thesis project applies optimization criteria which point towards the development of the process in an efficient safe way.

*Project Grade

**Physicomechanical Engineering Faculty. Industrial and Enterprise Studies School. Director. Engineer Javier Arias Osorio.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se desarrolla en la empresa Carbones del Cerrejón Limited dedicada a la exploración, extracción, transporte, embarque y exportación de carbón de diversas calidades, esta es una de las minas a cielo abierto más grande del mundo, la cual cuenta con procesos de soporte para garantizar su operación, dentro de los procesos de soporte se encuentra el suministro de agua potable empleando camiones cisterna para suplir las necesidades de las personas que hacen posible la operación al interior de la mina, el presente trabajo de grado analiza las actividades que hacen parte de este proceso con el propósito de plantear alternativas y obtener resultados que permitan desarrollarlo de una manera más eficiente y segura.

En la sección 3 se elabora un diagnóstico del proceso en el cual se evalúan las herramientas y equipos empleados en el proceso, además de las actividades de abastecimiento, transporte y suministro de agua potable, lo anterior permite plantear alternativas para el mejoramiento del proceso las cuales se describen en la sección 4, debido a que la actividad principal del proceso es el transporte de agua potable empleando camiones cisterna, en la sección 5 se evalúan alternativas para la medición y registro de suministros los cuales permiten elaborar una herramienta de programación de clientes (lugares) a visitar empleando conceptos de manejo de inventarios, por último en la sección 6 se elabora un programa diario de ruteo de vehículos, el cual toma como base los puntos que han sido programados para ser visitados cada día, considerando los conceptos de optimización sobre este.

Los resultados obtenidos en cada una de las secciones son compartidas con el lector, incluso, se comparten las alternativas implementadas durante el desarrollo del proyecto pese a que esta fase no está considerada en el alcance del proyecto.

1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 INTRODUCCIÓN A LA EMPRESA

Carbones del cerrejón integra los procesos productivos en actividades realizadas en tres lugares: mina, ferrocarril y puerto bolívar.

Mina³

- Ubicada entre los municipios de Albania, Barrancas y Hatonuevo, en La Guajira, posee recursos estimados en 1.961 millones de toneladas de carbón.
- En ella se desarrollan las actividades diarias de producción de carbón, mantenimiento de los equipos de minería y servicio de soporte a la operación.
- Cuenta con varios tajos operativos: Patilla, Tabaco, La Puente, Oreganal, Tajo 100 y Comuneros.
- Los equipos y la maquinaria empleados en la operación están entre los de mayor tamaño y capacidad en su tipo: más de 240 camiones de 320, 240 y 190 toneladas de capacidad.
- Cerrejón utiliza tecnología de última generación en la operación y mantenimiento de los equipos de minería, las tolvas de recibo, las plantas trituradoras, las bandas transportadoras y los dos silos.

Ferrocarril⁴

- Único con línea férrea de trocha estándar en Colombia. 150 kilómetros que conectan La Mina con Puerto Bolívar.
- Cuenta con 562 vagones, cada uno con capacidad para transportar entre 96 y 110 toneladas de carbón.
- La carga es nivelada, humectada y compactada como medida de control ambiental para prevenir las emisiones de partículas durante su transporte.
- También se utilizan trenes que transportan suministros básicos importados, necesarios para la operación de La Mina, como: combustible diesel, llantas, equipos y repuestos, entre otros.

Puerto Bolívar

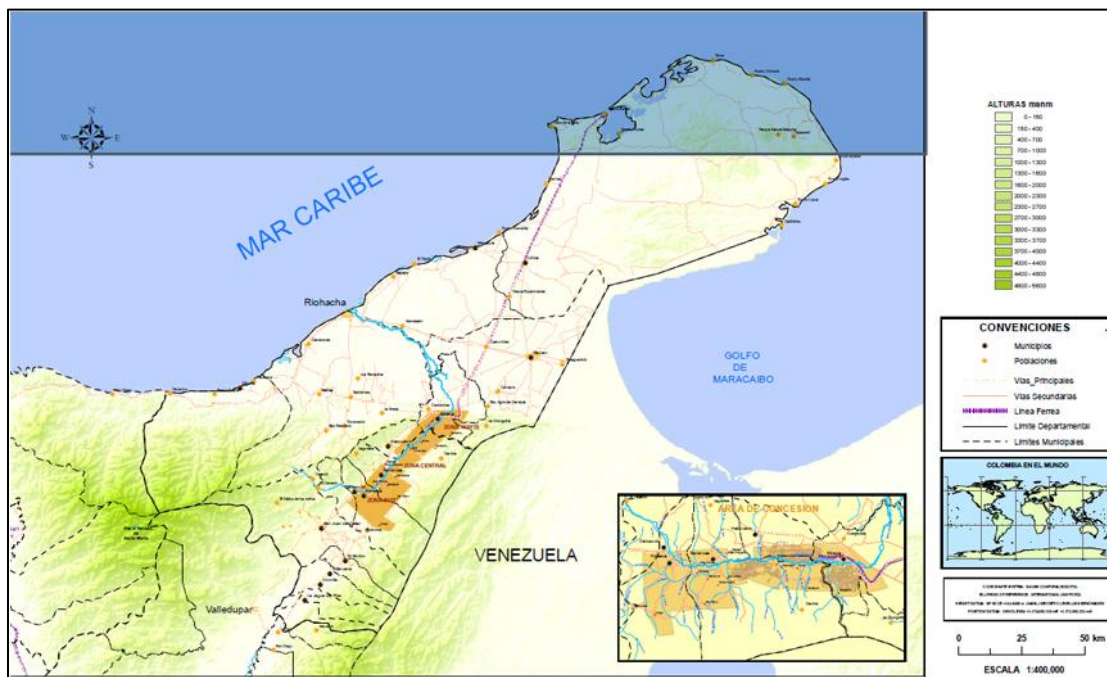
- El ciclo completo de cargue, transporte y descargue de carbón es de aproximadamente 12 horas.

³ Cerrejón. “Operación integrada - mina”. [en línea]. Disponible en [:http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/mina.aspx](http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/mina.aspx)

⁴ Cerrejón. “Operación integrada- Ferrocarril”. [en línea]. Disponible en [:http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/ferrocarril.aspx](http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/ferrocarril.aspx)

- Ubicado en Bahía Portete en La Alta Guajira, es el terminal carbonífero más importante de América Latina y uno de los de mayor tamaño del mundo.
- Cuenta con un sistema de cargue directo desde 1985.
- Recibe barcos hasta de 180.000 toneladas de peso muerto, con 300 metros de eslora y 45 metros de manga.
- Su canal navegable tiene 19 metros de profundidad, 225 metros de ancho y cuatro kilómetros de largo.
- La rata anual promedio de cargue actual es de 6.300 toneladas por hora, con picos hasta de 11.000 toneladas por hora.
- Cuenta además con un muelle de suministros para recibir barcos, hasta de 30.000 toneladas, con maquinaria, repuestos, combustibles y otros materiales para la operación minera.

Ilustración 1. Localización de la mina Cerrejón, ferrocarril y Puerto Bolívar



Fuente: Cerrejón⁵

1.2 INTRODUCCIÓN AL PROCESO

El departamento de servicios a la operación es el encargado de garantizar la prestación de todas aquellas actividades de soporte para la operación minera, el departamento se divide en cuatro superintendencias, una de ellas es la

⁵Cerrejón. “Mapa de ubicación”. [en línea]. Disponible en: http://www.cerrejon.com/site/Portals/0/Imagenes/Contents/Nuestra_empresa/mapa_cerrejon_zoom_02.jpg

superintendencia de servicios corporativos encargada, entre otros, del suministro de agua potable empleando camiones cisterna la cual es distribuida en los lugares donde no es posible llevar el líquido por medio de tubería.

El proceso comprende tres actividades fundamentales:

- Abastecimiento: Abastecer los camiones en la planta de tratamiento de agua potable propiedad de Cerrejón.
- Transporte: Transporte en camión cisterna de agua potable al interior del complejo minero en los lugares donde no es posible llevar el líquido por medio de tubería.
- Suministro: Suministro de agua potable en los lugares autorizados, empleando camiones cisterna.

Los camiones son propiedad de Carbones del Cerrejón los cuales son operados por empleados de la empresa contratista Aseocolba.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Garantizar el servicio de agua potable a más de 10.000 trabajadores en todos los lugares dentro de la empresa Carbones del Cerrejón es un reto.

Para ello Cerrejón cuenta con una planta de tratamiento de agua propia, capta el líquido de tres puntos, dos en pozos profundos y uno en el río ranchería, esta agua es almacenada en una gran piscina cuya capacidad es de 3 millones de litros, allí inicia el proceso de potabilización y almacenamiento de agua potable, la cual es distribuida mediante tubería a la unidad residencial Mushaisa (URM)⁶ y a parte de las áreas industrial y administrativa de Cerrejón.

Sin embargo, no existe tubería para llevar el agua potable por este medio hasta los diferentes puntos al interior de la mina ni algunos puntos del área industrial. Por lo anterior, el agua debe ser distribuida en camiones cisterna, garantizando el servicio a todos los empleados directos y contratistas que hacen posible la operación de Carbones del Cerrejón.

El problema actual es la ineficiencia del proceso:

- Se presentan reportes por falta de agua lo cual genera inconformismo, se debe recurrir a planes de contingencia para cumplir los requisitos del cliente⁷.

⁶ Unidad Residencial Mushaisa (URM): Área residencial donde viven algunos trabajadores de Cerrejón y sus familias

⁷ Cliente: Toda persona que requiere de agua potable para su consumo.

- La cantidad de litros suministrada está dada por la percepción de los operarios debido a que no se cuenta con herramientas que permitan medir el suministro con precisión, y la cantidad que se registra en las planillas es la percibida.
- Se desconoce el número de tanqueos⁸ por día. no se cuenta con indicadores.

De allí nace el interés por parte de Carbones del Cerrejón de identificar mejoras que contribuyan a realizar el proceso de una manera más eficiente y segura.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General.

- Mejorar el proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna en la empresa carbones del cerrejón.

1.4.2 Objetivos Específicos.

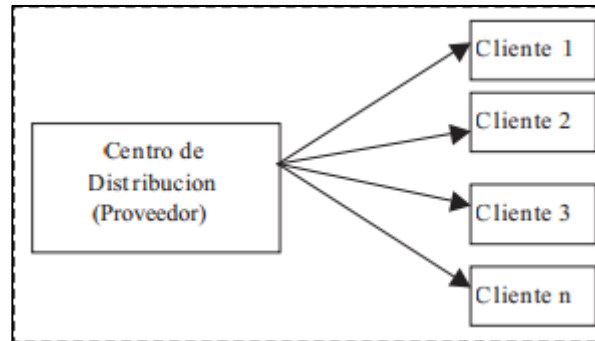
- Elaborar un diagnóstico del proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna, que permita identificar las actividades críticas.
- Proponer alternativas para el mejoramiento de aquellas actividades críticas detectadas en el diagnóstico del proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna.
- Elaborar una herramienta de programación y control diario de los puntos en los cuales se debe suministrar agua potable.
- Diseñar una programación de atención de los puntos de suministro de agua potable aplicando el concepto de ruteo de vehículos y los criterios de optimización sobre este.

⁸ Tanqueo: Llenado del tanque del camión cisterna en la planta de agua.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 DISTRIBUCIÓN FÍSICA

Ilustración 2. Distribución física



Fuente: ICESI⁹

En la ilustración 2, se representa un caso típico de una empresa proveedora que abastece la demanda de un grupo de clientes.

Para atender estas necesidades la empresa se enfrenta a una problemática derivada de las restricciones de recursos tales como la cantidad de mercancía disponible para despachar y los medios de transporte asociados a la prestación de un oportuno servicio a los clientes. Este es un problema común a las organizaciones, y de su buen desempeño se derivarán resultados relacionados directamente con su competitividad.

Pueden entonces configurarse dos situaciones específicas:

- Puede tratarse del caso de una empresa que despacha productos a un grupo de clientes externos importantes (con una demanda semanal significativa), ubicados en distintas ciudades del país.

⁹ICESI. "Administración de recursos de distribución". [en línea]. Disponible en: http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/217/html

- Puede tratarse del caso de una empresa que cuenta con un Centro de Distribución y que le provee productos a un grupo de clientes internos que son a su vez bodegas ubicadas en distintas ciudades del país.

Independiente de los dos puntos de vista anteriores (clientes internos o externos), existe siempre la necesidad de buscar la forma de atender a los clientes ágilmente, con un transporte eficiente y oportuno, minimizando los agotados en las estanterías del cliente y promoviendo por tanto un buen servicio al consumidor final.

Se habla entonces de la distribución física de mercancías como un elemento clave del servicio al cliente.

En un estudio presentado por Inniset al. (1994), se afirma que en lo que respecta al servicio al cliente, existen factores claves que atañen directamente a la función de distribución física de la empresa. Se trata por ejemplo de aspectos como la frecuencia de despachos, la información sobre disponibilidad de inventarios y las fechas de despachos programadas, entre otros aspectos señalados en el estudio.¹⁰

Para una empresa, la capacidad de entregar constantemente productos a tiempo, al precio correcto y con la calidad adecuada, afecta favorablemente la opinión del cliente sobre el servicio. En tal virtud, el transporte requiere ser un servicio de calidad en términos de seguridad, regularidad, oportunidad, entregas a tiempo y costos, para ambas partes del proceso.

La logística del transporte en la cadena de suministro debe facilitar y mantener el control sobre los flujos. Es decir, debe propiciar suficientemente flexibilidad para reaccionar a los rápidos cambios en la demanda del mercado. Factores tales como flexibilidad, rapidez y fiabilidad son de mucha importancia en el sistema de transporte.

Una buena programación de servicio y rutas adecuadas, puede resultar en una mayor utilización de los vehículos, mayor y mejor nivel de respuesta de servicio al cliente, reducción de los costos de transporte, menos inversiones de equipo de transporte, y otras.¹¹

¹⁰BRAVO, Juan José: OREJUELA Juan Pablo y OSORIO, Juan Carlos. Administración de recursos de distribución. Universidad ICESI. 2007. Vol. 23 N°102. [En línea] Disponible en http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/217/html

¹¹ JIMENEZ SANCHEZ José Elías, HERNANDEZ GARCIA Salvador. Marco conceptual de la cadena de suministro: Un nuevo enfoque logístico. Publicación técnica No 215. [En línea] Disponible en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt215.pdf>

2.2 PROBLEMAS COMBINATORIOS

Los problemas combinatorios son del tipo NP-Hard y existen diferentes tipos de problemas representativos como el de la asignación de recursos, balanceo de líneas, ruteo, programación de vehículos entre otros.

Los problemas combinatorios tratan de encontrar un objeto entre un conjunto infinito de posibilidades. Este conjunto finito se define como la delimitación del problema de optimización. Los objetos pueden ser números naturales, estructuras de grafo o permutaciones, por lo tanto debido a su naturaleza discreta llegan a ser muy complejos para encontrar la solución.

Dentro de la categoría de los problemas combinatorios se encuentra el problema VRP. Este problema consiste en encontrar la ruta con el menor costo, usando la cantidad mínima de vehículos para visitar a un conjunto de clientes distribuidos geográficamente.¹²

2.3 PROBLEMA DEL AGENTE VIAJERO

Conocido por sus siglas en inglés (*traveling salesman problem* – TSP) fue planteado por primera vez en 1956 de la siguiente manera:

Un vendedor (viajero por cierto) necesita visitar n puntos de la ciudad, sin importar el orden en que lo haga, cada uno exactamente una vez y en el menor tiempo posible, además debe terminar en la ciudad en la que inició.¹³

“Si existe más de un agente, se convierte en un problema m -TSP y si al mismo problema se le agregan restricciones de capacidad se convierte en un VRP.”¹⁴

2.4 PROBLEMA DEL RUTEO DE VEHÍCULOS

El ruteo de vehículos ha sido objeto de estudio desde hace décadas debido a la importancia que presenta para los procesos logísticos y en general para todas las

¹² PINTO CONTRERAS, Claudia Marcela y DIAZ DELGADO, María Fernanda. Métodos heurísticos para la solución de problemas de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP). Trabajo de grado. Ingeniera Industrial. Universidad Industrial de Santander. 2010. [En línea] Disponible en: [http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=161274\[%20\]11](http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=161274[%20]11)

¹³ CONTARDO VERA, Claudio Andrés. Formulación y solución de un problema de ruteo de vehículos con demanda variable en tiempo real, trasbordos y ventanas de tiempo. Universidad de Chile. 2005. [En línea] <http://claudio.contardo.org/wp-content/uploads/2010/09/memoria.pdf>

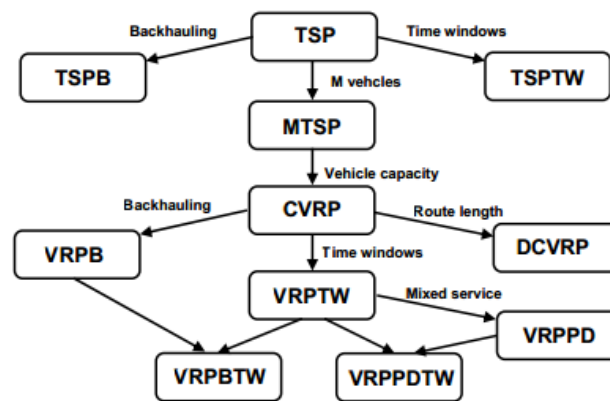
¹⁴ LOZADA, Adriana y CADENA GONZALES, Ricardo Andrés. Solución del problema de del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos. Trabajo de grado. Ingeniero Industrial. Universidad Industrial de Santander. p. 36.

actividades que requieran la programación de rutas a seguir para entregar un servicio a un mínimo costo.

La red de rutas por donde se desplazan los vehículos generalmente se representan mediante grafos, los arcos de grafo representan camiones o secciones de ruta y los nodos o vértices representan los clientes. Cada grafo debe estar recorrido por un solo vehículo y debe terminar donde comenzó.

Algunas variaciones del VRP se presentan en la ilustración 3.

Ilustración 3. Variaciones del VRP



Fuente: Massimo Paolucci¹⁵

- *Traveling Salesman Problem (TSP)*
- *Traveling Salesman Problem with Backhauls (TSPB)*
- *Traveling Salesman Problem with Time Windows (TSPTW)*
- *Multiple Traveling Salesman Problem (MTSP)*
- *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*
- *Distance Constrained Vehicle Routing Problem (DCVRP)*
- *Vehicle Routing Problem with Backhauls (VRPB)*
- *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*
- *Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD)*

De acuerdo a la situación que presenta el proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna en la empresa Carbones del Cerrejón, se considera un problema CVRP del tipo DCVRP por sus siglas en inglés (*Distance Constrained Vehicle Routing Problem*). Por lo tanto su formulación matemática supone la siguiente notación:

¹⁵ Massimo Paolucci. "Vehicle Routing Problems". Università di Genova. P 10. [En línea] Disponible en: <http://www.discovery.dist.unige.it/didattica/LS/VRP.pdf>

Sea $G = (V, A)$ un grafo, donde $V = \{0, \dots, n\}$ es el conjunto de vértices y A el conjunto de arcos. Se tiene un costo no negativo C_{ij} , asociado con cada arco (i, j) que representa el costo necesario para ir del vértice i al vértice j . En general se asume que el grafo es completo y que satisface la desigualdad triangular (y en algunos casos se supone la simetría $C_{ij} = C_{ji}$). Los vértices $i = 1, \dots, n$ corresponden a los clientes, y el vértice 0 corresponde a la bodega (o centro de distribución). Cada cliente i ($i = 1, \dots, n$) tiene asociada una demanda (no negativa) conocida d_i , que debe ser entregada, al centro de distribución se le asocia una demanda ficticia $d_0 = 0$.

a) Problema de ruteo de vehículos VRP o CVRP (*Capacited vehicle routing problem*).

En el VRP clásico en su versión más sencilla no se tiene en cuenta el horario de entrega o recogida en cada lugar de interés, ni la duración de las rutas.

El siguiente es el modelo matemático de tres subíndices para el VRP clásico, esta formulación fue tomada de Toth & Vigo(2001), allí pueden encontrarse otras formulaciones del VRP.

$$\text{Min} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} C_{ij} \sum_{k=1}^K X_{ijk} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{k=1}^K Y_{ik} = 1 \quad i \in V: \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{0k} = K \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{ijk} = \sum_{k=1}^K X_{jik} = Y_{ik} \quad i \in V, K = 1, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in V} d_i Y_{ik} = Y_{ik} \leq C_k \quad \forall K = 1, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} X_{ijk} \leq |S| - 1 \quad S \subseteq V \setminus \{0\}: |S| \geq 2 \quad K = 1, \dots, K \quad (6)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad i, j \in V, K = 1, \dots, K \quad (7)$$

$$y_{ik} \in \{0, 1\} \quad i \in V, K = 1, \dots, K \quad (8)$$

Para un conjunto i, j de nodos del grafo, la función objetivo busca minimizar el costo total de todos los arcos recorridos en la solución. La variable binaria x_{ijk} indica si el vehículo k tendrá una ruta utilizando el arco (i, j) . Mientras la variable binaria y_{ik} indica si el nodo i con demanda d_i será atendido por el vehículo k con capacidad C_k . Como se puede ver en la restricción (2) cada nodo cliente deberá ser atendido únicamente por un vehículo. En cambio del nodo 0 parten los K vehículos de la flota (3). A continuación aparecen las restricciones (4) de continuidad donde el vehículo que llegue a un cliente deberá también partir desde él. Las restricciones de capacidad (5) establecen que la demanda atendida por un vehículo no debe exceder su capacidad C_k .

En el caso en que todos los vehículos tengan la misma capacidad, los valores C_k serán iguales, C . Por último aparecen las restricciones (6) que garantizan que la ruta del vehículo K es conexa, también son las conocidas restricciones de eliminación de sub-tour. La definición de variables binarias se hace en las restricciones (7) y (8).

b) Distance constrained vehicle Routing Problem, DVRP.

Es una variante del VRP en la que se tiene una restricción de distancia de la ruta, ya sea en longitud o en tiempo. En detalle, una longitud no negativa, t_{ij} se asocia a cada arco $(i, j) \in A$, y la longitud total de los arcos de cada ruta no puede exceder la longitud máxima de la ruta, T . Si los vehículos son diferentes, entonces las longitudes máximas de la ruta son $T_k, k=1, \dots, K$. Por otra parte, cuando las longitudes del arco representan tiempos del recorrido, un tiempo de servicio S_i , puede asociarse a cada cliente i , denotando el tiempo que el vehículo debe parar en su localización para atenderlo.

Alternativamente, los tiempos del servicio se pueden agregar a los tiempos del recorrido de los arcos, por definición, para cada arco (i, j) ,

$$t_{ij} = t'_{ij} + \frac{S_i}{2} + \frac{S_j}{2} \quad (9) \quad \text{donde } t'_{ij} \text{ es tiempo original de recorrido del arco.}$$

Generalmente, el costo y las matrices de la longitud coinciden $t_{ij} = C_{ij}$, para todo $(i, j) \in A$. Por lo tanto, el objetivo del problema es minimizar la longitud total de las rutas o su duración, cuando el tiempo de servicio es incluido en el tiempo de recorrido de los arcos. Y se incluye la nueva restricción¹⁶

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} t_{ij} X_{ijk} \leq T_k \quad K = 1, \dots, K \quad (10)$$

¹⁶ VILLEGAS R Juan Guillermo. "El problema de ruteo de vehículos: Algunas variantes importantes". Julio 2007. [en línea] Disponible en: <https://www.sidweb.espol.edu.ec/public/download/doDownload?attachment=432798&websiteId=4459&folderId=17&docId=716963&websiteType=1>

2.5 TÉCNICA DE OPTIMIZACIÓN

Debido a la importancia que tienen la solución a los problemas de optimización, se ha desarrollado diferentes técnicas que encuentren la solución óptima de ser posible, o en su lugar, una solución factible de acuerdo a las características del problema.

Los problemas de Optimización Combinatoria aparecen de forma natural en procesos de fabricación, logística, localización de servicios, planificación de actividades, etc. Se caracterizan por querer optimizar uno o varios objetivos sobre un gran número de soluciones que crece de forma exponencial en función del tamaño del problema. Es necesario para el decisor disponer de algoritmos eficientes que le ayuden en sus decisiones. Los métodos exactos únicamente proporcionan la solución óptima en tiempo razonable para unos pocos problemas combinatorios, mientras que para la mayoría de ellos, debemos recurrir a métodos aproximados que proporcionan un abanico de soluciones cercanas a la óptima.

Cualquier problema combinatorio exigiría un análisis previo y, en función de su tamaño y complejidad, la selección y codificación de la técnica más adecuada.¹⁷

a) Técnicas de optimización exactas.

También conocidas como técnicas enumerativas o exhaustivas, garantizan encontrar la solución óptima al problema planteado, sin embargo, el tiempo necesario para su solución crece exponencialmente, puede tardar varios días, meses o incluso años, esta característica lo hace inabordable para la solución de problemas complejos.

Dentro de las técnicas de optimización exactas se encuentran:

- Enumeración exhaustiva
- Relajación lineal (LP *relajación*)
- *Branch and bound* (Ramificar y acotar)
- Planos de corte (Gomory)

➤ *Branch and Bound*

El método de *Branch and Bound* se desarrolló gracias a Lang y Doig. Éste método consiste en dividir el problema inicial en sub-problemas para comparar las soluciones factibles y eliminar las menos favorables, de este modo los tiempos de

¹⁷ Grupo de investigación “Optimización Combinatoria”. Universidad de Valencia. [en línea] Disponible en:

http://www.uv.es/uvweb/departamento_estadistica_investigacion_operativa/es/investigacion/grupos-investigacion/grupo-investigacion-optimizacion-combinatoria-actividades-del-grupo/lineas-investigacion-1285857925620.html

cómputo para el desarrollo exacto de problemas combinatorios se reducen notoriamente.

Para el desarrollo de ruteo de vehículos con capacidad, se debe iniciar con una solución factible, que tenga asociada una distancia total recorrida.

Así se puede realizar el árbol eliminando las ramas que superen la distancia de la solución factible. Esta solución inicial puede ser obtenida con el uso de métodos heurísticos como *Clarke and Wright* o el vecino más cercano. Esta solución inicial será la base para futuras comparaciones en el algoritmo de *Branch and Bound*.¹⁸

Esta técnica y algunas variaciones se han aplicado con cierto éxito a diversos problemas de investigación de operaciones, pero es más conocida por sus aplicaciones a los problemas de programación entera.

La idea básica de esta técnica es la siguiente: Supóngase que (para ser específicos), debe minimizarse la función objetivo. Supóngase que se tiene una cota superior (etiquetada Z_u sobre el valor de la función objetivo para la mejor solución factible identificada hasta ahora. (Esta solución se conoce como solución incertidumbre o de apoyo). El primer paso es hacer una partición del conjunto de todas las soluciones factibles en varios subconjuntos y después, para cada uno, obtener una cota inferior etiquetada Z_L) para el valor de la función objetivo con las soluciones dentro de ese subconjunto. Aquellos sub conjuntos cuyas cotas inferiores excedan la cota superior actual sobre el valor de la función objetivo, se eliminan. Otros subconjuntos también se pueden destacar si se encuentra que no son de interés, bien porque el subconjunto no tiene soluciones factibles o porque ya se encontró su mejor solución factible (de manera que esta solución se registra y el resto del subconjunto se elimina). Se dice que un subconjunto que se excluye por estas u otras razones está sondeado. Una vez que se han sondeado los conjuntos apropiados, se hace una nueva partición en varios subconjuntos de uno de los subconjuntos restantes, el que tiene la menor cota inferior. Se obtienen sus cotas inferiores y se usan como antes para eliminar algunos de estos subconjuntos, De todos los subconjuntos restantes se elige otro para volver a hacer una partición y así sucesivamente.

Este proceso se repite una y otra vez hasta encontrar una solución factible para la que el valor de la función objetivo no sea mayor que la cota inferior de cualquiera de los subconjuntos restantes. Tal solución factible debe ser óptima, ya que ninguno de estos subconjuntos puede contener una solución mejor.

Resumen de la técnica de ramificación y acotamiento:

¹⁸ PINTO CONTRERAS, Claudia Marcela y DIAZ DELGADO, María Fernanda. Métodos heurísticos para la solución de problemas de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP). Universidad Industrial de Santander. 2010. P 39. [En línea] Disponible en:http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=161274%20111

Paso inicial Se establece $Z_u = \infty$. Se inicia con el conjunto completo de soluciones bajo consideración (se incluye cualquier solución no factible que no se pueda eliminar de manera conveniente) como el único subconjunto restante. Antes de comenzar una iteración normal con los pasos siguientes, se aplica sólo el paso de acotamiento, el paso de sondeo y la prueba de optimalidad a este único subconjunto. (Se hará referencia a esto cómo la iteración 0).

Paso de ramificación: se utiliza alguna regla de ramificación para seleccionar uno de los subconjuntos restantes (aquellos que no han sido sondeados ni se les ha hecho una partición) y se le hace una partición en dos o más subconjuntos de soluciones.

Paso acotamiento: Para cada nuevo subconjunto, se obtiene una cota inferior Z_L sobre el valor de la función objetivo para las soluciones factibles en el subconjunto.

Paso de sondeo: Cada nuevo subconjunto se excluye (es decir, se sondea) si prueba de sondeo 1. $Z_L \geq Z_u$, o prueba de sondeo 2. Se encuentra que el subconjunto no contiene soluciones factibles, o prueba de sondeo 3. Se ha identificado la mejor solución factible en el subconjunto (de manera que Z_L corresponde al valor de su función objetivo); si ocurre esto y $Z_L < Z_u$, entonces se restablece $Z_u = Z_L$, se registra esta solución como la nueva solución de apoyo y se aplica de nuevo la prueba de sondeo 1 a todos los subconjuntos restantes.

Prueba de optimalidad: El proceso termina cuando no existen subconjuntos restantes (No sondeados) y la solución de apoyo actual es la solución óptima. De otra manera, se regresa al paso de ramificación.

Los pasos de ramificación y acotamiento permiten una gran flexibilidad al diseñar un algoritmo específico para el problema de interés y tienen un efecto importante sobre la eficiencia computacional del algoritmo.¹⁹

b) Técnicas de optimización aproximadas²⁰.

Las técnicas aproximadas sacrifican la garantía de encontrar el resultado óptimo a cambio de obtener una buena solución en un tiempo razonable. Se han venido desarrollando durante los últimos 30 años y se distinguen tres tipos: métodos constructivos, métodos de búsqueda local y las técnicas meta-heurísticas.

Los métodos constructivos suelen ser los más rápidos. Partiendo de una solución vacía, a la que se les va añadiendo componentes, generan una solución completa. Las soluciones ofrecidas suelen ser de muy baja calidad. Su planteamiento depende en gran parte del tipo de problema.

¹⁹ HILLER/LIEBERMAN. Introducción a la investigación de operaciones. Cuarta edición. P 408,409.

²⁰ “Técnicas metaheurísticas. Algoritmos basados en nubes de partículas”. [En línea]. Disponible en http://e-spacio.uned.es:8080/fedora/get/tesisuned:IngInd-Mgomez/TESIS_MGG1_Capitulo3.pdf

Es muy difícil encontrar métodos de esta clase que produzcan buenas soluciones, y en algunas ocasiones es casi imposible, por ejemplo, en problemas con muchas restricciones.

Los métodos de búsqueda local usan el concepto de vecindario y se inician con una solución completa recorriendo parte del espacio de búsqueda hasta encontrar un óptimo local. El vecindario de una solución es el conjunto de soluciones que se pueden construir a partir de aquella aplicando un operador de modificación denominado movimiento. Estos métodos parten de una solución inicial, examinan su vecindario y eligen el mejor vecino continuando el proceso hasta que encuentran un óptimo local. En función del operador de movimiento utilizado, el vecindario cambia y el modo de explorar el espacio de búsqueda también, pudiendo la búsqueda complicarse o simplificarse.

➤ Heurísticas

Una heurística es una técnica que busca una solución cercana a la solución óptima con un costo computacional razonable, aunque en algunas ocasiones no se puede calcular la cercanía de la respuesta con el óptimo.

Algunos de los métodos heurísticos más usados para la solución del CVRP son: Algoritmo de ahorros de Clark and Wright, mejora del algoritmo de ahorros de Clark and Wright, Algoritmo del vecino más cercano. Al igual que las heurísticas de inserción para el CRVP.²¹

➤ Metaheurísticas:

Los procedimientos Metaheurísticos son una clase de métodos aproximados que están diseñados para resolver problemas difíciles de optimización, en los que los heurísticos clásicos no son efectivos. Los Metaheurísticos proporcionan un marco general para crear nuevos algoritmos híbridos combinando diferentes conceptos derivados de: inteligencia artificial (búsqueda tabú), evolución biológica (algoritmos evolutivos) y mecanismos estadísticos (templado simulado).²²

Entre los metaheurísticos más exitosos se encuentran: el recocido simulado (*simulated annealing*), la búsqueda tabú (*tabu search*), los algoritmos genéticos (*genetic algorithms*) y las redes neuronales artificiales (*artificial neural networks*). Otras ideas recientes incluyen la optimización por colonias de hormigas (*ant*

²¹ PINTO CONTRERAS, Claudia Marcela y DIAZ DELGADO, María Fernanda. Métodos heurísticos para la solución de problemas de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP). Trabajo de grado. Ingeniería Industrial. Universidad Industrial de Santander. 2010. p.39. [En línea] Disponible en:[http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=161274\[%20\]1|1](http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=161274[%20]1|1)

²² Grupo de investigación "Optimización Combinatoria". Universidad de Valencia.[En línea]http://www.uv.es/uvweb/departamento_estadistica_investigacion_operativa/es/investigacion/grupos-investigacion/grupo-investigacion-optimizacion-combinatoria-actividades-del-grupo/lineas-investigacion-1285857925620.html

collony optimization), la búsqueda local iterativa (*iterated local search*) y la computación evolutiva (*evolutionary computing*), entre otras.²³

2.5.1 Búsqueda Tabú (TS).

La búsqueda tabú es un procedimiento metaheurístico estudiado por Fred Glover a finales de los 80's y principios de los 90's, cuya característica distintiva es el uso de memoria adaptativa y de estrategias especiales en la resolución de los problemas.

La Búsqueda tabú o TS por sus siglas en inglés tiene sus antecedentes en métodos diseñados para cruzar cotas de factibilidad y optimalidad local tratadas como barreras en procedimientos clásicos e imponer y eliminar cotas sistemáticamente para permitir la exploración de regiones no consideradas en otro caso. Una característica distintiva de este procedimiento es el uso de memoria adaptativa y estrategias especiales de resolución de problemas. TS es el origen del enfoque basado en memoria y estrategia intensiva en la literatura de las metaheurísticas, en contraposición con los métodos que no tienen memoria o que solo usan una memoria débil, basada en la herencia. TS es también responsable de enfatizar el uso de los diseños estructurados para explotar los patrones históricos de la búsqueda, de forma opuesta a los procesos que confían casi exclusivamente en la aleatorización.

Los principios fundamentales de la búsqueda tabú fueron elaborados en una serie de artículos a finales de los 80 y principios de los 90 y han sido unificados en el libro "*Tabú Search*"²⁴. El destacable éxito de la TS para resolver problemas de optimización duros (Especialmente en aquellos que surgen aplicaciones del mundo real) ha causado una explosión de nuevas aplicaciones TS durante los últimos años.

La filosofía de la búsqueda tabú es derivar y explotar una colección de estrategias inteligentes para la resolución de problemas, basadas en procedimientos implícitos y explícitos de aprendizaje. El marco de memoria adaptativa de TS no solo explota la historia del proceso de resolución del problema, sino que también exige la creación de estructuras para hacer posibles la explotación. La historia de resolución del problema se extiende a la experiencia ganada tras resolver múltiples instancias de una clase de problema uniendo TS con un enfoque de aprendizaje asociado llamado análisis de objetivo (*Target analysis*).

Las estructuras de memoria de la TS funcionan mediante referencia a cuatro dimensiones principales consistentes en la propiedad de ser recientes en

²³VELEZ, Mario Cesar y MONTOYA, José Alejandro. Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones. Revista EIA. 2007. [En línea] Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372007000200009&script=sci_arttext&tlng=en

²⁴ GLOVER F. LAGUNA M. "Tabu search". Kluwer académicPublishers. 1997.

frecuencia y calidad y en influencia estas dimensiones se fijan contra unos antecedentes de conectividad y estructuras lógicas.²⁵

La búsqueda tabú se centra en tres tipos de memoria principalmente:

Memoria de corto plazo: Guarda la lista de los últimos movimientos con el fin de evitar regresar a un óptimo local de iteraciones pasadas.

Memoria de mediano plazo: Contiene los atributos comunes de las mejores soluciones que se han dado, para encaminar la búsqueda hacia ellos.

Memoria de largo plazo: Encamina la búsqueda hacia regiones aún no exploradas, para evitar encerrarse en un valle profundo.

A la búsqueda se le llama tabú debido a que con el apoyo de las memorias mencionadas, marca ciertos movimientos como tabú o prohibidos con el fin de no regresar a ellos y así diversificar la búsqueda. Además, la TS sigue un proceso de aprendizaje al captar los atributos más relevantes en las mejores soluciones y evitar regresar a soluciones que vayan en detrimento de dichos atributos.²⁶

²⁵ Tomado de GLOVER Fred. MELIAN Belén, “Tabu search” Inteligencia artificial, Revista Iberoamericana de inteligencia Artificial. N.º 19(2003), pp. 29-48 ISSN: 1137-3601. AEPIA (<http://www.aepia.org/revista>).

²⁶ PERTUZ MONTENEGRO, Alfredo José y ROJAS SILVA, Kimberly. Formulación y evaluación de un algoritmo, basado en la meta-heurística “Búsqueda tabú” para la optimización del ruteo de vehículos con capacidad. Trabajo de grado. Ingeniero Industrial. Universidad industrial de Santander. 2007. [En línea] Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2007/125243.pdf>

3. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA

El diagnóstico pretende detectar las dificultades presentes en las diferentes actividades que hacen parte del proceso, estas son: abastecimiento, transporte y suministro de agua potable en la empresa Carbones del Cerrejón.

Para lo cual se emplea la siguiente metodología:

- a. Conocimiento del proceso de abastecimiento, transporte, suministro de agua potable, y de las herramientas y equipos empleados.
- b. Recolección y análisis de datos
- c. Hallazgo de problemas y sus causas

Las herramientas a utilizar son:

- Observaciones en campo
- Entrevistas
- Diagramas de flujo
- Gráficas
- Mediciones de tiempos

3.1 CONOCIMIENTO DEL PROCESO: ABASTECIMIENTO, TRANSPORTE Y SUMINISTRO DE AGUA POTABLE

Esta etapa permite conocer y delimitar las actividades que hacen parte del proceso y cómo se desarrolla el mismo.

La planta de tratamiento de agua dispone de una bahía para el abastecimiento de camiones con agua potable, para proveer el recurso no solo para la operación minera de cerrejón, sino también a otros organismos que prestan seguridad en las periferias del complejo minero, quienes abastecen exclusivamente su personal, cabe aclarar que los puntos visitados por los camiones de Cerrejón y los de los organismo de seguridad no tienen ninguna relación, son puntos de suministro independientes aunque comparten el lugar de abastecimiento de los camiones.

En la tabla 1 se describen los roles y responsabilidades de las partes interesadas en el desarrollo del proceso.

Tabla 1: Descripción de áreas y responsabilidades

Área/Empresa	Rol	Responsabilidad
Planta de Agua (Cerrejón)	Proveedor interno	Garantizar el suministro de agua potable en la bahía de abastecimiento de camiones.
Equipo de Soporte (Cerrejón)	Proveedor interno	Garantizar la disponibilidad de los camiones durante el turno de trabajo.
Aseocolba S.A	Proveedor externo	Provee personal para abastecer los camiones, transportar y suministrar agua potable en los puntos que sean requeridos por la operación de Cerrejón.
Servicios corporativos (Cerrejón)	Responsable del proceso	Administrar el proceso, velar por que éste se realice con los más altos estándares de seguridad y eficiencia. Tiene bajo su custodia los cuatro (4) camiones con los que cuenta Cerrejón para este proceso.

Fuente: Autor

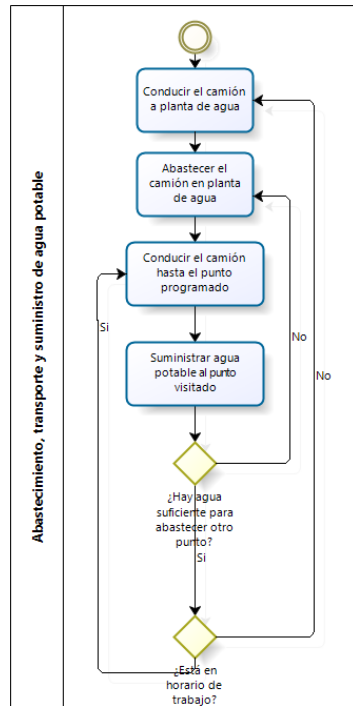
El presente proyecto de grado se desarrolla en la superintendencia de servicios corporativos, más exactamente en el área de servicios generales quien es la responsable de Administrar el proceso de abastecimiento, transporte y suministro de agua potable empleando camiones cisterna, el cual es responsabilidad del Departamento de Servicios a la Operación (SOP).

3.1.1 Generalidades del proceso.

Las actividades que hacen parte de este proceso se realizan en jornada diurna de 6:00 am a 6:00 pm con una interrupción entre las 12:00 am y la 1:00 pm tiempo durante el cual los operarios de la empresa Aseocolba (conductor y auxiliar), toman el almuerzo.

En el diagrama de la ilustración 4 se describen las actividades que hacen parte del proceso.

Ilustración 4. Diagrama de flujo actividades de abastecimiento transporte y suministro de agua potable



Powered by
bizagi
Modeler





Fuente: Autor

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

3.2.1 Descripción de la flota.

Cerrejón tiene cuatro (4) camiones los cuales se describen en la tabla 2.

Tabla 2. Descripción de capacidad para cada uno de los camiones

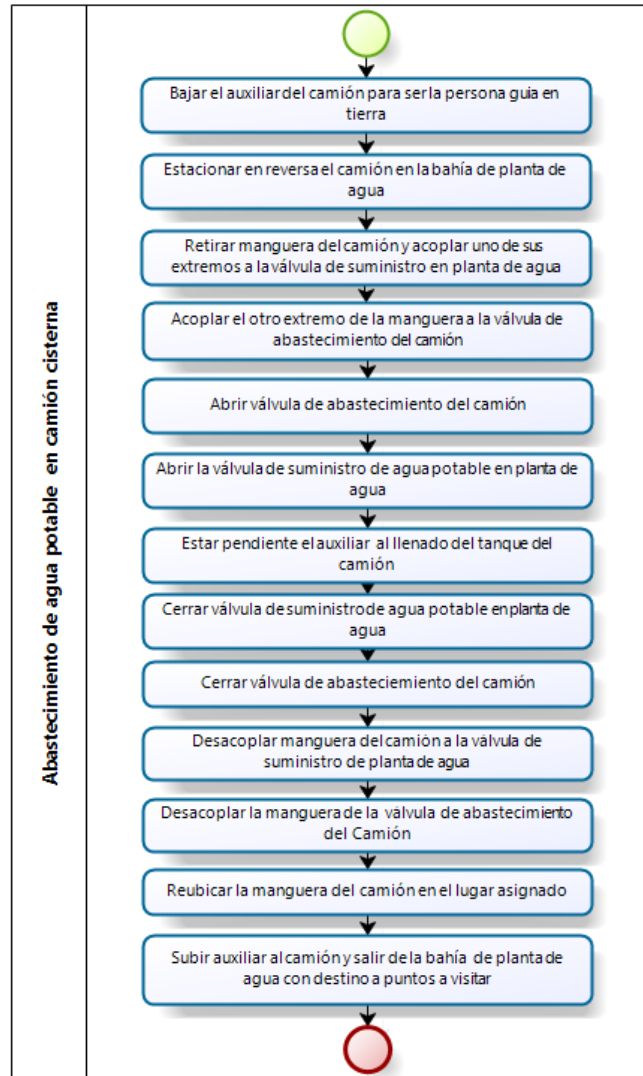
Camión	76-183	76-185	76-123	76-143
Modelo	1986	1987	2007	2012
Capacidad	18000 litros	18000 litros	18000 litros	18000 litros
Imagen				

Fuente: Autor

3.2.2 Descripción del proceso de abastecimiento.

Los operadores de Aseocolba (Conductor y auxiliar) llevan el camión cisterna a la bahía de abastecimiento de agua potable, allí realizan las actividades que se describen en la ilustración 5.

Ilustración 5. Diagrama de flujo actividades de abastecimiento de camiones



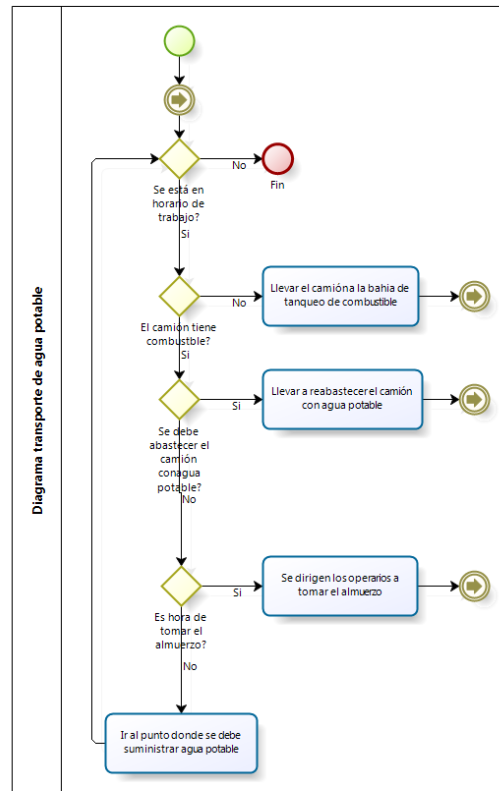
3.2.3 Descripción del proceso de transporte de agua potable.

Esta actividad inicia una vez el camión está totalmente abastecido y consiste en transportar el agua potable a cada uno de los puntos donde el líquido es requerido.

Para conducir camiones en Cerrejón se debe cumplir no solo con la reglamentación nacional vigente, sino también con otros requisitos exigidos por Cerrejón que garanticen la operación segura de estos equipos en área de mina, algunos requisitos son: certificado de conducción en mina, estándares de señalización, inspección pre-operacional²⁷ entre otros.

Las actividades de transporte se describen en la ilustración 6.

Ilustración 6. Diagrama de flujo actividades transporte de agua potable



Powered by
bizagi
Modeler

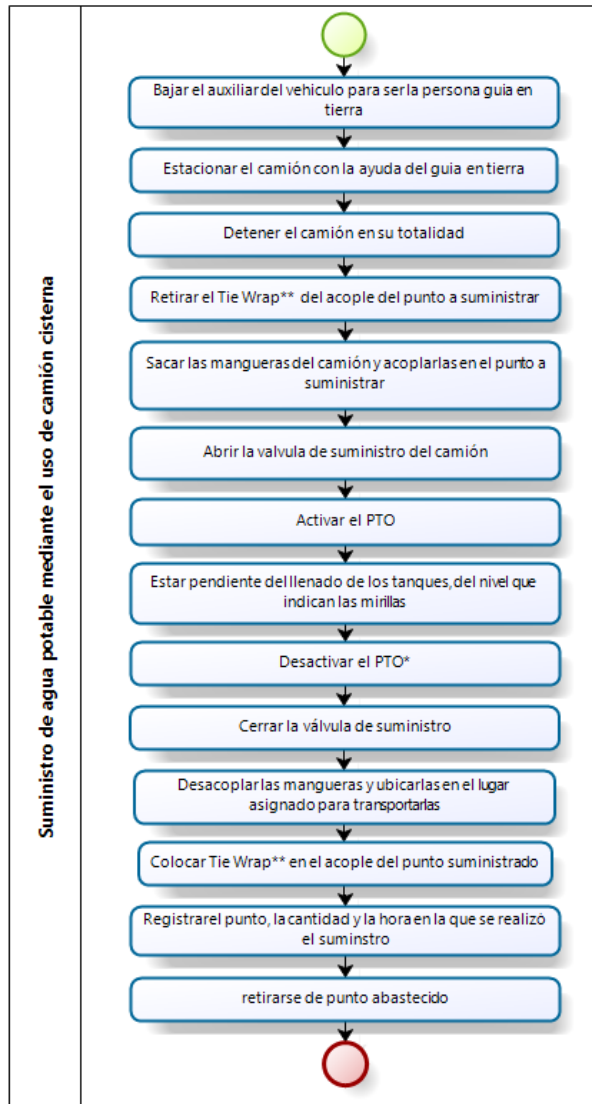
Fuente: Autor

²⁷ Formato de verificación del estado actual de los principales elementos para el adecuado funcionamiento de vehículos en Cerrejón

3.2.4 Descripción del proceso de suministro.

Los camiones una vez llegan al lugar donde deben suministrar el líquido, realizan las actividades descritas en la ilustración 7.

Ilustración 7. Diagrama de flujo actividades suministro de agua potable



3.3 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS

3.3.1 Recolección de datos flota de camiones.

Para el diagnóstico de la flota se observa y verifica cada uno de los siguientes aspectos, de igual manera se toma en cuenta la opinión de los operarios respecto a cada ítem:

- Mangueras
- Acoples
- Bombas
- Medidores de cantidad de agua suministrada
- Ubicación de los conos de señalización
- Otros: En este ítem están otros aspectos susceptibles de mejora en los camiones

En la tabla 3 se describen los hallazgos de los ítems evaluados para el camión 76-183, los hallazgos de los demás camiones se describen en el ANEXO A.
Hallazgos camiones de agua potable.

Tabla 3. Diagnóstico camión 76 - 183

CAMIÓN 76 – 183					
					
Mangueras	Acoples	Bombas	Medidores de cantidad de agua suministrada	Conos	Otros
<p>Las mangueras están deterioradas, los operarios realizan remiendos con materiales inadecuados como cinta, caucho, entre otros.</p>	<p>Los acoples están deteriorados entre otras cosas por el peso de las mangueras, se presentan fugas por el mal estado de los empaques.</p>	<p>La bomba de este camión está expuesta a las condiciones de lodo y polvo presentes en la mina, sin ningún tipo de protección.</p>	<p>Este camión no cuenta con instrumentos de medición que permitan conocer la cantidad de agua entregada en cada punto.</p>	<p>Los conos de señalización están ubicados en la parte superior del camión, para acceder hasta ese lugar se requiere cumplir con el protocolo de trabajo en alturas exigido en cerrejón, los operarios no cuenta con ese entrenamiento.</p>	<p>El camión lleva mucho tiempo en la operación, tiene leve inclinación hacia el costado izquierdo.</p>
					

Fuente: Autor

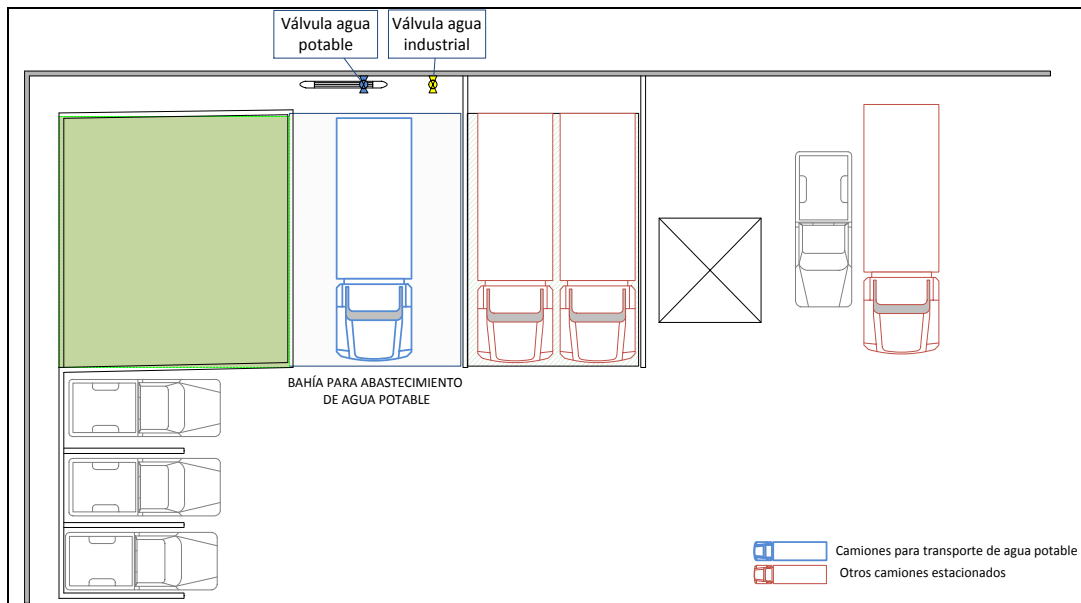
3.3.2 Recolección de datos abastecimiento.

El proveedor es la planta de tratamiento de agua, por lo tanto se cuenta con único proveedor, quien dispone de una bahía autorizada para el abastecimiento de los camiones de agua potable.

a) Capacidad de la bahía de abastecimiento de planta de agua.

La bahía cuenta con dos (2) válvulas de suministro, una de agua potable y otra de agua industrial. Las cuales están habilitadas las veinticuatro (24) horas del día, los siete (7) días de la semana.

Ilustración 8. Distribución física bahía de abastecimiento de camiones



Fuente: Autor

Aunque la válvula de agua industrial está disponible, no se ha identificado ningún camión haciendo uso de la bahía para tal fin.

Se dispone de una sola válvula para el abastecimiento de agua potable, el llenado de los camiones se hace en orden de llegada, la bahía de abastecimiento dispone de espacio para estacionar dos (2) camiones.

El caudal al cual son abastecidos los camiones es de 10,79 litros/segundo, dado que se conoce la capacidad tanto de los camiones de cerrejón como los de los organismos de seguridad, se calcula el tiempo de llenado para cada uno.

Tabla 4. Tiempos de llenado de Camiones

Camión	Caudal de llenado	Capacidad	Tiempo de llenado
76-123	10.79 lit/s	18000 litros	27min 48s
76-143		18000 litros	27min 48s
76-148		18000 litros	27min 48s
76-149		18000 litros	27min 48s
Blanco Ejército		6200 litros	9min 34s
Azul Ejército		10665 litros	16min 24g

Fuente: Autor

Las actividades y el tiempo de operación durante el proceso de abastecimiento de camiones se describen en el Anexo B. Descripción de actividades abastecimiento de camiones en planta de agua.

Luego de lo anterior se procede a conocer el tiempo total en la bahía de abastecimiento de los camiones que allí acuden:

Tabla 5: Tiempo promedio de abastecimiento para cada camión

Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento	Tiempo de abastecimiento	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía	Tiempo total en bahía	Tiempo total en la bahía
Camión Cerrejón	135 segundos	1668 segundos	123 segundos	1926 segundos	32min 06 s
Azul Ejército	140 segundos	988 segundos	128 segundos	1256 segundos	20 min 54 s
Blanco Ejército	140 segundos	575 segundos	123 segundos	838 segundos	13 min 58 s

Fuente: Autor

b) Horarios de llegada para abastecer los equipos en planta de agua.

El turno de trabajo inicia a las 6:00 am en el parqueadero de Aseocolba, primero se realiza la inspección pre-operacional de los camiones y se procede a realizar la charla de seguridad por parte del supervisor, los dos camiones de cerrejón arriban entre las 6:20 am y las 7:00am a la bahía de planta de agua, por lo general llegan ambos al tiempo a menos que haya un evento que retrase la salida de algún equipo.

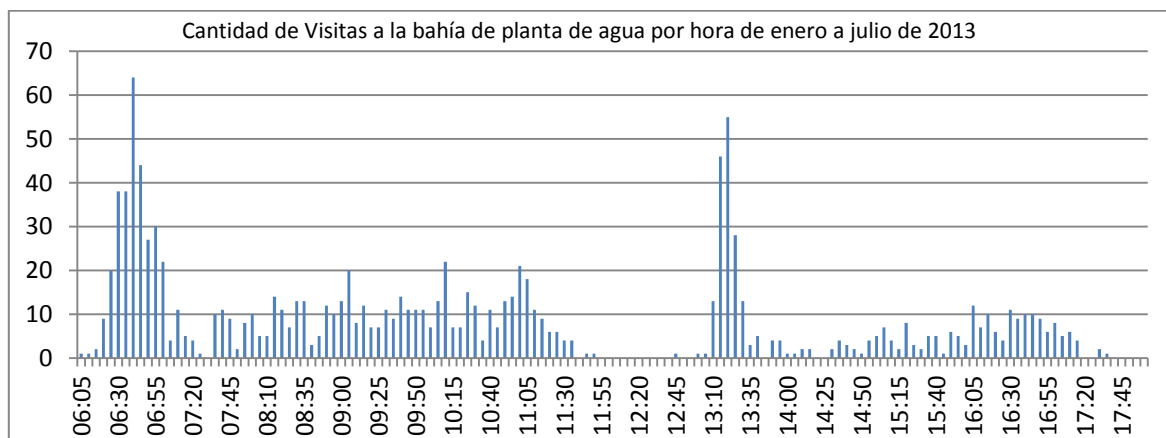
La segunda visita del día a la bahía de abastecimiento de planta de agua es entre las 9:00 am y las 11 am principalmente, no siempre llegan ambos camiones de cerrejón a la vez.

La tercera ocasión en que los camiones llegan a la bahía de planta de agua es en la tarde, luego de la hora en la cual los operarios toman el almuerzo, los dos camiones de cerrejón llegan a la bahía entre la 1:10 pm y la 1:30 pm por lo general llegan al tiempo.

El cuarto y último arribo a la bahía de abastecimiento de agua potable lo realizan los camiones entre las 4:00 pm y 5:00 pm a la que regresaran nuevamente al día siguiente entre las 6:20 am y 7:00 am.

La cantidad de arribos a la bahía de planta de agua durante el periodo enero a julio de 2013 se muestran en la ilustración 9.

Ilustración 9. Cantidad de visitas a la bahía de abastecimiento durante la jornada de trabajo en el periodo enero a julio de 2013



Fuente: Autor

La anterior gráfica permite identificar los horarios en que los dos camiones de cerrejón llegan a la bahía de planta de agua para reabastecer los camiones durante los meses de Enero a Julio de 2013, durante las observaciones realizadas en la bahía de abastecimiento de camiones se aprecian eventos en los cuales los camiones de Cerejón llegan al mismo tiempo e incluso coinciden los camiones de el organismo de seguridad tal como se muestra en la ilustración 10.

Ilustración 10. Colas en la bahía de abastecimiento de camiones



Fuente: Autor

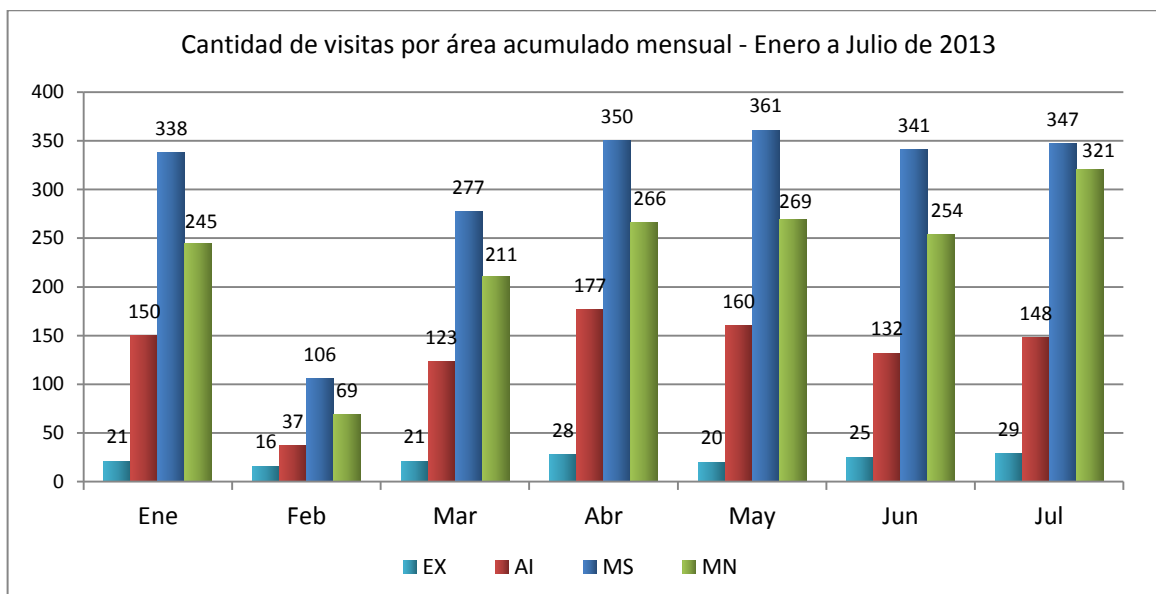
3.3.3 Recolección y análisis de datos transporte.

La recolección de datos se hace con la ayuda de la herramienta de seguimiento satelital (VDO) con la cual cuenta la compañía.

- Cantidad de puntos a ser atendidos: 75 puntos
- Distribución por área de los 75 puntos
- Mina zona norte (MN):24 puntos
- Mina zona sur (MS):24 puntos
- Área industrial (AI):23 puntos
- Área externa (EX):4 puntos

El siguiente es el consolidado de la cantidad de puntos visitados por área en cada uno de los meses de enero a julio entendiendo el impacto por receso en la operación ocurrida en el periodo febrero- Marzo de 2013.

Ilustración 11. Cantidad de visitas a los puntos de suministro por área/zona



Fuente: Autor

El proceso cuenta con una programación de visitas a los puntos, la cual ha sido definida por el interventor²⁸ del proceso ANEXO C. Programación de visitas.

De acuerdo a la programación se deben visitar 45 puntos el lunes, 38 puntos el martes, 45 puntos el miércoles, 34 puntos el jueves, 49 puntos el viernes, 34 puntos el sábado y 45 puntos el domingo.

Se procede entonces a comparar el cumplimiento de las visitas reales con la anterior programación en el periodo enero a julio de 2013, se debe tener en cuenta la anomalía en la cual estuvo la empresa en el periodo febrero a marzo del 2013 debido a una huelga de trabajadores, el porcentaje de cumplimiento obtenido se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje de cumplimiento con la programación de puntos a ser atendidos

Mes	Día de la semana							Cumplimiento mes
	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	
Ene	27,33%	39,53%	43,06%	32,56%	41,25%	35,64%	47,66%	38,25%
Feb	12,79%	17,05%	27,08%	12,40%	18,75%	14,89%	7,03%	15,71%

²⁸ Interventor: Persona encargada de hacer seguimiento y control del proceso de acuerdo a los estándares de operación y cumplimiento establecidos por Cerrejón.

Mes	Día de la semana							Cumplimiento mes
	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	
Mar	30,70%	27,33%	43,75%	33,72%	42,19%	36,17%	43,75%	36,59%
Abr	40,12%	37,21%	43,33%	42,44%	50,78%	40,43%	47,66%	42,95%
May	40,12%	36,63%	43,75%	33,49%	48,13%	30,21%	46,88%	39,63%
Jun	32,09%	30,81%	43,06%	41,28%	48,44%	34,04%	41,25%	38,57%
Jul	29,65%	50,23%	52,78%	39,07%	46,88%	36,70%	51,56%	44,18%
Total general	30,47%	35,36%	42,78%	34,48%	43,32%	33,13%	40,84%	37,21%

Fuente: Autor

Ahora se realiza la comparación entre la cantidad de puntos visitados y la cantidad de puntos programados para cada día de la semana, el cual se muestra en la tabla 7.

Tabla 7 Porcentaje de cumplimiento con la cantidad de puntos programados para ser atendidos cada día

Mes	Día de la semana							Cumplimiento mes
	Dom	Lun	Mar	Mie	Jue	Vie	Sáb	
Ene	51,74%	64,53%	67,36%	60,47%	83,13%	65,96%	79,69%	68,09%
Feb	21,51%	28,68%	38,89%	15,50%	35,42%	22,70%	18,75%	25,98%
Mar	46,98%	40,70%	65,97%	56,98%	67,97%	51,60%	71,88%	57,08%
Abr	61,05%	64,65%	77,78%	65,12%	94,53%	58,51%	78,13%	71,38%
May	65,12%	61,05%	71,53%	65,12%	80,00%	50,64%	85,16%	68,07%
Jun	57,67%	58,72%	67,36%	65,12%	80,47%	55,32%	73,13%	65,40%
Jul	60,47%	67,91%	76,67%	61,86%	85,94%	55,85%	89,06%	70,89%
Total general	52,09%	56,86%	67,22%	57,66%	77,16%	52,51%	70,91%	62,08%

Fuente: Autor

Cada camión realiza 4 visitas diarias para abastecimiento del camión en la planta de agua, por lo tanto se realizan ocho visitas diarias a este lugar para abastecer los dos camiones que suministran agua potable para el normal funcionamiento de la operación minera en carbones del cerrejón.

3.3.4 Recolección y análisis de datos Suministro.

Para elaborar el diagnóstico del suministro se visita cada uno de los puntos (lugares donde se suministra agua potable empleando camiones cisterna), previo a este ejercicio se realizan observaciones de tarea en algunos lugares de cada

Área²⁹ con el fin de determinar aspectos a tener en cuenta en la elaboración del diagnóstico.

De las observaciones surgieron los siguientes ítems a considerar, los cuales aportan para realizar el proceso de manera adecuada:

- Capacidad del punto.
- Acceso de los camiones al punto de suministro.
- Área para maniobra de estacionamiento de los camiones en el sitio.
- Dirección de los acoples y estado de los mismos.
- Ubicación y estado de tope llanta (Polines).

En el ANEXO D. Observaciones de los puntos donde se realiza suministro de agua potable se describe el resultado de los ítems evaluados en los 75 puntos organizados por áreas, estas son: Mina Norte, Mina Sur, Área industrial, Área externa.

3.4 HALLAZGOS DE PROBLEMAS Y SUS CAUSAS

3.4.1 Hallazgo de problemas y sus causas Camiones –Herramientas y equipo.

Diagnóstico de acuerdo a los ítems observados:

Problemas:

Mangueras

- Las mangueras de los cuatro camiones no cumplen las condiciones para la operación eficiente y segura del proceso, algunas están deterioradas y otras, según los operarios, son muy pesadas.
- Las mangueras que están en mejor estado pasan de un equipo a otro, el estándar de estos equipos es que cada camión debe tener dos mangueras de 6 metros cada una, esto hace que por ejemplo cuando un camión queda fuera de servicio el conductor toma el vehículo de reserva y deba ir hasta el lugar donde está el camión averiado para recoger las mangueras que están en mejor estado, antes de continuar con el suministro de agua a otros puntos.
- Las mangueras no cuentan con protección en sus extremos para evitar el posible ingreso de lodo y polvo.

Acoples

- Algunos acoples están en mal estado, principalmente los de las mangueras.
- Los empaques de las mangueras están desgastados.

²⁹ Área: División geográfica de la mina, estas son: Mina Norte, Mina sur, Industrial, Externa

Bombas

- Las bombas de los camiones 76-083 y 76-085 se encuentran expuestas al lodo y polvo, propio de las condiciones de la mina, lo cual acelera su deterioro.
- La bomba del camión 76-123 está ubicada a la mitad del camión en el costado lateral derecho, lo anterior hace que los operarios deban emplear las dos mangueras en casi todos los puntos, para realizar el suministro, según su opinión son las más pesadas.

Instrumentos de medición

- Ausencia de medidores, que permitan conocer la cantidad de agua potable suministrada en cada punto.
- Ausencia de instrumentos o herramientas que permitan conocer la cantidad de agua presente en el tanque del camión.
- Algunos equipos tienen medidores instalados, pero estos están averiados (no están operativos).

Almacenamiento

- Los tanques de los camiones 76-083 y 76-085 están averiados, presentan grietas las cuales permiten filtraciones de agua, aunque en poca cantidad.
- Las mangueras no se almacenan adecuadamente, los operarios emplean lazos y amarres para evitar el almacenamiento de las mangueras en los ductos destinados para esto.
- Los conos de señalización están ubicados en la parte superior del camión, de acuerdo al *bow tie*³⁰ trabajo en alturas, los operarios tienen prohibido subir al camión usando la escalera de los camiones, deben cumplir previamente con un entrenamiento de trabajo en alturas y disponer de los EPP³¹ adecuados para realizar esa tarea.

Causas:

Descripción de las causas a los problemas identificados

Mangueras

- Las mangueras llevan mucho tiempo en operación y las que se han deteriorado no se han cambiado oportunamente.

Acoples

- Los acoples de las mangueras de los camiones están deteriorados y los empaques de estos están desgastados, se emplean amarres y encauchado

³⁰ Escama para análisis de eventos con riesgo catastrófico e identificación de controles

³¹ EPP: Elementos de protección personal que garanticen realizar la tarea con seguridad

totalmente inapropiado como mecanismo para evitar fugas de agua en la unión acople – manguera.

Bombas

- Dos de los camiones no cuentan con caja metálica para la proteger la bomba del lodo y polvo, esto acelera el deterioro de este componente.

Instrumentos de medición

- Los camiones no cuentan con ningún instrumento que permita la medición de las actividades que realizan, dos de los cuatro camiones tienen un medidor para el suministro de agua pero se encuentra averiado.

Almacenamiento

- No se cumple con el procedimiento de almacenamiento de mangueras, no se almacenan en el lugar adecuado.
- No se ha definido un lugar adecuado para almacenamiento de los conos de señalización

En el ANEXO E se plasma el diagrama causa efecto herramientas y equipo

3.4.2 Hallazgo de problemas y sus causa – Abastecimiento de agua potable.

Problemas:

Se identificaron los siguientes problemas:

Estacionamiento:

- Estacionamiento de camiones tanto de cerrejón cómo del Ejército en un lugar prohibido, estacionar de esta manera evita la salida de vehículos que se encuentran estacionados en el parqueadero contiguo a la bahía de abastecimiento.
- Los camiones no utilizan los dos espacios para estacionar que tiene la bahía.

Válvula para abastecimiento

- Hay una sola válvula para abastecer los camiones que acuden a la bahía
- La espera para ser atendido impacta directamente la operación, dado que los dos camiones de cerrejón acuden a la vez por lo menos en dos oportunidades en un día normal de trabajo (6:30am y 1:30pm).

Llenado de los camiones:

- Rebosamiento del tanque del camión cuando este es llenado.

Aspecto de la bahía de abastecimiento

- Desperdicio de agua en la bahía de estacionamiento, debido principalmente a dos factores:

Inadecuada disposición final de agua, el agua que queda almacenada entre la válvula del camión y la válvula de suministro al terminar el abastecimiento del camión, se dispone en el lugar de estacionamiento de la bahía generando mal aspecto del lugar.

Cuando el camión se llena y el agua inicia a rebosarse el operario rápidamente acude a cerrar la válvula de abastecimiento, el operario tarda 24 segundos en cerrar tiempo durante el cual continúa el desperdicio del líquido.

Causas:

Se identificaron las siguientes causas:

Estacionamiento

- Una de las principales causas es la capacidad limitada que tiene la bahía de planta de agua y el hecho de disponer de un solo punto de acole para abastecer los camiones.
- Subutilización de la capacidad para el estacionamiento en la bahía.

Válvula para abastecimiento

- Subutilización de un punto para instalación de otra válvula para el abastecimiento de los camiones.

Llenado del camión

- Falta de instrumentos para la verificación del nivel de agua presente en el camión al momento en que se está llenando.

Aspecto de la bahía de abastecimiento

- La bahía no cuenta con rejilla adecuada o lugar de disposición del agua potable que queda almacenada entre la válvula del camión y la válvula de suministro al terminar el abastecimiento del camión.

En el ANEXO F se plasma el diagrama causa efecto abastecimiento de agua potable.

3.4.3 Hallazgo de problemas y sus causas – Transporte de agua potable.

Problemas:

Se identificaron los siguientes problemas:

Programación puntos a visitar

- Pese a que hay una programación establecida de los puntos que deben ser visitados, los operarios deciden cuales puntos visitan y en qué orden hacerlo, esto según ellos basados en su experiencia.
- La programación actual no considera el consumo de los clientes, es una programación estática la cual está diseñada para que se visiten los diferentes puntos por zonas, de acuerdo al día de la semana.
- Se desconoce el consumo de los puntos en los cuales se suministra agua potable.
- La cantidad de puntos programados es mayor a la cantidad de puntos realmente visitados.

Rutas

- No se cuenta con rutas definidas por cerrejón sino que cada conductor escoge o decide la ruta que mejor le parece, para visitar los puntos que ellos consideran deben ser atendidos en cada una de las zonas.

Registros

- Los operarios cuentan con planillas en las cuales registran los puntos visitados, la hora en la cual se realizó el suministro y la cantidad de agua suministrada en el punto, cómo no hay instrumentos de medición los operarios registran la cantidad de acuerdo a su percepción. Al observar las planillas se encuentra que muchas veces la cantidad de agua suministrada es igual a la capacidad instalada del punto lo cual puede llegar a interpretarse como una visita en la cual el punto estaba totalmente desabastecido y esto no siempre es cierto.

Las planillas en las cuales se registran los datos no siempre llegan a los funcionarios de Cerrejón. Por lo anterior los datos que se han registrado no son válidos para un análisis de demanda de tal manera que no serán tomados en cuenta en el presente proyecto de grado.

Viajes a reabastecimiento

- Se desconoce la cantidad de agua potable presente en el tanque, esto hace que los conductores decidan por su experiencia cuando deben regresar a

abastecer el camión. Es posible que los camiones aun tengan agua suficiente para abastecer más puntos y aun así regresan a la bahía de abastecimiento.

Ubicación y uso de los camiones

- Se desconoce si los camiones suministran agua en los puntos autorizados.
- Se desconoce si los camiones realmente se movilizan dentro del complejo minero.
- Se desconocen los viajes y uso de los camiones.

Causas:

Se identificaron las siguientes causas:

Programación puntos a visitar

- No se cuenta con datos de consumo que permitan hacer un análisis del consumo en los puntos.
- La programación actual no considera el comportamiento de los consumos.
- Ausencia de instrumentos de medición que permitan recopilar información de los consumos.

Rutas

- No se cuenta con un modelo de ruteo de los camiones, cada operario sigue la ruta que mejor le parece.

Registros

- Las planillas donde los operarios toman algunos registros de la operación se extravían, nadie sabe dónde están.
Por lo anterior los registros no siempre llegan a los analistas de Cerrejón.
- Los registros contienen información subjetiva.

Viajes a reabastecimiento

- Ausencia de instrumentos de medición para el tanque del agua.

Ubicación y uso de los camiones

- Ausencia de sistemas de gestión de flota.

En el ANEXO G se plasma el diagrama causa efecto transporte de agua potable.

3.4.4 Hallazgo de problemas y sus causas – Suministro de agua potable.

Problemas:

Se identificaron los siguientes problemas:

Estacionamiento

- Existe riesgo de colisión del camión de agua potable con las instalaciones donde se realiza el suministro, no hay condiciones de área adecuadas para el estacionamiento de los camiones de agua potable.

Acoples y tubos PVC

- Deterioro de acoples y tubos en los puntos de suministro.

Tanques de los puntos

- Desconocimiento del nivel de agua presente en los tanques.

Causas:

Se identificaron las siguientes causas:

Estacionamiento

- En las islas³² de combustible el tope llanta no realiza su función ya que el auxiliar debe ordenarle al conductor detener el camión para evitar una colisión con los tubos expuestos que hay en el lugar, todas las islas tienen los tope llanta ubicados a una distancia diferente.
- No hay un estándar para la ubicación de tope llantas.
- Cuando se cambia de lugar un punto de suministro en el área de mina no se verifica la orientación de los acoples ni el espacio disponible para la maniobra de estacionamiento de los camiones.

Acoples y tubos PVC

- Orientación errónea de los acoples, esto hace que las mangueras queden tensionadas, que se deterioren las mangueras, los acoples y se rompan los tubos PVC, esta situación se presenta principalmente en las líneas³³ de listos.

³² Islas de combustible: Lugares donde se suministra combustible a los equipos mineros (Camiones de 320 y 240 toneladas), el agua entregada allí es para consumo del islero quien es la persona encargada de suministrar el combustible a los equipos mineros

³³ Líneas de listos: Contenedor ubicado al interior de la mina para el descanso o refugio de los operadores de equipos mineros, está equipada con comedor punto dispensador de agua, bebidas calientes (Café agua aromática) y baño.

Hace también que el operario deba realizar maniobras incómodas e inseguras para acoplar las mangueras al punto de suministro.

Tanques de los puntos

- Las mirillas de los tanques de los puntos que son abastecidos con agua potable están cristalizadas por efecto de la exposición al sol.
- Los requerimientos para autorizar el inicio de la prestación del servicio en un nuevo punto no contempla los aspectos considerados en el presente diagnóstico.

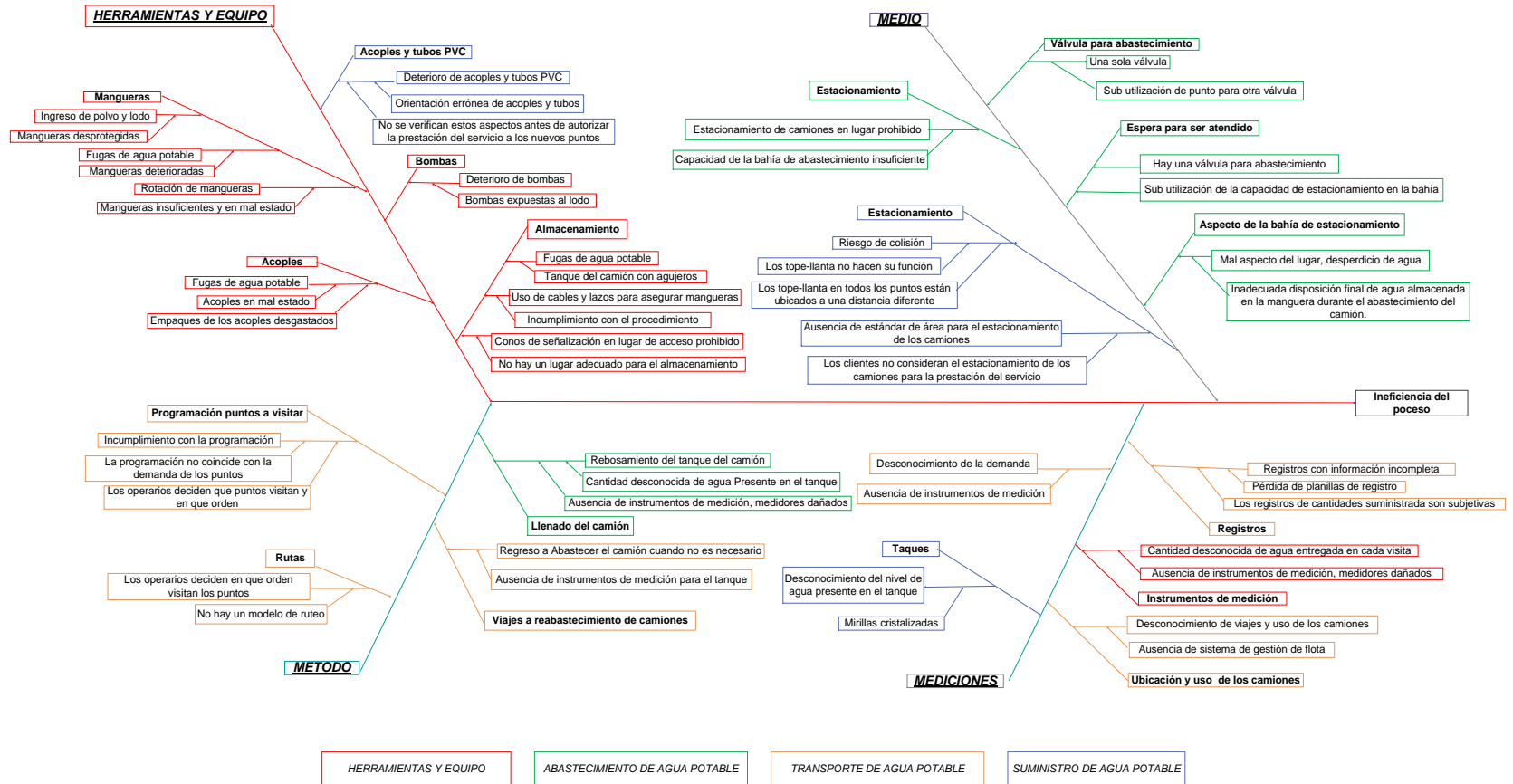
En el ANEXO H se plasma el diagrama causa efecto suministro de agua potable.

El presente diagnóstico logró identificar problemas que no se habían detectado anteriormente y que contribuyen al problema percibido por la empresa, la ineficiencia del proceso.

La información recopilada en este diagnóstico es la base sobre la cual se impulsa el mejoramiento del proceso.

En la ilustración 12 se describen los problemas y las causas que afectan el proceso en las diferentes actividades analizadas: herramientas y equipo, abastecimiento, transporte y suministro de agua potable, de tal manera que a partir de esta información se haga el planteamiento de alternativas que apunten a la solución del problema identificado.

Ilustración 12. Diagrama general Causa-Efecto proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camiones cisterna



Fuente: Autor

4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS PARA EL MEJORAMIENTO DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA

Las alternativas pretenden dar solución a los problemas que se han identificado en el diagnóstico del proceso (ilustración 12), para lo cual se emplea la siguiente metodología

Metodología:

- Identificación de alternativas de solución de acuerdo a los problemas identificados.
- Objetivo de la alternativa
- Consideraciones para el planteamiento de la alternativa.
- Planteamiento de la alternativa.
- Resultados esperados en caso de llevar a cabo la implementación.

Para realizar el planteamiento de las alternativas se hacen consultas con las personas de áreas y departamentos dentro de la compañía, de tal manera que se logre recopilar información de casos de éxito que se hayan emprendido anteriormente para dar solución a problemas similares o iguales a los detectados en el diagnóstico del proceso de suministro de agua potable.

Por lo cual se identifican tres áreas claves para el éxito del planteamiento y posible implementación de alternativas.

Tabla 8. Áreas, roles y aportes para el planteamiento e implementación de alternativas

Área/Departamento	Rol	Aporte a la solución de problemas
Planta de agua	Proveedor interno	Contribución para un mejor servicio de abastecimiento de camiones de agua potable
Taller de equipo liviano/liviano	Proveedor interno	Asesoría en estandarización, instalación, modificación de herramientas y accesorios en los equipos.
Departamento de Producción	Cliente interno	Adoptar los requerimientos de área e instalaciones en mina para un mejor servicio de suministro de agua potable.

Fuente: Autor

Las alternativas planteadas serán evaluadas por Cerrejón, la selección e implementación de las alternativas estarán a cargo de Cerrejón.

4.1 ALTERNATIVA 1: HABILITAR UNA VÁLVULA ADICIONAL PARA EL ABASTECIMIENTO DE CAMIONES EN LA BAHÍA DE PLANTA DE AGUA

4.1.1 Objetivo.

Reducir los tiempos de espera, aumentar el tiempo disponible para la operación de transporte y suministro de agua potable.

4.1.2 Consideraciones.

- La bahía de estacionamiento en planta de agua cuenta con capacidad para estacionar dos camiones a la vez, al hacer la prueba el resultado es satisfactorio.
- En el tubo que suministra agua potable en la bahía de planta de agua, se puede colocar una válvula adicional.
- La longitud de las mangueras permite abastecer desde cualquiera de los dos lugares de estacionamiento.

La ilustración 15 permite observar la posibilidad de habilitar una válvula de agua potable adicional y el efecto negativo que causa el hecho de tener una sola válvula (Tiempos de espera).

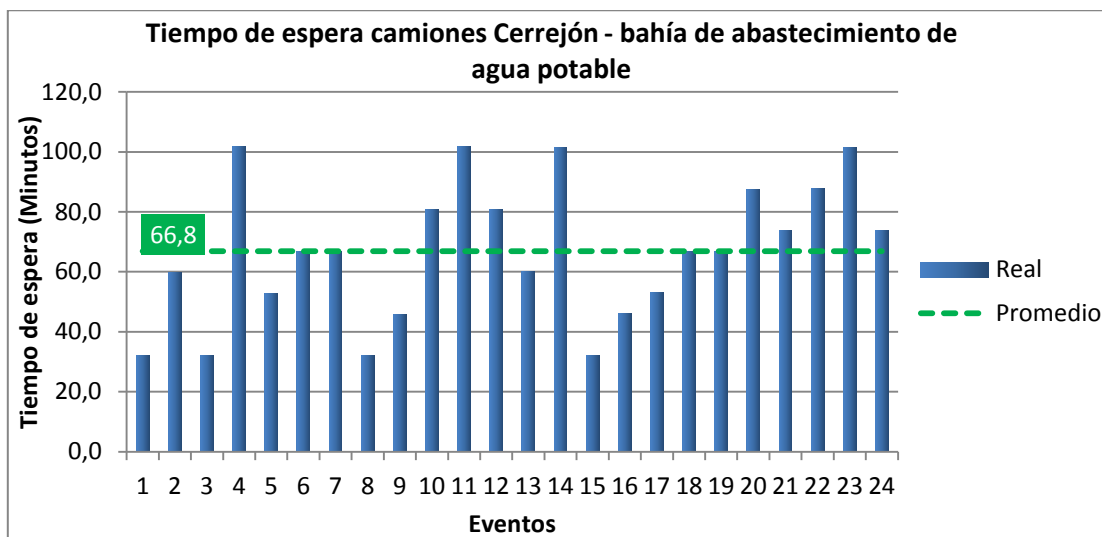
Ilustración 13. Estado actual abastecimiento de agua potable



Fuente: Autor

Actualmente es posible que lleguen los 4 camiones (2 de cerrejón y 2 de los organismos de seguridad) a abastecer al mismo tiempo con lo cual se presentan colas para realizar el abastecimiento, por lo anterior hay 24 eventos posibles (Anexo I Eventos y tiempo de espera para abastecimiento de camiones). Con lo cual se obtienen los tiempos de espera para los camiones de Cerrejón que se presentan en la ilustración 14.

Ilustración 14. Tiempos de espera por evento camiones Cerrejón



Fuente: Autor

El tiempo mínimo de espera de los camiones de Cerrejón es de 32 minutos, se presenta cuando los dos camiones de Cerrejón llegan y no hay camiones del organismo de seguridad delante de ellos, el tiempo máximo de espera se da cuando los dos camiones del organismo de seguridad llegan a la bahía de abastecimiento primero que los dos camiones de Cerrejón, en este caso la espera de los camiones de Cerrejón es de hasta 1 hora 42 minutos y 41 segundos. En caso que los 24 eventos ocurrieren con la misma probabilidad el tiempo promedio de espera de los camiones de Cerrejón sería de 1 hora, 6 minutos y 48 segundos.

Considerando que los camiones de Cerrejón acuden cuatro veces diarias en la tabla 9 se muestran los tiempos de espera en caso de que el mejor evento posible y el peor evento posible ocurrieran en más de una ocasión el mismo día.

Tabla 9. Minutos de espera por repetición de eventos hasta cuatro veces al día

Cantidad de veces que se repite el evento en un día				
Evento	1	2	3	4
1	32,0	63,9	95,9	127,8
2	59,9	119,7	179,6	239,4
3	32,1	64,2	96,3	128,4

Cantidad de veces que se repite el evento en un día				
Evento	1	2	3	4
4	101,7	203,5	305,2	406,9
5	52,8	105,6	158,5	211,3
6	66,8	133,5	200,3	267,1
7	66,8	133,5	200,3	267,1
8	32,0	63,9	95,9	127,8
9	45,9	91,8	137,7	183,6
10	80,7	161,4	242,2	322,9
11	101,7	203,5	305,2	406,9
12	80,9	161,7	242,6	323,5
13	60,0	120,0	180,0	240,0
14	101,6	203,2	304,8	406,3
15	32,1	64,2	96,3	128,4
16	46,1	92,1	138,2	184,2
17	53,0	105,9	158,9	211,9
18	66,9	133,8	200,8	267,7
19	66,9	133,8	200,8	267,7
20	87,6	175,3	262,9	350,5
21	73,8	147,7	221,5	295,3
22	87,8	175,6	263,4	351,1
23	101,6	203,2	304,8	406,3
24	73,7	147,4	221,1	294,7

Fuente: Autor

Como resultado de lo anterior, si los dos camiones de cerrejón coinciden las cuatro veces del día en la bahía de abastecimiento sin que ninguno de los camiones del Ejército este delante de ellos, el tiempo de espera sería de 2 horas 7 minutos y 48 segundos (127,8 minutos). En caso que los camiones de Cerejón coincidan con los del organismo de seguridad y estos siempre lleguen por delante, el tiempo de espera máximo de los camiones de Cerejón es de 6 horas 46 minutos y 18 segundos (406,3 minutos).

4.1.3 Planteamiento de alternativa.

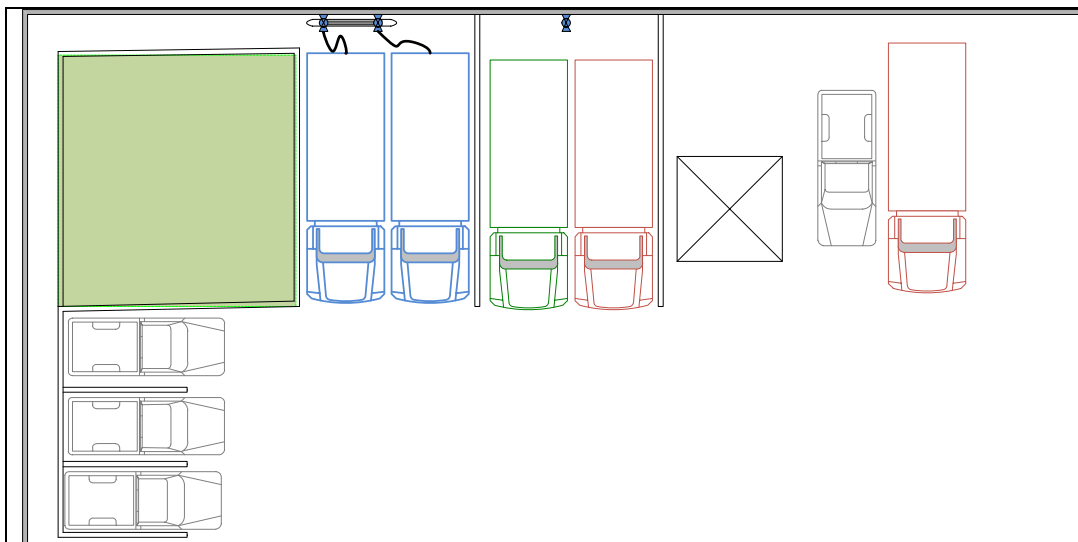
Para reducir el impacto en la operación por los tiempos de espera, y teniendo en cuenta los horarios de llegada de los camiones de Cerejón, se plantea:

- a) Instalar una válvula adicional de dos pulgadas, y reemplazar la tubería actual a 3 pulgadas de tal manera que se pueda aumentar la fuerza de la bomba de

- suministro en planta de agua, con esto se busca que la velocidad de abastecimiento sea cercana a la actual y la bifurcación no haga que el tiempo de suministro se incremente considerablemente.
- b) Los camiones del organismo de seguridad deben evitar en lo posible, acudir a la bahía de planta de agua en los siguientes horarios: entre 06:20 am y 07:10am, entre 10:40am y 11:30am, y, entre 01:00 pm y 01:35:00 pm; debido a que son los horarios en los que más veces acuden los camiones de Cerrejón a la bahía de abastecimiento.
 - c) Siempre que haya más de un camión en la bahía, deben abastecer dos camiones al tiempo, no puede haber subutilización del estacionamiento y de la válvula adicional.
 - d) Prohibir el estacionamiento en la bahía de agua potable de todo vehículo que no sea para el abastecimiento de agua potable.

Al implementar la alternativa 1, la distribución de la bahía se presenta en la ilustración 15.

Ilustración 15. Distribución física de la bahía de abastecimiento de agua potable al implementar la alternativa 1



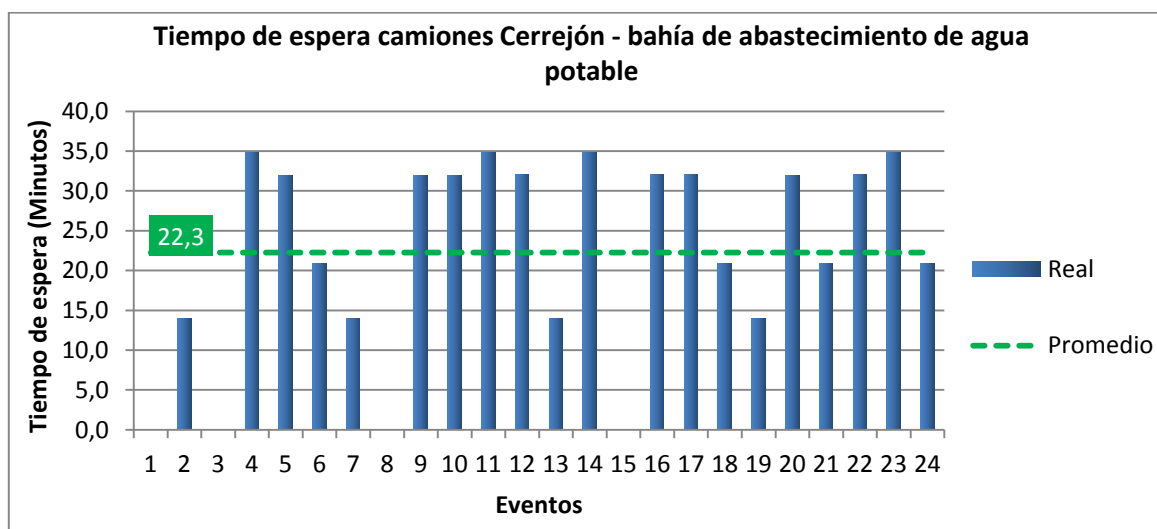
Fuente: Autor

Los camiones de color azul representan los vehículos que transportan agua potable, bien sean del Cerrejón o del organismo de seguridad, los demás son los que están estacionados en el parqueadero contiguo a la bahía.

4.1.4 Resultados esperados.

Los resultados en los tiempos de espera para los camiones de Cerrejón en caso de implementar esta alternativa se consolidan en la ilustración 16, y se detallan en el Anexo J. Eventos y tiempo de espera para abastecimiento de camiones en caso de implementar alternativa 1.

Ilustración 16. Tiempos de espera al implementar alternativa 1



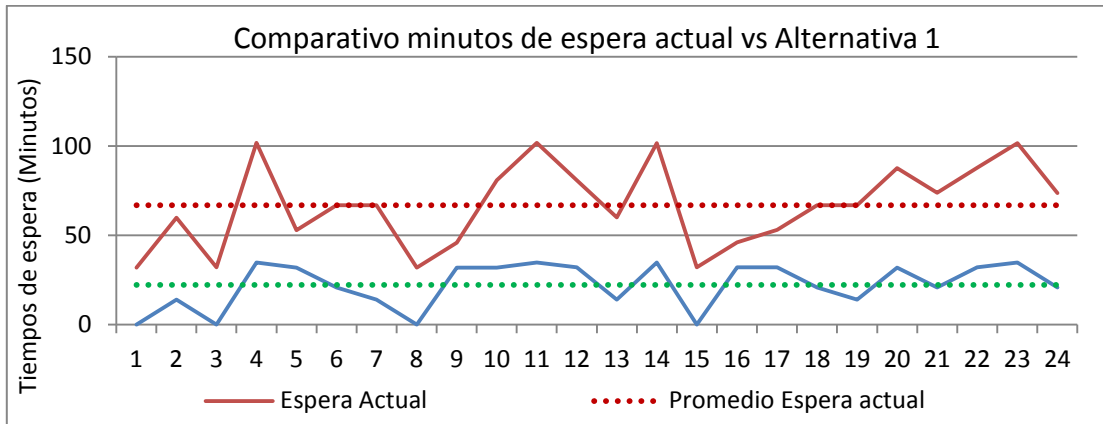
Fuente: Autor

Al implementar la alternativa 1, el tiempo de espera de los camiones de Cerrejón se elimina en 4 de los eventos posibles el cual se presenta cuando los camiones de Cerrejón arriban antes que los camiones del organismo de seguridad, en los eventos en que los camiones de Cerrejón deben esperar el tiempo mínimo de espera es de 14 minutos, que se presenta cuando uno de los camiones del organismo de seguridad (El de menor capacidad) arriba primero que los camiones de Cerrejón; el tiempo máximo de espera se da cuando los dos camiones del organismo de seguridad arriban a la bahía de abastecimiento antes que los dos camiones de Cerrejón, en este caso la espera de los camiones de Cerrejón es de 34 minutos y 48 segundos. En caso que los 24 eventos ocurrieran con la misma probabilidad el tiempo promedio de espera de los camiones de Cerrejón es de 22 minutos y 18 segundos.

Al implementar la alternativa, se logran reducciones en los tiempos de espera de los camiones de Cerrejón en la bahía de abastecimiento en cada uno de los 24

eventos posibles, tal como se presenta en la ilustración 17, en la cual se comparan los tiempos en cada uno de los 24 eventos sin implementar la alternativa y los tiempos que se espera tener con la alternativa implementada.

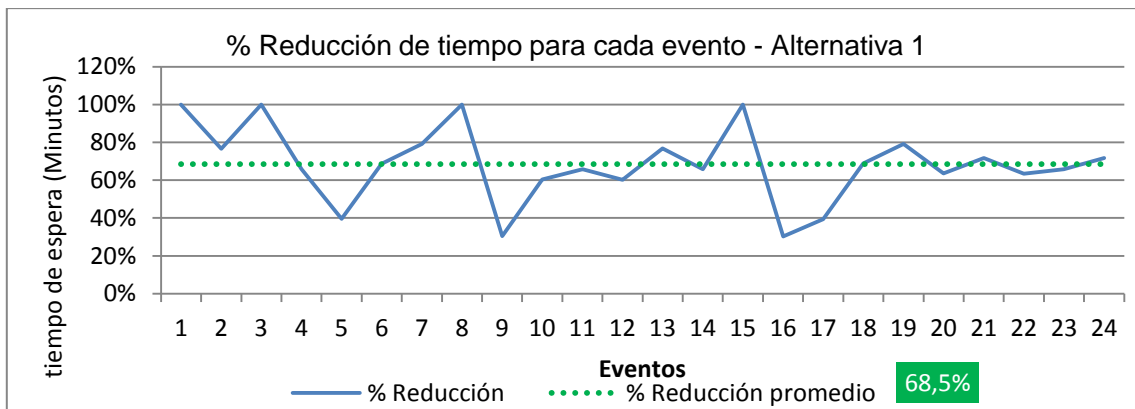
Ilustración 17. Comparativo tiempos de espera actual vs alternativa 1



Fuente: Autor

El porcentaje de tiempo de espera se logra reducir en promedio en un 68,5%. En la ilustración 18 se presentan los porcentajes de reducción para cada uno de los eventos al implementar esta alternativa.

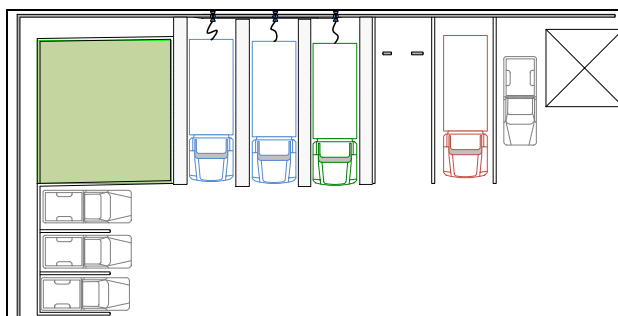
Ilustración 18. Porcentaje de reducción de tiempo para cada evento - alternativa 1



Fuente: Autor

Alternativa 1-complementaria, es no solo habilitar una válvula adicional como ya se explicó anteriormente, sino habilitar una tercera válvula como se indica en la ilustración 19.

Ilustración 19. Bahía de abastecimiento con tres válvulas de suministro de agua potable



Fuente: Autor

Al habilitar tres válvulas se debe tener en cuenta que:

- Se reduce el espacio para estacionamiento de los camiones que estacionan al lado de la bahía de abastecimiento en planta de agua.
- Es necesaria una orden de servicio con IMIS³⁴ debido a que se requiere retirar una vena de concreto, colocar una placa de concreto en el que sería el estacionamiento del tercer camión.
- Reubicar las válvulas de agua potable y de agua industrial, lo cual incluye instalar un tramo de tubería adicional, de tal manera que las válvulas queden en el lugar adecuado para el abastecimiento de cada camión.
- La bomba de planta de agua está en capacidad de aumentar el caudal, sin embargo es posible que se requiera una bomba adicional para la tercera válvula.

Para que la implementación de la tercera válvula sea exitosa, se requiere que dos válvulas sean exclusivas para el abastecimiento de los camiones de Cerrejón y una válvula para terceros que requieran abastecer agua potable.

Con esto se eliminan por completo los tiempos de espera de los camiones de Cerrejón y queda abierta la posibilidad de que una tercera válvula pueda ser usada por los camiones de Cerrejón de cumplirse las proyecciones realizadas en el proyecto de expansión P40³⁵.

³⁴ IMIS: Ingeniería y mantenimiento de instalaciones, es el área encargada de la construcción y adecuación de instalaciones

³⁵ P40: Proyecto de expansión para la producción de 40 millones de toneladas de carbón anuales.

4.2 ALTERNATIVA 2: ESTANDARIZAR LOS PUNTOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE QUE NO CUMPLEN CON LAS CONDICIONES DE ÁREA REQUERIDAS PARA HACER EL PROCESO DE MANERA EFICIENTE Y SEGURA.

4.2.1 Objetivo.

Implementar estándares de área que permitan hacer el proceso de una manera más eficiente y segura.

4.2.2 Consideraciones.

- Teniendo en cuenta que el vehículo se estaciona en posición de salida, La ubicación de los tope llanta es fundamental ya que contribuye a la seguridad del proceso.
- Las instalaciones están expuestas a que los camiones de agua potable las golpeen antes que los tope llanta los detengan, esta situación se da principalmente en las islas de combustible, ya que entre el camión y el punto de suministro siempre hay tubos expuestos.
- Hay áreas que presentan dificultad para la maniobra de estacionamiento de los camiones, algunas muy estrechas.

4.2.3 Planteamiento de alternativa.

El planteamiento de la alternativa enfoca el estándar a tres actividades la primera es el estándar para el suministro de agua potable, el segundo estándar para ubicación de tope llantas y el tercero la orientación de acoples en los puntos de suministro, estos estándares se describen a continuación:

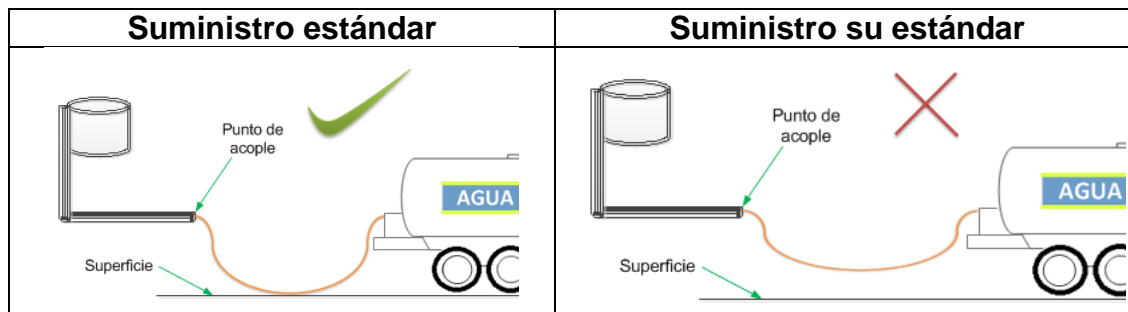
a) Estándar para suministro de agua potable en todos los puntos.

Para definir el estándar, la medida a tener en cuenta es la longitud de las mangueras que usan los camiones para el suministro.

Los camiones deben emplear dos mangueras cada una de 6 metros de longitud: ésta medida se estableció debido a que el espacio asignado para guardarlas en el camión tiene una longitud de 6 metros, motivo por el cual es necesario establecer la distancia máxima permitida desde el acople del camión hasta el acople de las líneas, islas y demás puntos donde se presta el servicio.

Restricciones: Se debe evitar que la manguera quede tensa durante el suministro ya que esta condición propicia el deterioro prematuro de los acoples (de camiones e instalaciones), el tubo PVC de los puntos (instalaciones) y las mangueras de los camiones.

Ilustración 20. Suministro estándar vs Suministro subestándar



Fuente: Autor

La distancia máxima a la cual deben estar los acoples del camión y del punto a suministrar (línea, isla, cambiadero³⁶, entre otros) se determinó con base a las siguientes medidas:

- Altura con relación al piso hasta el acople en los puntos (islas, líneas, entre otros).
- Altura con relación al piso hasta el acople de suministro del camión.
- Longitud de las mangueras del camión.

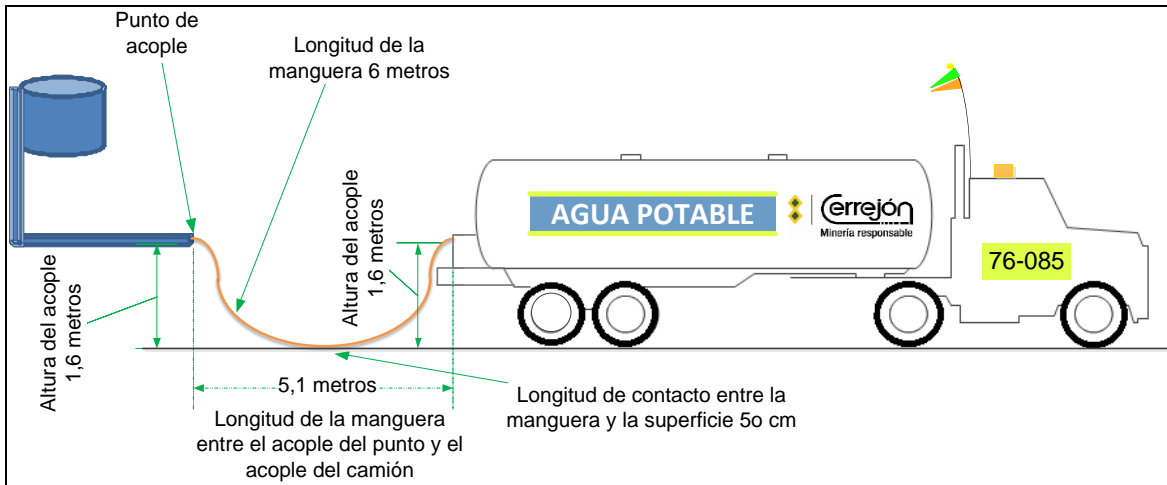
Teniendo en cuenta que la altura de los acoples en las diferentes instalaciones (islas, líneas, Cambiaderos, entre otros) y la altura del acople de los camiones con respecto al piso no supera 1,6 metros, se han establecido las medidas plasmadas en la ilustración 21 como distancia máxima permitida entre los dos puntos de acople.

Cualquier suministro que se realice sin haber contacto entre la manguera del camión y la superficie, se considera suministro sub-estándar, ya que ésta situación acelera el deterioro de los diferentes elementos empleados para el suministro.

En lugares donde la distancia entre los acoples sea mayor a 5,1 metros los operarios deben hacer el suministro acoplado las dos mangueras con las que cuenta cada camión.

³⁶ Cambiadero: Lugar de transición de los operarios entre la llegada de sus viviendas y la salida hacia el lugar de trabajo el interior de la mina, el cual está compuesto por baterías de baños, duchas, punto de entrega de alimentos, dispensadores de bebidas, entre otros.

Ilustración 21. Distancia máxima entre acople de camión e instalación para suministro en todos los puntos (Estándar)



Fuente: Autor

b) Ubicación de los tope llanta

Las islas de combustible, deben acogerse al estándar de distancias establecido para todos los puntos de suministro plasmado en la ilustración 21 y además deben tener en cuenta las siguientes medidas, dada la ubicación actual del punto de suministro que se encuentra precedido por tubos expuestos como se muestra en la ilustración 22:

Ilustración 22. Distribución actual de área en islas de combustible.



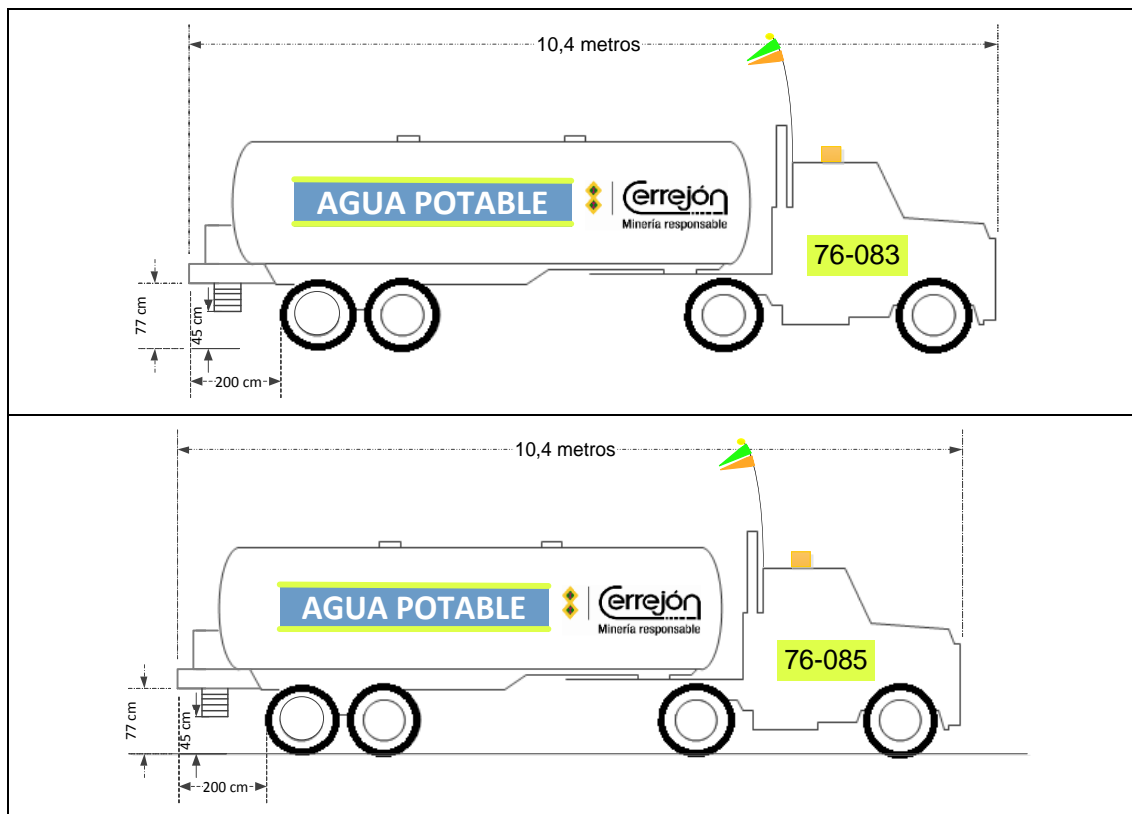
Fuente: Autor

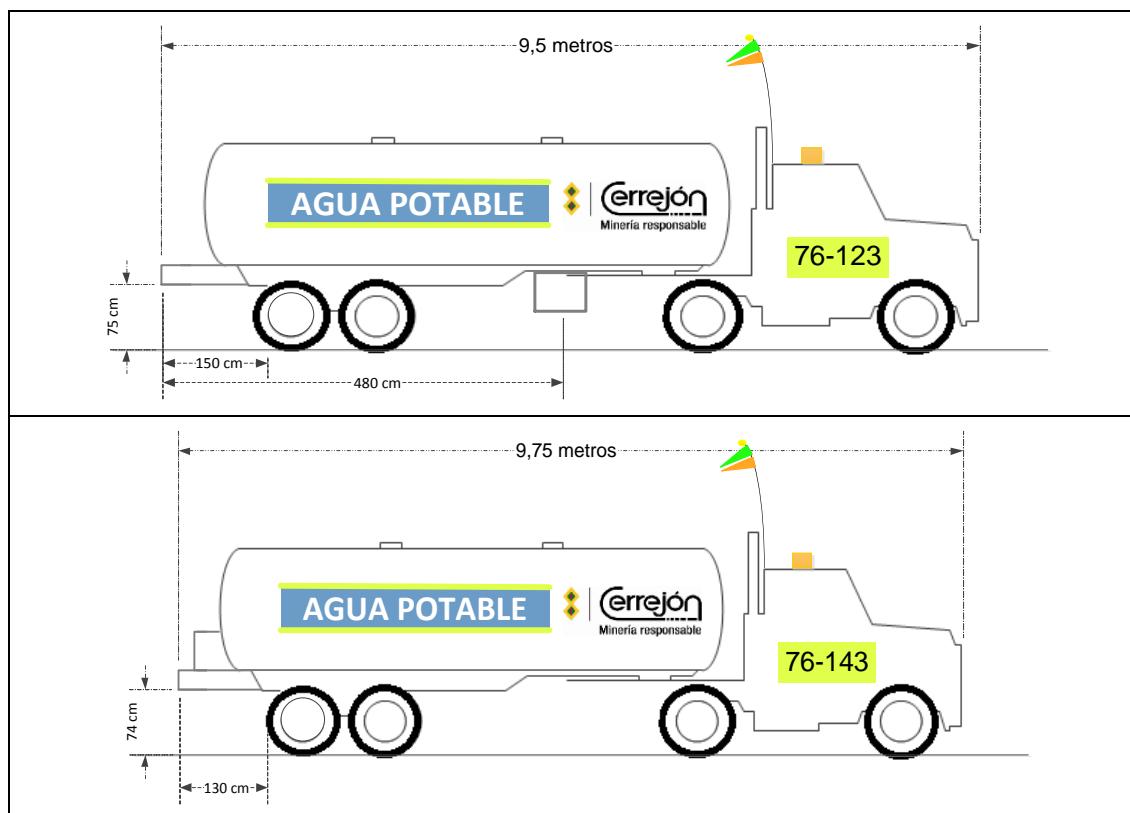
Se consideran las siguientes medidas de los camiones:

- Distancia de la llanta trasera hasta la parte más posterior del camión.
- Altura desde el piso hasta la parte más baja ubicada atrás de la llanta trasera del camión.
- Distancia desde el punto de suministro (acople) del camión, hasta la parte más posterior del camión.
- Altura desde el piso hasta el punto de suministro (acople) del camión.

Las mediciones de cada uno de los camiones se detallan en la ilustración 23.

Ilustración 23. Mediciones realizadas a los camiones de agua potable



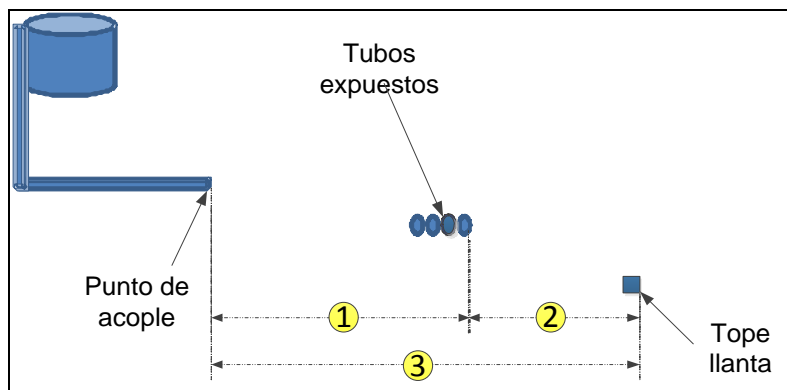


Fuente: Autor

Luego se realizaron las mediciones en cada una de las islas de combustible considerando las siguientes distancias plasmadas en la ilustración 24:

- Distancia del punto de acople al tubo expuesto más próximo al camión.
- Distancia del tubo más expuesto al camión a el punto de contacto del tope llanta con la llanta del camión
- Distancia del punto de acople de la instalación a el punto de contacto del tope llanta con la llanta del camión

Ilustración 24. Medidas en islas de combustible para determinar la ubicación del tope llanta



Fuente: Autor

Tabla 10: Mediciones en Islas de combustible (estado actual)

Lugar	Medida 1 (metros)	Medida 2 (metros)
Isla 1	3,2	1
Isla 4	3,1	2,8
Isla 6	3,8	2,5
Isla 2	5,2	1,6
Isla 8	2,2	3,7
Isla portátil 9	2,45	no hay tope
Isla portátil 7	3,8	2,8
Isla portátil 5	No aplica	No aplica
Isla portátil 3	2,7	1,85

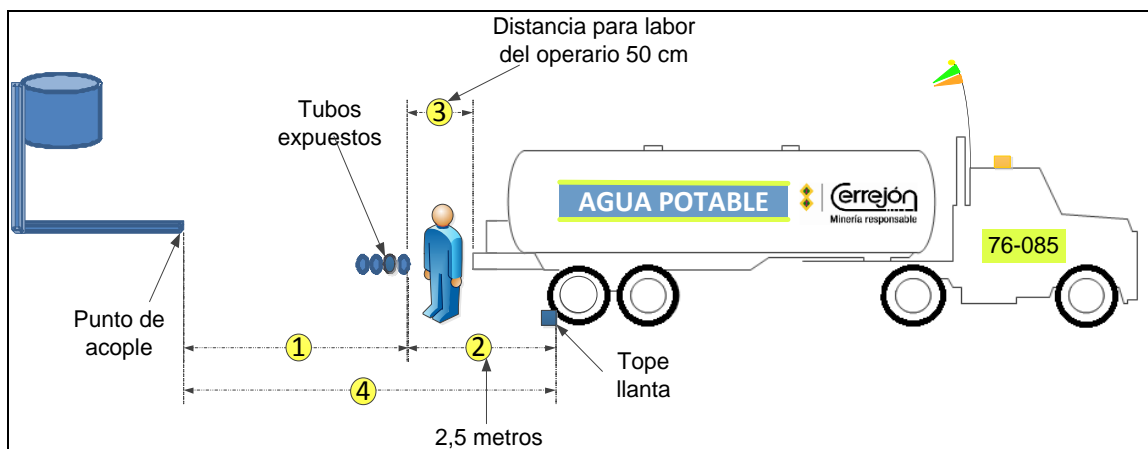
Fuente: Autor

Una vez realizadas las mediciones se establecen los requerimientos para que los operarios puedan hacer el suministro cumpliendo con el estándar definido para todos los puntos.

Las siguientes distancias garantizan un trabajo seguro:

- Distancia de seguridad mínima (3), para maniobra del operario; 50 centímetros entre los tubos expuestos y la parte más trasera del camión.
- Distancia (2) entre los tubos expuestos y el tope llanta, 2,5 metros.

Ilustración 25. Distancias requeridas para realizar un suministro seguro



Fuente: Autor

Con la distancia (2) de 2,5 metros, se obtiene la distancia (4), a esta se le resta la distancia desde la llanta trasera hasta el acople del camión, con lo cual se obtiene la distancia horizontal que hay entre los acoples, con esto se realizan los cálculos para determinar el cumplimiento que pueden tener los camiones para realizar el suministro de agua potable en caso de implementar las medidas estándar y de ubicación de tope llanta en todas las islas.

Tabla 11: Cálculo de estándar para suministro de agua potable en islas

ISLA	Medición de distancias			DISTANCIA HORIZONTAL ENTRE ACOPLES		DISTANCIA ESTÁNDAR ENTRE ACOPLES
	1	2	4	76-083	76-143	
ISLA 1	3,2	2,5	5,7	$5,7-1,85=3,85$	$5,7-1,2=4,5$	Cumple
ISLA 4	3,1	2,5	5,6	$5,6-1,85=3,75$	$5,6-1,2=4,4$	Cumple
ISLA 6	3,8	2,5	6,3	$6,3-1,85=4,45$	$6,3-1,2=5,1$	Cumple
ISLA 2	5,2	2,5	7,7	$7,7-1,85=5,85$	$7,7-1,2=6,5$	No Cumple
ISLA 8	2,2	2,5	4,7	$4,7-1,85=2,85$	$4,7-1,2=3,5$	Cumple
ISLA 9	2,45	No hay tope	4,95	$4,95-1,85=3,1$	$4,95-1,2=3,75$	Cumple
ISLA 7	3,8	2,5	6,3	$6,3-1,85=4,45$	$6,3-1,2=5,1$	Cumple
ISLA 5	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica
ISLA 3	2,7	2,5	5,2	$5,2-1,85=3,35$	$5,2-1,2=4$	Cumple

Fuente: Autor

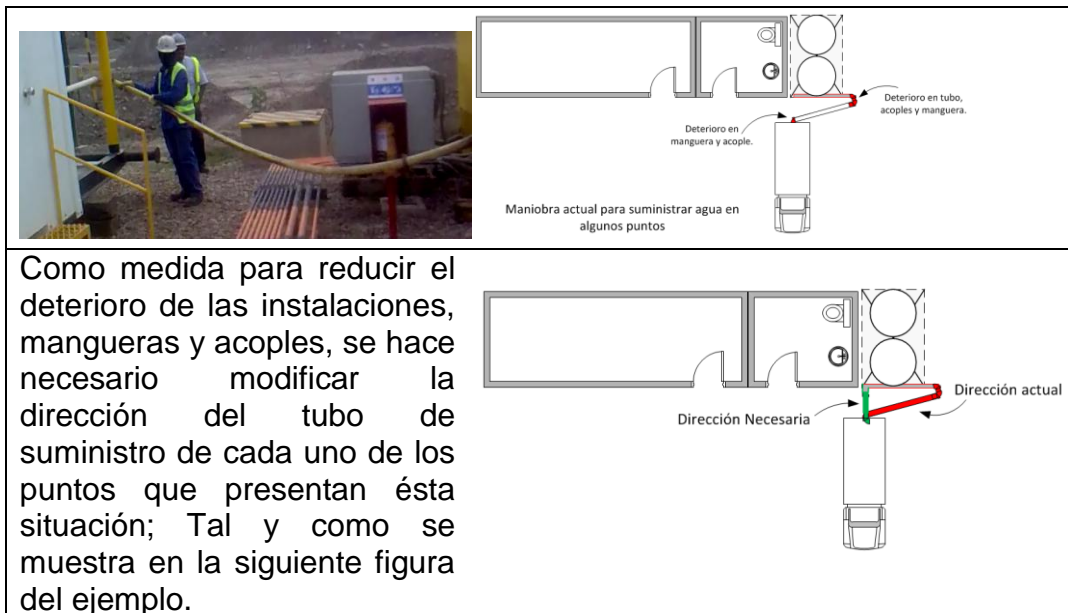
De acuerdo a los resultados de los cálculos, al implementar la distancia de ubicación del tope llanta en la isla portátil 2, la distancia entre los dos puntos de

acople (Instalación y bomba del camión) supera la distancia estándar de 5,1 metros, por esta razón, en los lugares donde la distancia entre el acople de la instalación y el acople de la bomba del camión supere los 5,1 metros todos los camiones de agua potable deben emplear dos mangueras para el suministro, en los demás puntos basta usar una sola manguera.

c) Direccionamiento de tubos PVC en puntos de suministro

La orientación de la tubería en los puntos de suministro deber ser hacia el lugar donde se estaciona el camión a continuación se ilustra la situación actual en uno de los puntos de suministro.

Tabla 12. Ejemplo situación actual en puntos de suministro de agua potable

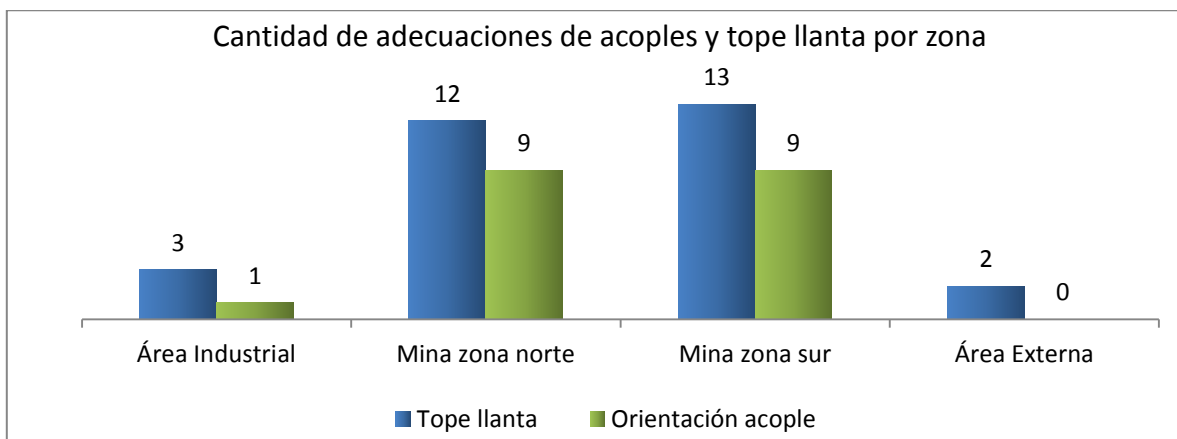


Fuente: Autor

La orientación de la tubería es uno de los principales inconvenientes al momento de realizar el suministro, esto hace que los acoples, mangueras y tubería estén sometidas a esfuerzos que generan una condición de deterioro prematuro. En el Anexo K. Inventario de puntos para orientación de tubos (acoples) e instalación de tope llanta se indica la orientación actual y la requerida para cada uno de los puntos donde se presenta una situación similar a la anteriormente descrita.

En total se recomienda la instalación de 30 tope llanta y hacer 19 reorientaciones de tubería (acoples) distribuidos como se indica en la ilustración 26.

Ilustración 26. Cantidad de adecuaciones por zona



Fuente: Autor

Como se puede apreciar, los puntos de área de mina son los que requieren una mayor intervención, es necesario que las áreas o departamentos de la compañía que tienen a cargo las instalaciones contemplen la importancia de adecuar al estándar el lugar para que el suministro de agua potable se preste de la manera más segura y eficiente posible.

En todos los puntos de suministro se debe definir y aclarar que área debe presupuestar el cambio de las mirillas en los tanques de los puntos cuando están cristalizadas, una vez definido se recomienda el reemplazo de las mirillas que presentan esta situación.

4.2.4 Resultados esperados.

Al estandarizar los puntos se espera una reducción en los tiempos de alistamiento, una mayor vida útil de las herramientas y equipo empleados para llevar a cabo el proceso y lo más importante, maniobras seguras de estacionamiento de los equipos con la implementación de barreras duras (tope llanta) para evitar una posible colisión de los camiones de agua potable con las instalaciones donde se realiza el suministro.

4.3 ALTERNATIVA 3: IMPLEMENTACIÓN, MODIFICACIÓN, ADECUACIÓN Y/O REEMPLAZO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO EMPLEADOS EN EL PROCESO

4.3.1 Objetivo.

Identificar las herramientas y equipo que deben ser implementados, modificados, adecuados y/o reemplazados.

4.3.2 Consideraciones.

Herramientas y equipo a los que se les ha extendido su vida útil y están en condiciones subestándar.

4.3.3 Planteamiento de alternativa.

Para cada uno de los ítems evaluados durante la fase de diagnóstico, se describe en la tabla 13 el estado de las herramientas y equipo al igual que la acción que se debe emprender para estandarizarlos.

Se recomienda monitoreo, y seguimiento por parte del interventor de proceso a cada uno de los ítems descritos anteriormente, con el propósito que se logren evitar desviaciones en los estándares de operación de los equipos y se realicen las solicitudes y procedimientos que permitan el reemplazo oportuno de herramientas que no cumplen las condiciones mínimas para la operación adecuada por parte de los operarios.

El interventor del proceso debe hacer un plan de revisión periódica de los equipos de tal manera que se logre identificar ítems subestándar oportunamente.

4.3.4 Resultados esperados.

Al implementar las recomendaciones de la tabla 13, se espera:

- Que se prolongue la vida útil de las herramientas y los equipos empleados.
- Eliminar el desperdicio de agua potable por efecto de herramientas en condiciones subestándar
- Eliminar condiciones de área y equipo inseguras que pudieran llegar a causar un accidente.
- Aumento en la satisfacción de los operarios al tener herramientas y equipo que contribuyan a realizar su labor de una manera eficiente y segura.

Tabla 13. Acciones para herramientas y equipo empleados en el proceso de suministro de agua potable

Herramienta	Estado actual	Acción
Seis (6) mangueras de dos pulgadas de 6 metros cada una	Mangueras de los camiones deterioradas, rotas, remendadas con cauchos y/o cinta aislante	Reemplazo inmediato de las mangueras con las especificaciones descritas.
Acoples de las mangueras y camiones	Empaques de los acoples deteriorados	Reemplazar los empaques de todos los acoples ubicados en las mangueras de los camiones
	Acoples hembra sin protección contra ingreso de lodo y polvo	Compra de 16 acoples de tapa macho-hembra para cada una de las mangueras que tienen los camiones
	Acoples para el abastecimiento de los camiones sin ningún tipo de protección	Compra de 5 acoples de tapa hembra-macho para los acoples de los camiones y las bombas de los camiones.
Almacenamiento de mangueras y acoples	Los operarios no almacenan las, mangueras en los tubos dispuestos para esto, transportan las mangueras con permanente exposición al polvo y lodo presentes en la mina	Fortalecer en los operarios el procedimiento en el cual se explica claramente el estándar de almacenamiento y transporte de las mangueras empleadas, eliminar el uso de cables, lazos y cualquier tipo de elemento empleado para amarrar las mangueras y transportarlas de manera inadecuada.
Conos de señalización	Almacenamiento en lugar prohibido, riesgo de caída de operador desde una altura mayor o igual a 1,5 metros	Los equipos medianos tienen un estándar para la ubicación y transporte de los conos de señalización, se debe instalar el soporte para los conos en los cuatro camiones de agua potable
	Uso de conos de señalización no adecuados para el tipo de vehículo.	Reemplazo de conos de señalización de los equipos que están empleando conos de equipo minero, cada camión de agua potable debe tener dos conos de 70 cm de altura cada uno de acuerdo al estándar exigido por la normatividad colombiana.

Herramienta	Estado actual	Acción
Tanques de dos camiones de agua potable.	Presentan pequeños orificios que permiten fugas de agua potable.	Los camiones 76-085 y 76-083 deben ser enviados al taller de equipo liviano/mediano para latonería en los lugares donde hay orificios por los cuales se presentan fugas de agua.
Bombas de los camiones 76-083 y 76-085	Bombas expuestas totalmente al polvo y lodo presentes en la mina.	Se deben instalar cajas metálicas como las que tiene el camión 76-143 que brindan protección a todos los elementos de la bomba de los camiones empleada para el suministro de agua potable.
Equipos 76-083 y 76-085	Más de 10 años en la operación, los tableros de indicadores están deteriorados, ya han cumplido su ciclo.	Los dos equipos se encuentran dentro del plan de renovación de vehículos medianos que tiene la compañía, serán reemplazados en el corto plazo.
Equipos que están por llegar	Equipos para el proceso de suministro de agua potable en etapa de adquisición y movilización a la mina	Antes de iniciar a operar los equipos en el proceso de suministro de agua potable, estos deben ajustarse a las necesidades, requerimientos y estándares de herramientas y equipo definidos para el proceso. Los operarios deben ser capacitados en la operación de los equipos.

Fuente: Autor

4.4 ALTERNATIVA 4. INSTALACIÓN DE MIRILLAS EN LOS TANQUES DE LOS CAMIONES DE AGUA POTABLE

4.4.1 Objetivo.

Conocer en tiempo real el nivel de agua presente en el tanque del camión para que las decisiones de cuando regresar a abastecer el camión y cuando parar de abastecer el camión sean acertadas.

4.4.2 Consideraciones.

- El desconocimiento del nivel de agua en los tanques de los camiones, lleva a tomar decisiones equivocadas.

4.4.3 Planteamiento de alternativa.

La alternativa consiste en instalar una mirilla en los tanques de todos los camiones, ubicándola en la tapa del tanque detrás de la cabina del conductor, el camión 76-143 es el único que tiene mirilla pero está cristalizada como se puede observar en la ilustración 27.

Ilustración 27. Mirilla camión 76-143



Fuente: Autor

Las acciones a tomar son:

- Para el camión 76-143, reemplazar la mirilla actual
- Para los camiones 76-083, 76-085 y 76-123, instalación de mirilla
- La mirilla debe ser uno de los elementos estándar para los camiones de agua potable.

4.4.4 Resultados esperados.

Con la instalación de las mirillas en los camiones los operarios pueden conocer el nivel de agua presente en el tanque, con esto se logra eliminar el desperdicio de agua potable en la bahía de agua potable al momento de abastecer los camiones, los operarios deben estar atentos al nivel que marca la mirilla para cerrar oportunamente la válvula de abastecimiento.

De igual manera, el hecho de conocer el nivel de agua en los tanques hace que los operarios tomen la decisión de regresar a abastecer los camiones cuando realmente es necesario, con esto se elimina la posibilidad de abastecer el camión aun cuando hay una cantidad importante de agua al interior del tanque.

Con la implementación de las mirillas es posible que se disminuya el número de abastecimientos.

4.5 ALTERNATIVA 5. ELABORAR UNA HERRAMIENTA DE PROGRAMACIÓN Y CONTROL DIARIO DE LOS PUNTOS EN LOS CUALES SE DEBE SUMINISTRAR AGUA POTABLE

4.5.1 Objetivo.

Establecer una programación de los puntos que deben ser atendidos a diario, considerando los tres últimos suministros en cada punto.

4.5.2 Consideraciones.

La programación actual es estática y no contempla el consumo de los puntos, de allí el cumplimiento del 40,38% con la programación actual.

La decisión de qué puntos visitar no debe ser tomada por los operarios, ésta debe estar soportada por datos de consumo que permitan mayor cumplimiento en las visitas a los clientes.

Los registros actuales no permiten hacer análisis confiables de consumo de los puntos, sumado esto a la pérdida de algunos registros.

4.5.3 Planteamiento de alternativa.

El desarrollo de esta alternativa parte de un desconocimiento total del consumo de cada uno de los puntos, principalmente porque no se han implementado instrumentos de medición que permitan conocer esta información, de igual manera los registros actuales no son confiables. Lo anterior hace que la formulación de esta alternativa sea aún más interesante.

Al ser parte esta alternativa de uno de los objetivos específicos del presente proyecto, la metodología y desarrollo de la misma se describe en detalle en la sección número 5. Elaboración de programación de puntos a visitar.

4.5.4 Resultados esperados.

La implementación de ésta alternativa debe generar un incremento en el porcentaje del cumplimiento con la programación, al igual que mayor cumplimiento con los clientes.

La información recopilada permitirá conocer el consumo de cada uno de los puntos y áreas del complejo minero, a partir de esta se establecerán indicadores para la gestión del proceso.

La programación es el insumo para otro de los objetivos específicos del presente proyecto, la programación de puntos a visitar aplicando el concepto de ruteo de vehículos.

4.6 ALTERNATIVA 6. DISEÑAR UNA PROGRAMACIÓN DE ATENCIÓN DE LOS PUNTOS DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE APLICANDO EL CONCEPTO DE RUTEO DE VEHÍCULOS Y LOS CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN SOBRE ESTE.

4.6.1 Objetivo.

Con base en la programación de puntos a visitar, diseñar un programa de generación de rutas el cual contemple el concepto de ruteo de vehículos y los criterios de optimización.

4.6.2 Consideraciones.

Toda compañía hace esfuerzos a diario para optimizar sus recursos y con ello aumentar su competitividad en el mercado, sin duda alguna los costos de transporte ocupan una parte importante de los costos de operación, de allí la necesidad de estructurar un modelo de ruteo que permita visitar todos los puntos programados al menor costo.

Si bien los operarios visitan los puntos en el orden en que ellos consideran es más corto, puede que la suma total de distancias recorridas para visitar a todos los clientes sea mayor a la que un método de ruteo puede calcular.

Por lo anterior, aplicar el concepto de ruteo de vehículos contribuye al objetivo de optimizar los recursos de tal manera que se logre visitar a todos los clientes programados al menor costo posible.

4.6.3 Planteamiento de alternativa.

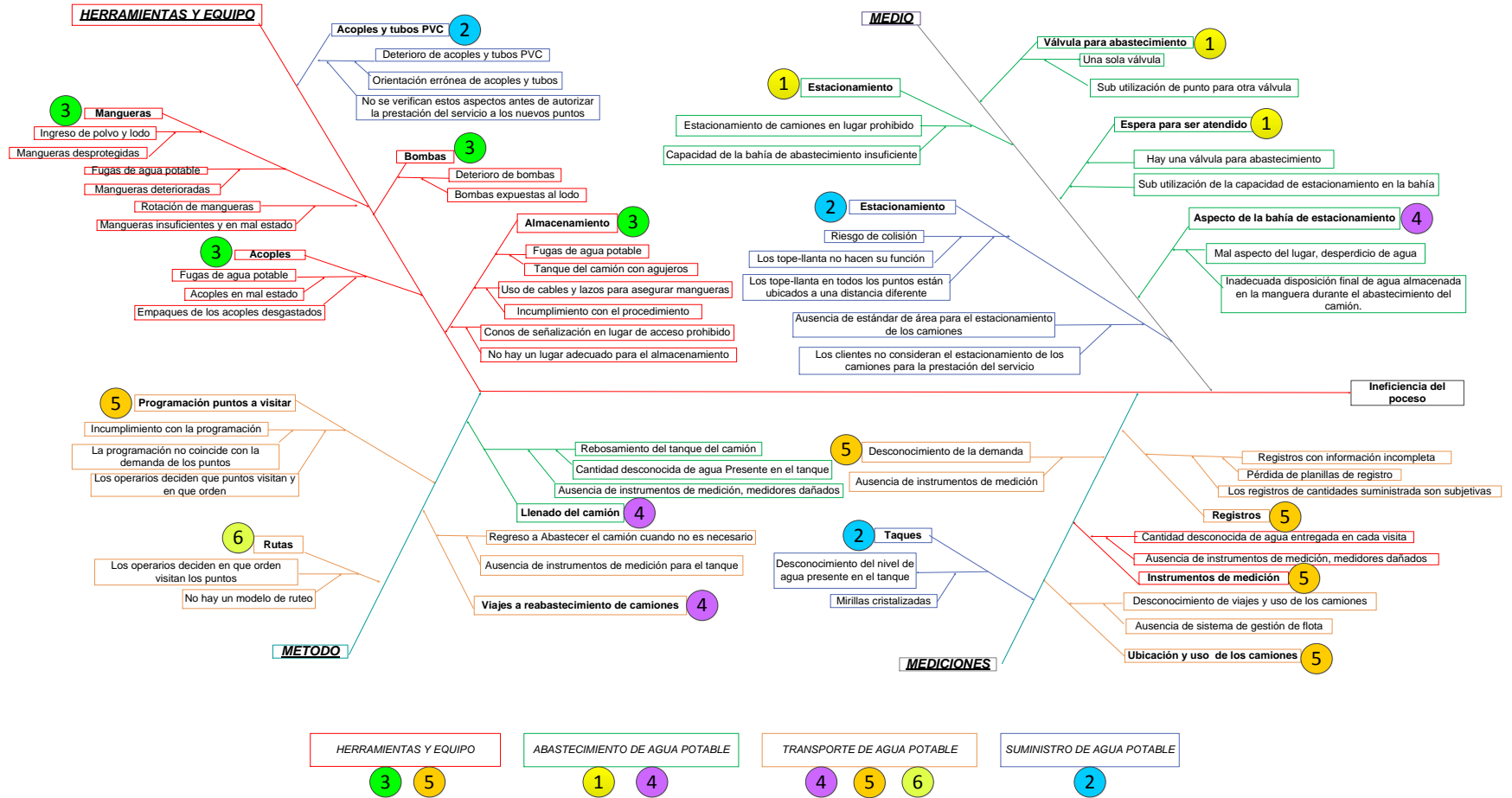
Al ser parte esta alternativa de uno de los objetivos específicos del presente proyecto, la metodología y desarrollo de la misma se describe en detalle en la sección número 6. Diseño de un programa de ruteo.

4.6.4 Resultados esperados.

Los operarios deben visitar los puntos asignados en el orden en que se les indique, no debe prevalecer el criterio del operador sobre el modelo de ruteo.

Las 6 alternativas descritas pretenden atacar las causas de los problemas identificados en el diagnóstico del proceso, en la ilustración 28 se ilustra para cada problema identificado la alternativa que contribuye a la solución del mismo atacando su causa raíz.

Ilustración 28. Alternativas de solución para cada problema identificado



Fuente: Autor

Con el propósito de conocer los lugares visitados y la ubicación de los camiones, la empresa ha decidido implementar la herramienta de gestión de flota VDO³⁷ con la cual se espera conocer datos que permitan una mejor gestión del proceso.

Por lo tanto, la elaboración de la programación de los puntos a visitar requiere de las siguientes etapas.

- Geo-referenciar³⁸ los puntos en los cuales se suministra agua potable.
- Obtener reportes de visitas de los camiones de agua potable a cada uno de los puntos.
- Definir instrumentos de medición para obtener datos confiables de la cantidad de agua entregada en los puntos.
- Obtener de datos de los suministros en los puntos.
- Elaborar una programación de puntos a visitar.

5.1 GEO-REFERENCIACIÓN DE LOS PUNTOS

La geo-referenciación de los puntos consiste en acudir a cada uno de los lugares donde se suministra agua para marcarlos como puntos de suministro autorizados, para esto se emplea un VDO el cual emite una señal a la plataforma de la empresa FM-WEB³⁹ donde queda el registro del lugar visitado (coordenada), luego se marca y se nombra el punto (coordenada) con el nombre como es conocido cada lugar en Cerrejón, para realizar esto se sigue la siguiente metodología.

- a) Definición de recursos necesarios para geo-referenciar los puntos.

Los recursos necesarios son: VDO de instalación temporal, camioneta con elementos para ingreso a mina, interventor con conocimiento de todos los puntos en los que se suministra agua potable, que cumpla con los requisitos para conducir en área de mina, elementos de protección personal requeridos para el ingreso a mina.

- b) Visita a cada uno de los puntos donde se suministra agua potable.

Una vez instalado el VDO en la camioneta del interventor y después de verificar la documentación y permisos para acceder al área de mina, inicia el proceso de visita a cada uno de los puntos el cual se hace de la siguiente manera: un día se visitan todos los puntos de la mina zona sur, un día se visitan los puntos de la mina zona norte y un día se visitan los puntos del área industrial y externa.

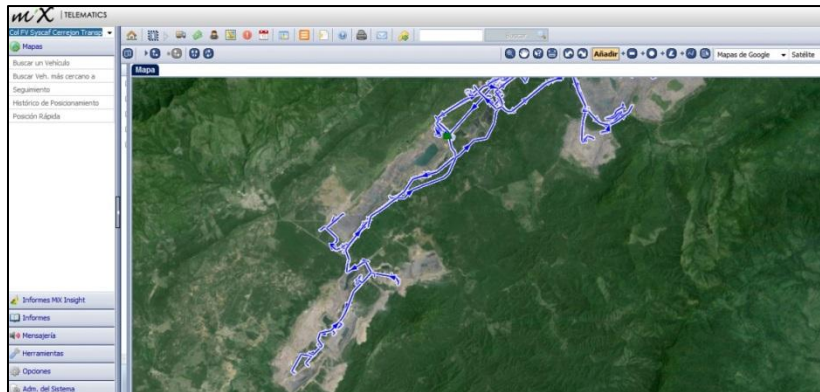
Con esto ya queda en el sistema FM-WEB los recorridos realizados y los lugares visitados como se presenta en la ilustración 30.

³⁷ VDO: Sistema de gestión de flota que permite el registro de información de manera satelital

³⁸ Georeferenciar: Registro de coordenadas con el sistema de seguimiento satelital VDO

³⁹ FM-WEB: plataforma virtual para la gestión de la flota de camiones propiedad de Cerrejón

Ilustración 30. Identificación de puntos de suministro de agua potable en la plataforma FM WEB



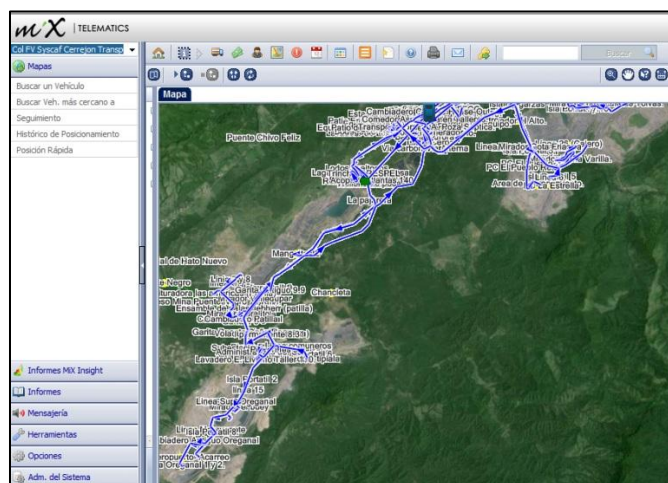
Fuente: Autor

c) Marcación y registro de nombre del punto como geo-zona.

El registro físico de las visitas anteriormente mencionadas tiene los datos de nombre del punto y hora en la cual se realizó la visita, esto facilita el proceso de geo-referenciar los puntos en el sistema FMWEB, al cruzar esta información con los movimientos registrados por el sistema FMWEB.

Una vez geo-referenciados todos los puntos donde se suministra agua potable el aspecto en la plataforma FM WEB se muestra en la ilustración 31.

Ilustración 31. Puntos de agua potable geo-referenciados



Fuente: Autor

Una vez realizado esto, ya es posible descargar información de las visitas de los camiones a cada uno de los puntos.

5.2 OBTENCIÓN DE REPORTES DE VISITAS DE LOS CAMIONES DE AGUA POTABLE A CADA UNO DE LOS PUNTOS

El reporte de visitas a cada uno de los puntos se descarga de la plataforma FM WEB el cual contiene fecha, vehículo, matrícula, localización, cantidad de visitas al punto, tipo de equipo que hace la visita (Agua potable), tiempo en localización, entre otras.

Los pasos que se deben seguir para descargar los reportes de la plataforma FM WEB se describen en el Anexo L. Procedimiento para obtener reporte de puntos visitados por cada uno de los camiones de agua potable.

La información diaria de los movimientos de los camiones de agua potable permite obtener algunos indicadores de gestión de la flota.

5.3 DEFINICIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA OBTENER DATOS DE CANTIDAD DE AGUA ENTREGADA EN LOS PUNTOS

Debido a que no hay instrumentos de medición en los equipos y teniendo en cuenta que la información registrada en las planillas de los operarios es subjetiva por lo que no es adecuada para hacer análisis de consumo, el siguiente paso es establecer un instrumento de medición que permita obtener datos confiables para realizar la programación de puntos a visitar basados en el consumo, más confiables que los obtenidos por el método actual (Percepción de los operarios), se evalúan las siguientes alternativas:

5.3.1 Cronómetros para obtención de tiempos de suministro.

a) Objetivo:

Obtener datos estimados de cantidad de agua suministrada mediante la toma del tiempo de suministro de agua en los puntos por parte de los operarios.

b) Necesidades:

- Compra de 3 cronómetros para cada uno de los operarios dos en turno y uno en descanso, durante una jornada normal de trabajo.
- Mediciones del caudal de suministro de cada camión
- Entrenamiento y capacitación a los operarios para la toma de tiempos
- Cambio de la planilla de registro de suministros.

c) Resultados esperados:

Al hacer el producto entre el caudal del camión que realiza el suministro (litros/segundo) y el tiempo de suministro (segundos) se obtiene la cantidad de agua entregada (litros) en cada punto, de esta manera se obtienen datos estimados más aproximados que el método actual (Percepción de los operarios).

5.3.2 Consulta y posible compra e instalación de medidores BADGER METER⁴⁰.

a) Objetivo:

Obtener datos de la cantidad suministrada en cada lugar integrando los registros de cantidad de agua suministrada con el medidor BADGER METER y la plataforma FMWEB de tal manera que se obtengan reportes de la misma manera en que se obtienen los reportes de visitas a cada uno de los puntos (fecha, vehículo, matrícula, localización, conductor, cantidad de agua entregada, entre otros)

b) Necesidades:

- Consulta con la empresa SISCAF⁴¹ para definir si es posible la vinculación de los datos capturados por un medidor con señal de pulsos a la plataforma FMWEB.
- Visita a la mina por parte del personal de la empresa INTELPRO⁴² (Solution Partner SIEMENS) para observación de los camiones, del proceso de suministro y análisis de instalación de medidores.
- Cotización para la compra e instalación de cuatro medidores de cantidad de agua entregada para cada uno de los camiones.

c) Resultados esperados:

Obtención de reporte diario de operación por medio de la plataforma FMWEB de tal manera que el reporte incluya la cantidad de agua suministrada en cada lugar y permita identificar cuando un suministro se realiza en un lugar autorizado o no.

Con los datos obtenidos elaborar la programación de los puntos que se deben visitar en cada día de trabajo.

⁴⁰ Badger Meter: Instrumento de medición de flujo de agua el cual se vincula al sistema de seguimiento satelital VDO

⁴¹ SISCAF: Empresa administradora de la plataforma de seguimiento satelital.

⁴² Intelpro: Empresa Solution partner SIEMENS, traja en venta e instalación de software e instrumentos de medición.

5.3.3 Activación de PTO de los camiones de agua potable para integrarlo a los reportes de FMWEB.

Consiste en integrar la activación del PTO⁴³ de los camiones como un evento en el sistema de seguimiento satelital VDO que permite conocer el tiempo que el PTO está activo durante el suministro de agua potable (Es la misma idea de los cronómetros solo que la toma de tiempo la hace el VDO cada vez que se activa y desactiva el PTO) con esto se logra eliminar el error humano en la toma de tiempo y se logran obtener los datos como un reporte en Excel de la plataforma FMWEB.

a) Objetivo:

Obtener datos de suministro de agua potable empleado el tiempo de activación del PTO registrado por el VDO en la plataforma FMWEB, de tal manera que se obtengan reportes con información de fecha, vehículo, matrícula, localización, conductor, tiempo durante el suministro, revoluciones del motor del camión durante el suministro, entre otros. Calculando la cantidad de agua suministrada como el producto entre el caudal de los camiones y el tiempo de activación del PTO.

b) Necesidades:

- Comprar los materiales para conexión de PTO al VDO.
- Instalar entrada de activación de PTO en el VDO de cada uno de los camiones.
- Programar el evento PTO activo en la plataforma FMWEB.

c) Resultados esperados:

Obtener reporte del evento PTO activo descargado de la plataforma FMWEB con la información de tiempo durante el suministro de agua potable, lugar, fecha, hora, equipo, conductor, revoluciones del motor a las cuales se realizó el suministro, entre otras.

Con el tiempo de suministro y el caudal de suministro de los camiones obtener en archivo Excel la información de la cantidad de agua entregada y el área en la que se realizó el suministro.

Con los datos consolidados en el archivo Excel realizar la programación de puntos a visitar.

⁴³ PTO: Sistema de potencia el cual se activa para realizar el suministro de agua potable

5.3.4 Resultados de los instrumentos de medición evaluados.

a) Compra de cronómetros para obtención de tiempos de suministro

Se entrenó a cada operario en el uso de los cronómetros y en la toma de tiempos del suministro de agua potable

Se actualizaron las planillas de registro para la captura de datos y con el caudal de los camiones obtener los datos de suministro de agua potable.

b) Consulta y posible compra e instalación de medidores SIEMENS para integrarlos a los reportes FMWEB

Ingeniero Hugo Bernal de la empresa INTELPRO (Solution Parthner SIEMENS) visita la mina para evaluar los camiones de agua potable, requerimientos de cableado, espacio para instalación y conocer la plataforma FMWEB para determinar el tipo de medidor que se puede emplear para vincularlo al VDO; como resultado de lo anterior se obtiene la cotización para la compra e instalación de cuatro medidores de agua marca MEASURE RITE TRUCK por un valor de USD\$9347.

c) Activación de PTO de los camiones de agua potable para integrarlo a los reportes de FMWEB

Se evalúa el sistema de activación de PTO y los requerimientos para generar un evento que permita obtener la información por medio de los reportes FMWEB, se decide hacer un piloto con uno de los camiones como resultado de esto los resultados son satisfactorios y se decide adaptar la activación del PTO al reporte FMWEB para los cuatro camiones, la de instalación del PTO al VDO en los cuatro camiones por un valor de USD\$200.

Por lo anterior la alternativa elegida para el presente proyecto es la activación del PTO de los camiones de agua potable integrado como evento a los reportes de FMWEB.

Se procede de igual manera a realizar las mediciones del caudal en los cuatro camiones (litros/segundo) para luego hacer el producto entre el caudal del camión que realizó el suministro y el tiempo durante el cual se suministró agua potable (segundos), para obtener de esta manera la cantidad de agua entregada (litros).

5.4 OBTENCIÓN DE DATOS DE TIEMPOS DE SUMINISTRO EN LOS PUNTOS

Los datos de los tiempos de suministro se obtienen descargando la información en la plataforma FMWEB, el paso a paso para obtener el reporte se describe en el Anexo. M Paso a paso obtención reporte de tiempos de suministro.

El resultado de lo anterior permite obtener una base de datos con información en la que se destaca fecha, vehículo, conductor, hora inicio, hora fin, RPM a las cuales se realizó el suministro, tiempo total del suministro y localización.

La información obtenida se copia en el archivo llamado Anexo N. Herramienta de programación y control diario de los puntos a visitar, en la hoja Base de datos PTO se almacena la información la cual se complementa con los datos de suministro en litros por segundo, Cantidad de agua entregada, área/zona.

En la segunda pestaña del archivo mencionado, se encuentra una tabla de mediciones del caudal de cada uno de los camiones de agua potable a diferentes revoluciones para un volumen de 1000 litros, esta información se cruza con la información de la pestaña base de datos del PTO en la cual se encuentra el tiempo que duró el suministro, con estos datos se obtiene la cantidad de agua entregada en cada punto.

5.5 PROGRAMACIÓN DE PUNTOS A VISITAR

La tercera pestaña del archivo Anexo N. Herramienta de programación y control diario de los puntos a visitar, en la hoja puntos y zonas, contiene la programación de los puntos a visitar elaborada de la siguiente manera.

Se enlistan todos los puntos autorizados para el suministro de agua potable los cuales han sido geo-referenciados como se explicó anteriormente al inicio del capítulo 5, en frente de cada uno se coloca en su orden: el área al cual pertenece cada punto (Mina Norte, Mina sur, área industrial, externa), la capacidad instalada, la fecha del último suministro.

A partir de los datos mencionados anteriormente inicia la elaboración de la programación

- Consumo promedio diario.

El presente proyecto contempla una programación determinística debido a que la cantidad de trabajadores que acuden a un punto al interior de la mina no siempre es la misma, depende de la necesidad de la operación (Frente minero) motivo por el cual el consumo entre un periodo de tiempo y otro puede cambiar, el consumo diario promedio se calcula como el promedio móvil de los n últimos suministros esto permite obtener un consumo acorde al comportamiento reciente del punto, para el presente proyecto se ha tomado $n=3$.

Sea $i= 1,2,3,4$.

Sea $i=1$ el suministro más reciente e $i=4$ el suministro más antiguo.

Sea Q_i = Cantidad de agua suministrada en el tiempo i

Sea F_i = La fecha en la cual se realizó el suministro i

$$\text{Consumo promedio diario} = \frac{Q1+Q2+Q3}{F1-F4} \text{ [litros/día]}$$

El consumo promedio diario obtenido se asume constante para el siguiente periodo, es decir será el consumo con el cual se hacen los cálculos para determinar la fecha de la próxima visita al punto.

- Días para consumo total

Es la cantidad de días en la que se espera se consuma totalmente la cantidad de agua presente en el tanque.

$$\text{Días para consumo total} = \frac{\text{Capacidad instalada del punto}}{\text{Consumo promedio diario}} \text{ [Días]}$$

- Variación

La variación se calcula para la cantidad de suministros a ser evaluados, este valor se obtiene al correr la macro pulsando el botón azul ubicado en la celda G3 de la hoja puntos y zonas del archivo 5. pto agua potable mix telematics mediciones cantidades de agua.

- Inventario de seguridad

Teniendo en cuenta que la mina opera las 24 horas y que el turno de trabajo para suministro de agua potable es de 12 horas, el inventario de seguridad corresponde al consumo esperado del punto durante 12 horas más la cantidad de agua obtenida en la variación de los suministros evaluados de cada punto.

El inventario de seguridad en litros se calcula en días, con el propósito de establecer la frecuencia en la que debe ser visitado el punto en el cual se espera el punto este por iniciar a consumir los litros del inventario de seguridad.

- Frecuencia de atención

La frecuencia con la que debe ser visitado cada uno de los puntos es igual a la diferencia entre los días para el consumo total y el inventario de seguridad calculado en días.

$$\text{Frec. de atención} = \text{Días para consumo total} - \text{Inv. de seguridad en días}$$

De esta manera queda calculado el punto de re-orden el cual depende del consumo móvil promedio calculado para los tres últimos suministros de agua potable.

- Próxima visita

La fecha en la que debe ser suministrada nuevamente agua potable al punto es el resultado de sumarle a la fecha de la última visita la frecuencia de atención, previamente calculada.

- Programación del día

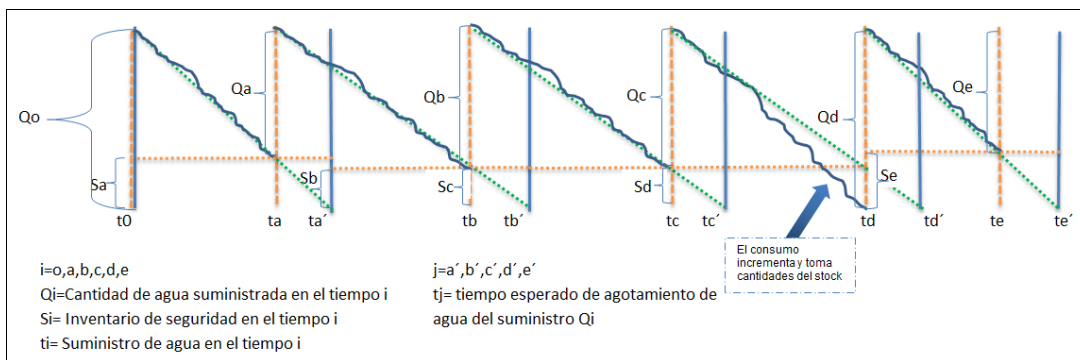
La fecha en la que debe ser visitado cada punto se compara con la fecha del día actual (Hoy), los puntos cuya fecha de visita es mayor a la fecha "Hoy", arrojan la cantidad de días que restan para la visita en letras verdes como indicativo que es un punto que no debe ser visitado ese día (Hoy).

Cuando las dos fechas coinciden, la celda que corresponde al punto se pone de color amarillo con un texto que dice visitar, esto quiere decir que es un punto programado para ser visitado ese día (Hoy).

Cuando la fecha "hoy" es mayor a la fecha en la cual está programada la próxima visita al punto, la celda se pone de color rojo con un texto que dice cuidado, como indicativo que es un punto que no se visitó en la fecha programada por lo tanto ya está consumiendo agua del inventario de seguridad y puede eventualmente quedarse desabastecido por lo tanto queda programado para ser visitado.

La ilustración 32 describe conceptos tomados en cuenta para la elaboración de la programación de los puntos a visitar.

Ilustración 32. Ejemplo consumo de agua en un periodo de tiempo



Fuente: Autor

La línea verde punteada corresponde al consumo promedio diario calculado con los tres últimos suministros, se asume como el consumo esperado para el periodo siguiente.

Las líneas verticales de color azul indican la fecha en la que se espera se agote por completo el agua con la tasa de consumo diaria previamente calculada.

El inventario de seguridad calculado como el consumo promedio diario para 12 horas más la variación de los tres últimos suministros es la línea horizontal puntuada de color naranja.

La línea vertical punteada de color naranja indica la fecha programada para la próxima visita antes que se inicie el consumo de agua del inventario de seguridad, un aumento en el consumo o una visita a destiempo puede hacer que se consuma agua del inventario de seguridad.

La línea diagonal azul indica lo que se estima es el consumo real del punto en el tiempo.

La programación de los puntos a visitar en la hoja de cálculo realiza las actividades que se describen en la ilustración 34. En el anexo N. La herramienta de programación y control diario de los puntos a visitar.

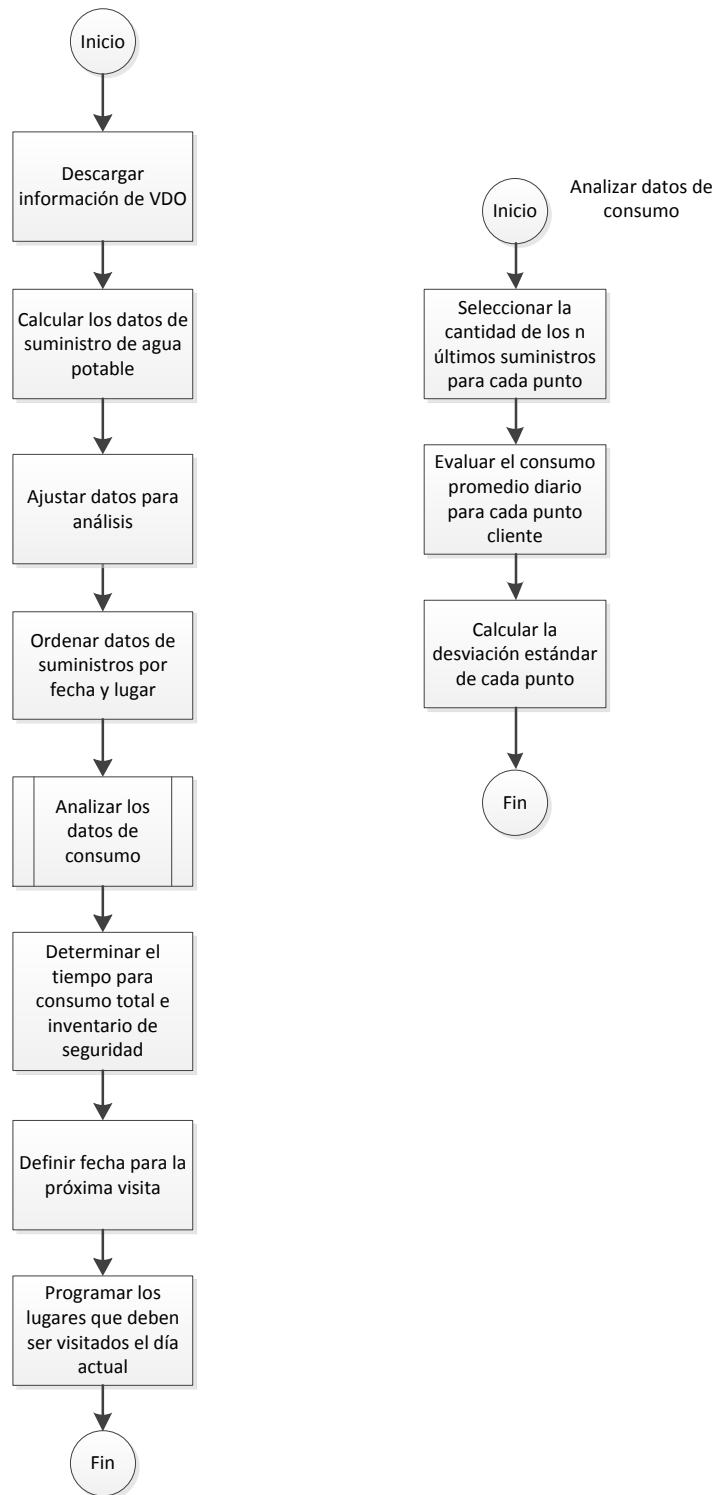
Teniendo en cuenta los conceptos mencionados, la herramienta del Anexo N para el día 11 de Abril da como resultado la lista de puntos a visitar descrita en el ANEXO O. Para el ejemplo de la programación para el día 11 de Abril, se programan 35 clientes a visitar. 15 en Mina Sur, 8 en Mina Norte, 4 en Área Externa y 8 en Área Industrial. En la ilustración 33 se muestran la herramienta de cálculo de puntos a visitar.

Ilustración 33. Programación de puntos a visitar Abril 11 de 2014

Elaboración de programación de puntos a visitar															Mes: Mar2014		Consumo/Inventario		Cuentas	
Activo o Inactivo	# PUNTOS DE VISITA (CLIENTES)	AREA	Capacidad instalada lit/s	Última visita	Consumo promedio día	Días para consumo o/s	Días de seguridad	próxima visita	Programación n del día	Frecuencia hidro-estacional	Is (Inventario de seguridad)	Variación	Cantidad a entregar	vald agua	Puntos a visitar	cantidad entregada	Temp. consumo lugar			
5	Activos	1	4	Viu Du Museo	EX	5000	09/abr/2014	2594.94	1.83	0.7912431	09/abr/2014	Cuidado	1.14	2085.2282	755.7673	2346.77431	1	1	2946.7743	0.0038
6	Activos	4	4	Aeropuerto La Mina	EX	5000	09/abr/2014	1026.75	4.88	3.2827404	09/abr/2014	Cuidado	1.63	2339.636	2805.153	1630.49376	1	4	1630.4938	0.0067
13	Activos	13	13	Café Pabellón	MS	2000	09/abr/2014	608.45	2.47	1.003449	09/abr/2014	Cuidado	1.39	375.9517	47.7228	1124.04927	1	13	1124.0493	0.0039
18	Activos	14	14	Cumbadero Orquinal	MS	2000	09/abr/2014	7632.30	2.82	0.6398779	09/abr/2014	Cuidado	1.98	4881.688	1057.574	9516.33444	1	14	9516.3344	0.0053
19	Activos	15	15	Cumbadero Pabellón	MS	2000	09/abr/2014	9559.47	3.87	2.1776698	09/abr/2014	Cuidado	1.38	1295.78	9394.056	7806.209798	1	15	7806.2098	0.0052
20	Activos	16	16	Cumbadero Pabellón	MS	2000	09/abr/2014	7625.77	2.63	0.2448237	09/abr/2014	Cuidado	1.99	4695.259	1025.943	19344.8709	1	16	19344.871	0.0141
22	Activos	22	22	ENLARE DE PALAS NORTE	MS	1000	09/abr/2014	34.60	28.90	8.7295401	09/abr/2014	Cuidado	20.17	302.095	284.7542	637.94504	1	22	637.94504	0.0033
23	Activos	23	23	Elego Legona, Puesto Agua Pabellón	AI	5000	09/abr/2014	1786.61	2.91	1.0090262	09/abr/2014	Cuidado	1.80	1702.672	1044.567	3097.12394	1	23	3097.1239	0.0063
24	Activos	25	25	Caleta Pabellón Via Privada	AI	2000	09/abr/2014	395.72	9.39	3.9598967	09/abr/2014	Cuidado	1.31	1468.499	159.557	9104.9239	1	25	9104.9239	0.0065
30	Activos	26	26	Huamantla de Palas Norte	MS	4000	09/abr/2014	3271.68	3.35	0.8959476	09/abr/2014	Cuidado	2.36	1251.813	617.9753	2746.87768	1	26	2746.8777	0.0037
31	Activos	27	27	Una punta 1	MS	1000	09/abr/2014	437.12	2.23	0.0744462	09/abr/2014	Cuidado	1.41	352.2003	82.6997	617.239752	1	27	617.2397	0.0028
32	Activos	28	28	Una punta 2	MS	2000	27/mar/2014	365.25	31.00	6.0098347	09/abr/2014	Cuidado	16.39	672.396	824.9093	1427.069365	1	30	1427.0694	0.0037
34	Activos	30	30	Una punta 4	MS	2000	23/abr/2014	491.14	4.07	1.6344746	25/abr/2014	Cuidado	2.43	809.293	559.8407	1994.789717	1	30	1994.7897	0.01
38	Activos	34	34	Una punta 8	MS	2000	09/abr/2014	350.77	5.70	2.2690965	09/abr/2014	Cuidado	2.76	1020.17	954.7665	3933.02930	1	34	3933.0293	0.0047
41	Activos	37	37	Low Farming	AI	1000	09/abr/2014	79.43	12.59	5.0623027	09/abr/2014	Cuidado	7.51	403.2222	284.0078	636.277782	1	37	636.27778	0.0004
43	Activos	39	39	Una punta 12	MS	2000	09/abr/2014	959.92	2.08	0.7045728	09/abr/2014	Cuidado	1.38	876.2304	186.3726	1023.68958	1	39	1023.6896	0.0025
45	Activos	41	41	Una punta 15	MS	2000	09/abr/2014	586.72	3.40	1.4509792	09/abr/2014	Cuidado	1.95	854.2332	959.9817	1465.73038	1	41	1465.7304	0.006
61	Activos	47	47	Una punta 3	MS	2000	09/abr/2014	722.20	2.77	0.7123003	09/abr/2014	Cuidado	2.06	834.4238	153.3228	1485.87888	1	47	1485.8789	0.0045
65	Activos	49	49	Una punta conector	MS	2000	09/abr/2014	267.85	7.46	4.2847622	09/abr/2014	Cuidado	3.01	100.778	106.802	848.22288	1	49	848.22289	0.005
66	Activos	51	51	Una punta 10	MS	2000	09/abr/2014	844.94	3.44	0.8520208	09/abr/2014	Cuidado	2.85	391.6491	193.1929	1606.49548	1	51	1606.4955	0.0054
69	Activos	52	52	Una punta conector	MS	4000	09/abr/2014	1347.04	3.21	0.8780877	09/abr/2014	Cuidado	2.23	1219.681	958.1703	2780.309326	1	52	2780.3093	0.0027
73	Activos	53	53	Una punta 12	MS	4000	29/mar/2014	352.69	19.08	1.7784259	09/abr/2014	Cuidado	4.40	638.1943	457.2691	2363.06575	1	53	2363.0658	0.0043
83	Activos	63	63	Una punta Voladura 2	MS	8000	09/abr/2014	4236.31	1.89	0.7843321	09/abr/2014	Cuidado	1.10	3326.689	1207.233	4674.30979	1	63	4674.3098	0.0037
84	Activos	60	60	Muyagato 2	MS	4000	13/mar/2014	250.21	8.59	5.7739317	23/mar/2014	Cuidado	10.21	1444.641	139.536	2695.593017	1	60	2695.593	0.0017
88	Activos	14	14	Paño de Geología	AI	2000	09/abr/2014	626.30	3.19	1.2182731	09/abr/2014	Cuidado	1.91	605.951	491.245	1994.74952	1	14	1994.7495	0.0032
71	Activos	67	67	Proa Via Privada	EX	5000	09/abr/2014	184.97	4.63	1.4523644	09/abr/2014	Cuidado	3.24	1647.369	104.876	3452.84244	1	67	3452.8424	0.0034
76	Activos	70	70	Compostera	AI	2000	04/abr/2014	200.95	3.95	3.6794908	09/abr/2014	Cuidado	6.27	739.103	630.7076	1201.07763	1	70	1201.0777	0.0027
78	Activos	72	72	Talca de Pabellón	MS	5000	09/abr/2014	1979.07	2.93	1.9795463	09/abr/2014	Cuidado	1.92	2220.393	133.446	2979.07272	1	72	2979.0728	0.006
78	Activos	74	74	Talca Orquinal	MS	10000	09/abr/2014	934.36	6.12	3.2646481	09/abr/2014	Cuidado	2.72	6531.072	4719.369	4468.929397	1	74	4468.9294	0.0023
78	Activos	75	75	Roble de Ensamblado	AI	2000	09/abr/2014	181.10	3.59	3.0232929	09/abr/2014	Cuidado	7.81	645.6412	103.0972	1756.259562	1	75	1756.2596	0.0046
81	Activos	77	77	Roble conector	AI	1000	04/abr/2014	650.09	14.47	3.1193547	09/abr/2014	Cuidado	5.38	829.7079	595.851	370.2524203	1	77	370.25242	0.0023
83	Activos	79	79	Biscón de Bazarano	AI	2000	09/abr/2014	147.85	13.95	5.8995267	10/abr/2014	Cuidado	7.98	626.2617	782.4395	1073.748291	1	79	1073.7483	0.0003
86	Activos	86	86	Una punta conector 2	MS	4000	26/abr/2014	7418.1203	5.40	1.9174624	09/abr/2014	Cuidado	3.43	1483.7963	1945.522	2620.24238	1	86	2620.2424	0.0062
87	Activos	87	87	Una punta conector 2	MS	4000	09/abr/2014	305.05329	13.11	4.8128811	09/abr/2014	Cuidado	8.29	1471.127	1316.688	2826.763128	1	87	2826.7631	0.0021
94	Activos	30	30	Muyagato oficina mejor	MS	1000	12/feb/2014	1000	1.00	0	12/feb/2014	Cuidado	0.50	500	0	500	1	30	500	0.01
95	Activos	31	31	Escaja planta de agua	PPM			0	0	0		Cuidado	0.00	0	0	0	1	31	0	0.0029

Fuente: Autor

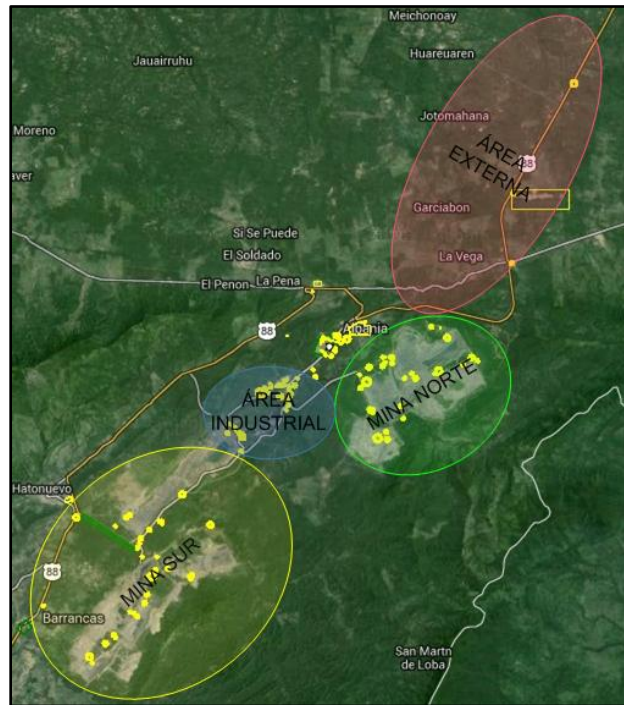
Ilustración 34. Diagrama de actividades para elaboración de la programación diaria de puntos a visitar



Allí se encuentran marcados todos los puntos y las vías son las líneas azules que corresponden al lugar por el cual transitó el camión.

La ilustración siguiente permite identificar como están distribuidos los puntos de suministro de agua potable, de acuerdo a las cuatro zonas identificadas (Mina Norte, Mina Sur, Área industrial, área externa).

Ilustración 36. Áreas en que está dividida geográficamente la mina



Fuente: Autor

Para elaborar la matriz origen destinos primero se miden las distancias entre los puntos de cada una de las zonas, dentro de la etapa anterior se identifican puntos de referencia para entrelazar las distancias entre los puntos de zonas diferentes, estos lugares son: línea cero, antigua NAM uno y K0. Las convenciones de distancias entre puntos de la matriz origen-destino se describen en la tabla 14.

Una vez medidas todas las distancias entre los puntos donde se suministra agua potable empleando camiones cisterna, se elabora la matriz de tiempos origen-destinos de la ilustración 37, los camiones realizan sus desplazamientos a una velocidad diaria promedio de 30km/h este dato es obtenido del sistema de seguimiento satelital VDO.

Ilustración 37. Matriz origen - destinos

Fuente: Autor

Tabla 14. Convenciones distancias entre puntos de suministro

Color	Distancias entre puntos de suministro
	Mina Norte
	Mina Sur
	Área Industrial
	Área Externa
	Mina norte y Mina Sur
	Mina sur y Área Industrial
	Mina Norte y Área Industrial
	Área Externa con Área Industrial y Early Start
	Área Externa con Mina Norte

6.2 ELABORACIÓN DE RUTEO

Debido a que los puntos a visitar se calculan a diario, el ruteo de los camiones de agua potable también debe ser calculado a diario.

La elaboración del ruteo comprende la siguiente metodología:

- Definición de requerimientos
- Construcción del modelo de ruteo
- Experimentación
- Modelo de ruteo

Las actividades para la elaboración del ruteo son:

- a) A partir de la matriz general de distancias origen-destino la cual contempla todos los puntos donde se suministra agua potable, se elabora una nueva matriz la cual considera únicamente los puntos programados para ser visitados.
- b) Ordenar los puntos a ser visitados del más cercano al más lejano tomando como referencia el tiempo de cada punto con relación a la bahía de planta de agua.
- c) Construir el ruteo empleando la heurística del vecino más cercano considerando las restricciones de capacidad y tiempo, el cual se describe en el capítulo 6.2.1
- d) Obtener el orden en que deben ser visitados los puntos.
- e) Aplicar la metaheurística Búsqueda Tabú a las rutas previamente obtenidas para obtener una reducción en el tiempo total de cada ruta, el cual se describe en el capítulo 6.2.2
- f) Obtener las rutas a seguir para visitar todos los puntos programados cada día con el menor tiempo total de recorrido obtenido luego de la aplicación del vecino más cercano y la búsqueda Tabú.

6.2.1 Construcción del modelo de ruteo.

Para la construcción del modelo se toman las siguientes consideraciones:

- Todo recorrido inicia y termina en la bahía de planta de agua.
- La capacidad de los camiones es de 18000 litros
- El tiempo de la ruta no debe exceder 5 horas debido a que es el tiempo de horario de trabajo tanto en la mañana como en la tarde.

Como se mencionó anteriormente el modelo de ruteo contempla para su construcción la heurística del vecino más cercano.

El ruteo inicia asignando:

- Capacidad del camión=18000 litros.
- Tiempo de ruta= Tiempo en la bahía de agua potable.
- Sea $i=1, 2, 3, \dots, n$. Número de puntos a visitar.
- Puntos a visitar = n .

Luego se evalúa la demanda del punto más cercano a la bahía de planta de agua, si la capacidad del camión suple la demanda del punto $i=1$, se asigna el punto 1 para ser visitado, por lo tanto los nuevos valores de capacidad y tiempo son:

- Capacidad del camión = 18000 litros – demanda del punto 1
- Tiempo total de la ruta = El tiempo para abastecer el camión en la bahía de planta de agua + el tiempo desde la bahía de planta de agua hasta el punto 1 + el tiempo de permanencia en el punto 1.
- Puntos a visitar = $n-1$

A partir del punto 1, se identifica el siguiente punto a visitar más cercano a este y se evalúa: ¿El tiempo total de viaje es mayor o igual a 5 horas?, ¿la capacidad del camión es mayor o igual a la demanda del siguiente punto a visitar?, en caso de no violar ninguna de las restricciones entonces se asigna el punto a la ruta y se recalcula la capacidad del camión y el tiempo total de la ruta.

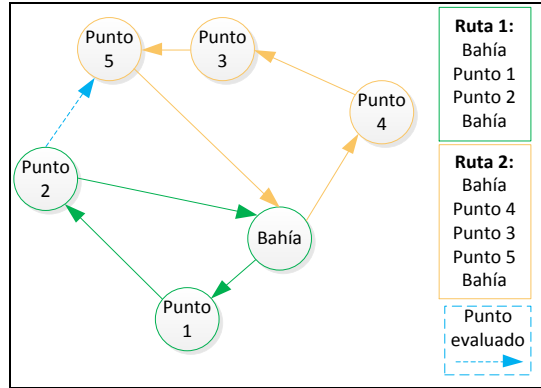
En caso contrario, se asigna la bahía planta de agua como el lugar a ser visitado, si es asignado por violar la restricción de tiempo entonces se reinicia el cálculo de tiempo total de la ruta, se reabastece el camión en su totalidad y se inicia a evaluar a partir de la bahía de planta de agua el siguiente punto por visitar más cercano a este, en caso que se haya violado la restricción de capacidad del camión, se reabastece el camión en su totalidad y el contador de tiempo total de viaje continúa acumulándose.

Con los criterios descritos anteriormente se van creando las rutas, cada vez que el camión regresa a la bahía de planta de agua se considera el final de una ruta.

El criterio de parada se da una vez todos los puntos programados para ser visitados han sido asignados a una ruta, el último punto al que deben llegar los camiones es a la bahía de planta de agua.

En la ilustración 38 se describe la situación en la cual se construyen las rutas y se observa también que el punto 5 fue evaluado durante la construcción de la ruta 1 luego de visitar el punto 2, pero no fue asignado pues violaba una de las restricciones.

Ilustración 38. Construcción de rutas evaluando un solo vecino más cercano



Fuente: Autor

Como resultado de la construcción del modelo para el ejemplo del día 11 de Abril, el orden en que se recomienda visitar los clientes, las rutas y el tiempo total de recorrido se muestran en el Anexo P.

Ilustración 39. Selección de condiciones para elaboración de la ruta inicial

Elaboración de programación de puntos a visitar										Elaboración de ruteo de los puntos a visitar													
Hoy: 11/abril/2014										Puntos a: 35													
última visita	Consumo promedio día	Días para consumo o to	Días de seguridad	próxima visita	Programación n.del día	Frecuencia de visita	Inventario de seguridad inicio	variación	Cantidad a entregar	valid asis	Puntos a visitar	cantidad a entregar	Tempo en lugar	Organizar datos	0	Alinear Matriz	0	# Puntos locales Mat:35	1	Mantenimiento Mat:35	1	Horas Turno	4,5
09/abril/2014	2594,94	1,93	0,7932421	09/abril/2014	Ciudad	1,14	2093,228	785,7573	2946,77431	1	1	2346,7743	0,0028										
09/abril/2014	1020,75	4,33	2,237484	09/abril/2014	Ciudad	1,63	2339,508	2005,123	820,433763	1	4	1820,4338	0,0087										
10/abril/2014	808,45	2,47	1,0834933	10/abril/2014	visitar	1,33	875,3913	471,728	1024,048737	1	12	1516,3344	0,0053										
10/abril/2014	7632,18	2,62	0,6388778	10/abril/2014	visitar	1,89	4883,666	1067,574	5116,33444	1	14	5116,3344	0,0053										
10/abril/2014	5939,47	3,57	1,1776936	10/abril/2014	visitar	1,33	1293,739	9394,056	7806,209739	1	16	7806,2098	0,0053										
10/abril/2014	7952,77	2,61	0,8194457	10/abril/2014	visitar	1,89	4695,329	1028,943	5114,47019	1	16	4644,471	0,0041										
19/mar/2014	34,80	28,90	6,7295401	08/abril/2014	Ciudad	20,17	302,055	284,7542	697,8450398	1	22	697,84504	0,0033										
10/abril/2014	1776,61	2,31	1,005082	10/abril/2014	visitar	1,80	1802,872	1044,567	3097,427014	1	23	3097,4271	0,0063										
09/abril/2014	385,72	5,18	0,8589697	09/abril/2014	Ciudad	1,23	1408,458	1295,997	5114,4212	1	28	5114,423	0,0062										
09/abril/2014	1271,68	3,16	0,8959476	10/abril/2014	visitar	2,16	1253,813	617,9713	2746,187868	1	26	2746,1872	0,0037										
10/abril/2014	437,12	2,28	0,8744952	10/abril/2014	visitar	1,41	382,2603	163,6997	617,7397122	1	27	617,73971	0,0038										
27/mar/2014	95,25	2,00	1,0063347	10/abril/2014	Ciudad	18,39	172,1308	524,5081	1427,883385	1	28	1427,8834	0,0037										
23/feb/2014	491,14	4,07	1,8334745	25/feb/2014	Ciudad	2,43	805,203	858,6407	184,783717	1	20	184,7837	0,00										
09/abril/2014	380,77	5,70	2,3389065	10/abril/2014	Ciudad	2,76	1030,17	854,7866	968,8238208	1	34	968,82382	0,0047										
01/abril/2014	79,43	12,58	5,028127	08/abril/2014	Ciudad	7,51	403,7222	384,0078	596,2777683	1	37	596,27776	0,0004										
09/abril/2014	959,92	2,08	0,7045728	10/abril/2014	Ciudad	1,38	676,2304	186,3726	152,3689591	1	39	152,36896	0,0035										
09/abril/2014	588,73	3,40	1,4508753	10/abril/2014	Ciudad	1,89	854,236	598,8917	1485,770918	1	41	1485,7709	0,008										
09/abril/2014	722,20	2,77	0,7123003	10/abril/2014	visitar	2,06	514,4218	163,3228	1485,578189	1	47	1485,5782	0,0046										
01/abril/2014	287,95	7,46	4,2847622	04/abril/2014	Ciudad	3,17	190,776	109,202	843,223988	1	48	843,22399	0,0085										
09/abril/2014	564,04	3,54	0,8323036	10/abril/2014	visitar	2,95	201,6465	193,329	3028,455440	1	51	3028,455	0,0054										
09/abril/2014	1247,04	3,21	0,9780677	10/abril/2014	visitar	2,23	1219,891	596,1703	2780,308326	1	52	2780,3083	0,0037										
29/mar/2014	357,63	11,8	1,7784398	07/abril/2014	Ciudad	3,40	638,1343	467,2881	3363,865725	1	53	3363,8657	0,0041										
09/abril/2014	4236,91	1,89	0,7945321	10/abril/2014	Ciudad	1,33	3225,889	1007,233	4674,30876	1	58	4674,3089	0,0037										
13/mar/2014	290,21	8,93	1,7739197	23/mar/2014	Ciudad	10,21	1444,841	1318,936	2955,393907	1	60	2955,3939	0,0047										
10/abril/2014	626,88	3,18	1,2842721	10/abril/2014	visitar	1,91	805,2165	491,7245	1194,784512	1	64	1194,7845	0,0032										
01/abril/2014	1064,97	4,68	1,4529844	10/abril/2014	visitar	3,24	1547,355	1014,875	3452,64244	1	67	3452,6424	0,0094										
04/abril/2014	200,95	3,95	1,8784908	10/abril/2014	Ciudad	6,27	739,823	638,7076	1388,81938	1	70	1388,8197	0,0037										
10/abril/2014	1973,87	2,53	1,1758483	10/abril/2014	visitar	1,58	2320,383	1333,446	2679,617272	1	72	2679,6173	0,0096										
09/abril/2014	1634,16	6,12	3,3846481	10/abril/2014	visitar	2,73	8531072	4713,988	4468,828397	1	74	4468,8284	0,0122										
01/abril/2014	189,10	10,58	3,442765	08/abril/2014	Ciudad	7,18	645,6484	5510972	1054,35952	1	76	1054,3596	0,0046										
04/abril/2014	89,01	14,47	3,1131447	09/abril/2014	Ciudad	5,36	629,1076	696,801	370,2824933	1	77	370,28249	0,0039										
05/feb/2014	147,85	13,55	5,9982627	12/feb/2014	Ciudad	7,85	826,2917	762,4295	1173,7462381	1	79	1173,7463	0,0003										
26/feb/2014	740,47203	5,40	1,8173684	01/mar/2014	Ciudad	3,48	1419,758	1049,522	2580,242309	1	86	2580,2423	0,0062										
01/abril/2014	305,06329	13,01	4,8226811	09/abril/2014	Ciudad	6,29	1471,217	1318,695	2528,783230	1	87	2528,7831	0,0033										
12/feb/2014	1000	1,00	0,5	12/feb/2014	Ciudad	0,50	500	0	500	1	94	500	0,01										
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0,02005											

Fuente: Autor

La ruta construida en el Anexo P da como resultado un tiempo total de recorrido de 13,598 horas, con 6 rutas.

Con el propósito de encontrar posibles rutas que permitan visitar todos los clientes con un menor tiempo total que el hasta ahora obtenido, se procede a evaluar

algunas variaciones en la fase de experimentación las cuales se describen en el capítulo 6.2.2.

Ilustración 40. Descripción gráfica ruta 1



Fuente: Autor

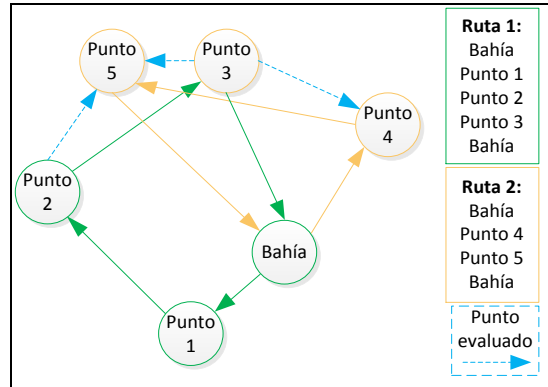
6.2.2 Experimentación.

En la construcción del modelo de ruteo por ahora solo se ha considerado evaluar un solo vecino más cercano, si este no cumple con la restricción de capacidad el camión debe regresar a la bahía de planta de agua, la primera variación evaluada es que en caso de que el punto más cercano viole la restricción de capacidad, se evalúe al siguiente o los siguientes vecinos más cercanos con el objetivo de realizar más suministros antes de regresar a reabastecer el camión en la bahía de planta de agua.

La ilustración 39, describe el caso en que luego de visitar el punto 2 se evalúa el punto 5 y como este viola la restricción de capacidad entonces se evalúa el siguiente punto más cercano que es el número 3, el cual no viola la restricción de capacidad motivo por el cual es asignado a la ruta 1, luego de asignarse el punto 3 desde allí se evalúa el siguiente punto más cercano que es el número 5, pero este viola la restricción de capacidad motivo por el cual se evalúa el punto 4 que es el siguiente punto más cercano, dado que viola la restricción de capacidad y que no hay más puntos por evaluar se asigna la bahía de planta de agua como el

siguiente punto a visitar con lo cual finaliza la ruta 1 e inicia la construcción de la ruta 2.

Ilustración 41. Ruteo evaluando más de un vecino más cercano



Fuente: Autor

De acuerdo a lo anterior, se modifica el modelo de tal manera que evalúe más de un vecino más cercano, siguiendo con el ejemplo de la programación del 11 de Abril se construye el ruteo considerando evaluar dos o más vecinos a los que se les pueda satisfacer la demanda de los clientes antes de regresar a reabastecer el camión del cual se obtiene el ruteo del Anexo Q.

Ilustración 42. Selección de condiciones ruta - variación 1

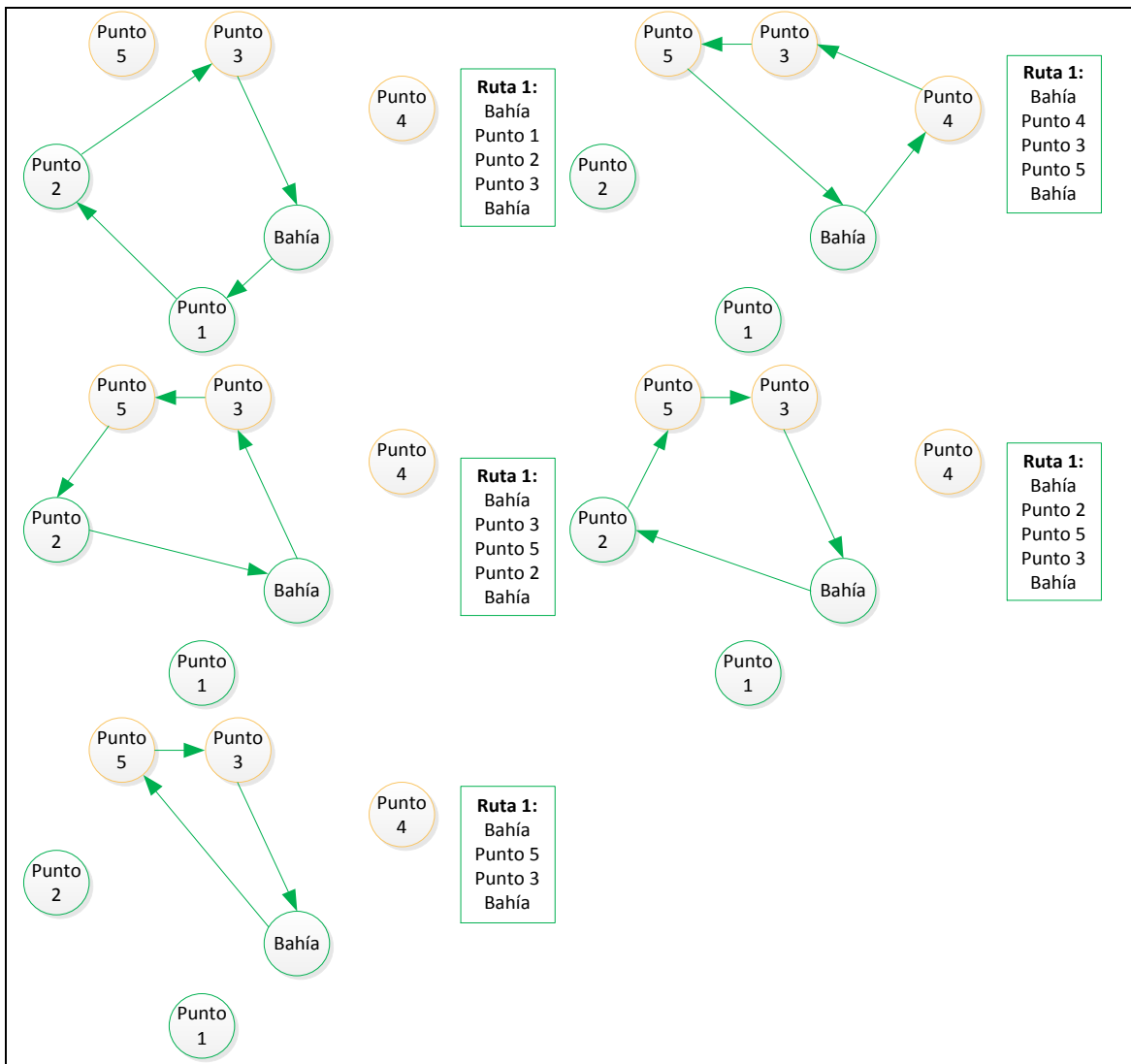
Elaboración de programación de puntos a visitar															Elaboración de ruteo de los puntos a visitar										
Última visita	Consumo promedio día	Días para consumo o tiempo	Días de seguridad	próxima visita	Programación del día	Frecuencia de atención	Inventario de seguridad	Variación	Cantidad a entregar	validación	Puntos a visitar	cantidad a entregar	Tempo en lugar	Organizar datos	0	Alinear Matriz	0	# Puntos actuales	35	1	Máximos Mat: 35	35	Horas Turno	4,5	
08/abr/2014	2894.94	1.93	0.7392421	09/abr/2014	Ciudad	114	2053.226	755.7573	2945.77431	1	1	2945.7743	0.0087												
09/abr/2014	1029.70	4.85	3.2327484	09/abr/2014	Ciudad	163	5319.036	2205.153	1630.45376	1	4	1630.4538	0.0087												
10/abr/2014	808.45	2.47	1.0834893	11/abr/2014	visita	139	875.9513	471.728	1024.048737	1	12	1024.0487	0.0037												
10/abr/2014	7632.18	2.62	0.6386779	11/abr/2014	visita	138	4883.858	1067.574	1516.33444	1	14	1516.3344	0.0153												
10/abr/2014	5959.47	3.57	2.0776096	11/abr/2014	visita	138	1203.79	3054.056	7806.20979	1	15	7806.2098	0.0153												
10/abr/2014	7852.77	2.81	0.8244527	11/abr/2014	visita	138	4855.328	1023.243	1544.6709	1	16	1544.671	0.0141												
13/abr/2014	34.60	28.80	3.7286401	08/abr/2014	Ciudad	20.17	302.055	284.7542	697.8450398	1	22	697.84504	0.0033												
10/abr/2014	176.61	2.91	1.0958082	11/abr/2014	visita	180	1902.872	1044.667	3097.12794	1	23	3097.1279	0.0063												
09/abr/2014	265.72	5.19	3.8586667	09/abr/2014	Ciudad	133	1439.453	1265.597	511.541212	1	25	511.54121	0.0062												
09/abr/2014	1271.68	3.16	0.9859476	11/abr/2014	visita	2.16	1253.813	617.9713	2746.19769	1	26	2746.1977	0.0037												
10/abr/2014	457.12	2.28	0.8744952	11/abr/2014	visita	141	382.2603	163.6997	617.7397122	1	27	617.73971	0.0038												
27/mar/2014	95.25	21.00	6.0063347	10/abr/2014	Ciudad	14.98	572.036	524.5081	1427.863965	1	28	1427.8639	0.0037												
23/feb/2014	491.14	4.07	1.8294745	25/feb/2014	Ciudad	2.43	305.203	659.4407	194.729377	1	29	194.72937	0.01												
09/abr/2014	350.77	5.70	2.9363065	11/abr/2014	visita	2.76	1030.17	894.7865	969.8293208	1	34	969.82932	0.0047												
01/abr/2014	79.43	12.59	5.0828127	08/abr/2014	Ciudad	7.81	403.7222	384.0078	596.2777593	1	37	596.27776	0.0004												
09/abr/2014	959.92	2.08	0.7045728	10/abr/2014	Ciudad	180	676.3304	196.3728	1323.663599	1	39	1323.6636	0.0035												
09/abr/2014	598.73	3.40	1.4509713	10/abr/2014	Ciudad	185	894.225	658.8917	1165.77089	1	41	1165.7709	0.008												
09/abr/2014	722.20	2.77	0.7123003	11/abr/2014	visita	2.06	514.428	183.3228	4485.678189	1	47	4485.6782	0.0046												
01/abr/2014	267.95	7.46	4.2947622	04/abr/2014	Ciudad	3.17	1150.776	1016.802	849.223988	1	49	849.22399	0.0085												
09/abr/2014	564.04	3.54	0.9323205	11/abr/2014	visita	2.85	291.9495	103.0289	809.455449	1	51	809.45545	0.0054												
09/abr/2014	1247.04	3.21	0.9790677	11/abr/2014	visita	2.23	1219.691	598.1703	2780.308926	1	52	2780.3089	0.0037												
23/mar/2014	357.69	11.88	1.7784399	07/abr/2014	Ciudad	9.40	636.1343	457.2881	336.3865726	1	63	336.38657	0.0041												
09/abr/2014	4236.91	1.83	0.7943201	10/abr/2014	Ciudad	110	3229.899	1207.232	4674.336875	1	69	4674.3369	0.0137												
13/mar/2014	250.21	15.93	5.773917	23/mar/2014	Ciudad	10.21	1444.641	1193.526	2595.350007	1	69	2595.3501	0.0017												
10/abr/2014	626.98	3.19	1.2842721	11/abr/2014	visita	1.91	805.2955	491.7245	1194.794512	1	64	1194.7945	0.0032												
08/abr/2014	1084.97	4.89	1.4529644	11/abr/2014	visita	3.24	1547.358	1014.875	3452.64244	1	67	3452.6424	0.0094												
04/abr/2014	200.95	9.95	2.6784056	10/abr/2014	Ciudad	6.27	739.8623	638.2076	1260.07658	1	70	1260.0767	0.0037												
10/abr/2014	1972.97	2.93	1.1794903	11/abr/2014	visita	1.95	2320.261	1333.1446	2679.617232	1	72	2679.6172	0.0096												
09/abr/2014	1634.16	6.12	3.3846481	11/abr/2014	visita	2.73	5531.072	4713.989	4468.928397	1	74	4468.9284	0.0122												
01/abr/2014	189.10	10.58	3.4142785	08/abr/2014	Ciudad	7.16	645.6494	651.0972	1394.359552	1	76	1394.3596	0.0046												
04/abr/2014	69.09	14.47	5.1123947	09/abr/2014	Ciudad	5.95	623.7075	196.1618	270.2634933	1	77	270.26349	0.0029												
05/feb/2014	147.65	13.55	5.9593267	12/feb/2014	Ciudad	7.95	826.2597	792.4295	1173.748291	1	78	1173.7483	0.0063												
26/feb/2014	740.47203	5.40	1.9173684	01/mar/2014	Ciudad	3.48	418.758	1043.522	2580.24208	1	86	2580.2423	0.0002												
01/abr/2014	305.06239	13.11	4.8226611	09/abr/2014	Ciudad	8.29	1471.217	1316.695	2528.789328	1	87	2528.7893	0.0031												
12/feb/2014	1002	1.00	0.5	12/feb/2014	Ciudad	0.50	500	0	0	1	91	0	0.0019												
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	91	0	0.0019												

Fuente: Autor

Con la modificación anterior se obtiene para la programación del día 11 de abril un tiempo total de recorrido de 11, 648 horas y 8 rutas.

La segunda variación en el proceso de experimentación consiste en evaluar la construcción de la primera ruta a partir cada uno de los n puntos a visitar, tal como lo muestra la ilustración 43.

Ilustración 43. Modificación construcción de la ruta 1



Fuente: Autor

Por lo tanto, es posible que al construir la primera ruta iniciando por el vecino más cercano a la bahía de planta de agua, no se obtenga un tiempo total de recorrido menor al que se puede obtener al construir la primera ruta iniciando por cualquiera de los n puntos a visitar.

Por lo anterior, se modifica el modelo construyendo la primera ruta iniciando por cada uno de los puntos a visitar y tomando como criterio un solo vecino más cercano antes de regresar a reabastecer el camión evaluando un solo vecino más cercano antes de regresar a reabastecer el camión.

Ilustración 44. Selección de condiciones para obtener ruta variación 2

Elaboración de ruteo de los puntos a visitar									
Puntos = 35									
Consumo promedio día	Días para consumo	Días de seguridad	Programación del día	Frecuencia de inventario	Variancia	Cantidad a entregar	Validación	Puntos a visitar	Tempo en lugar
2594.94	1.93	0.7912431	09/abr/2014	Ciudad	1.14	2053.226	755,7573	2946,77431	0.0039
1028.75	4.98	3.2267484	09/abr/2014	Ciudad	1.63	3319.506	2805,132	1630,48375	0.0087
305.45	2.47	1.6234951	11/abr/2014	visita	1.29	875.9513	471,725	125,048727	0.0037
7632.18	2.62	0.5398779	11/abr/2014	visita	1.98	4883.668	1067,574	1516,32444	0.0053
6599.47	3.67	2.1776635	11/abr/2014	visita	1.39	12193.79	9394,056	7806,209739	0.0053
7852.77	2.61	0.6344537	11/abr/2014	visita	1.98	4895.329	1029,943	15144,6709	0.0041
34.93	29.90	5.7296401	11/abr/2014	Ciudad	20.17	303,055	204,1542	697,3493069	0.0023
1796.61	2.91	1.9058062	11/abr/2014	visita	1.80	1902.872	1044,567	3097,127914	0.0063
385.72	5.19	3.8588667	09/abr/2014	Ciudad	1.33	1488.459	1295,597	511,5412312	0.0025
1271.68	3.15	0.3899476	11/abr/2014	visita	2.16	1253.813	617,8715	2746,187658	0.0037
437.12	2.29	0.6744952	11/abr/2014	visita	1.41	262,2603	163,8997	617,7397123	0.0039
95.25	2.00	6.0063247	10/abr/2014	Ciudad	14.93	572,1305	524,5061	1427,863355	0.0037
491.14	4.07	1.6394745	25/feb/2014	Ciudad	2.43	805,2103	559,6407	1194,789717	0.01
350.77	5.70	2.5363965	11/abr/2014	visita	2.76	1030.17	854,7865	969,8292008	0.0047
79.43	12.59	5.0526127	09/abr/2014	Ciudad	7.91	403,7222	354,0076	596,277553	0.0004
953.92	2.08	0.7704578	10/abr/2014	Ciudad	1.59	676,3304	196,3725	1323,836599	0.0035
588.73	3.40	1.4509573	10/abr/2014	Ciudad	1.95	854,2232	599,8617	1145,770819	0.008
722.20	2.77	0.7123003	11/abr/2014	visita	2.06	514,4218	153,3228	1485,578199	0.0046
267.95	7.46	4.2947522	04/abr/2014	Ciudad	3.17	160,716	106,802	843,223969	0.005
584.84	3.54	0.652035	11/abr/2014	visita	2.85	2913.465	193,929	1609,456449	0.0054
1247.04	3.21	0.9378077	11/abr/2014	visita	2.23	1219,891	696,1703	2780,308926	0.0037
357.63	11.18	1.7784399	07/abr/2014	Ciudad	9.40	636,1343	457,2891	3363,865725	0.0041
4236.91	1.89	0.7949321	10/abr/2014	Ciudad	1.30	3229,899	1207,232	4674,30875	0.0037
251.21	15.91	5.7283917	23/mar/2014	Ciudad	10.21	1444,641	139,536	295,359007	0.0017
626.98	3.19	1.2842721	11/abr/2014	visita	1.91	805,2195	491,7245	1194,784512	0.0032
1064.87	4.69	1.4523465	11/abr/2014	visita	3.24	1547,358	1014,876	3452,64244	0.0094
200.95	9.95	3.6794906	10/abr/2014	Ciudad	6.27	739,1823	638,7076	1590,81768	0.0037
1973.87	2.53	1.1765463	11/abr/2014	visita	1.52	1230,903	1033,446	2979,817272	0.006
1634.16	6.12	3.3846481	11/abr/2014	visita	2.73	653,072	4713,989	4468,328357	0.0122
183.10	10.58	3.4142765	08/abr/2014	Ciudad	7.16	645,6484	651,0972	1364,359552	0.0046
69.09	14.47	9.1339347	09/abr/2014	Ciudad	5.36	629,7076	595,1611	370,2324833	0.0029
117.55	12.55	5.5395367	12/feb/2014	Ciudad	7.85	626,2517	752,235	1173,740291	0.0003
740.47203	5.40	1.9172694	01/mar/2014	Ciudad	3.48	1419,759	1049,522	2580,242308	0.0062
305,06329	13.11	4.8226611	09/abr/2014	Ciudad	8.29	1471,217	1318,685	2528,783128	0.0031
1000	1.00	0.5	12/feb/2014	Ciudad	0.50	500	0	500	0.01
0	0	0			0.00	0	0	0	0.0205

Fuente: Autor

El resultado de la ruta se describe en el anexo R el cual arroja como resultado 6 rutas con un tiempo acumulado de 12,094 horas.

Teniendo en cuenta que los resultados obtenidos con las modificaciones realizadas en la fase de experimentación contribuyen a una reducción en el tiempo de recorrido con relación a la ruta inicialmente creada, se procede a construir el ruteo considerando iniciar la primera ruta por cada uno de los puntos a visitar y considerando todos los vecinos a los que sea posible suplir la demanda antes de regresar a reabastecer el camión.

Ilustración 45. Selección de condiciones para ruteo variación 1 y 2

Elaboración de programación de puntos a visitar															Elaboración de ruteo de los puntos a visitar									
Última visita	Consumo promedio día	Días para programar otro	Días de seguridad	próxima visita	Programación del día	Frecuencia de atención	Inventario o de seguridad	Variación	Cantidad a entrega	Saldo	Puntos a visitar	Cantidad a entrega	Tiempo o en lugar	Organizar datos	0	Alinear Mant.	0	Puntos Iniciales Max: 35	35	Mantenimientos Max: 35	35	Horas Turno	4,5	
09Abr2014	254,34	183	0,792423	09Abr2014	Ciudad	114	2053,226	755,7673	2946,77431	1	1	2946,77431	0,0326											
09Abr2014	803,75	4,86	3,2227484	09Abr2014	Ciudad	163	3319,506	2805,133	860,43376	1	4	860,43376	0,0067											
10Abr2014	894,45	2,47	1,034983	10Abr2014	ciudad	139	976,953	471,236	124,040737	1	12	124,040737	0,0037											
10Abr2014	7632,18	2,62	0,638079	10Abr2014	ciudad	196	4893,666	1867,674	9516,34444	1	14	9516,3444	0,0053											
10Abr2014	5539,47	3,57	2,177636	10Abr2014	ciudad	133	1193,379	939,056	7606,209793	1	15	7606,2098	0,0053											
10Abr2014	7852,77	2,51	0,6344337	10Abr2014	ciudad	196	4893,666	1867,674	9516,34444	1	14	9516,3444	0,0053											
19Mar2014	14,60	29,90	0,729540	08Abr2014	Ciudad	2017	300,055	284,7542	637,5450266	1	22	637,54504	0,0033											
10Abr2014	178,81	2,31	1,3059562	10Abr2014	ciudad	180	1802,872	1044,567	3097,12794	1	23	3097,1279	0,0063											
09Abr2014	359,72	6,19	3,059862	09Abr2014	Ciudad	133	1683,459	1295,937	911,042312	1	25	911,0423	0,0062											
09Abr2014	127158	3,15	0,989476	10Abr2014	ciudad	216	1263,813	617,9713	2745,18769	1	26	2745,1876	0,0037											
10Abr2014	437,12	2,29	0,8744952	10Abr2014	ciudad	141	382,4993	163,6397	617,739722	1	27	617,73971	0,0038											
27Mar2014	95,26	21,00	0,0083147	10Abr2014	Ciudad	1439	972,1096	524,5581	1427,663345	1	28	1427,6634	0,0037											
23Feb2014	49114	4,07	1,6324745	25Feb2014	Ciudad	243	805,203	593,6407	1194,78917	1	30	1194,7891	0,01											
09Abr2014	390,77	5,70	0,9383065	10Abr2014	ciudad	276	1030,17	954,7865	963,6299208	1	34	963,62992	0,0047											
09Abr2014	784,0	12,59	0,582923	09Abr2014	Ciudad	715	493,7223	354,0076	896,277263	1	37	896,2776	0,004											
09Abr2014	959,52	2,08	0,7049728	10Abr2014	Ciudad	138	676,304	196,3726	1323,685599	1	38	1323,6856	0,0035											
09Abr2014	588,72	3,40	1,4509573	10Abr2014	Ciudad	195	854,2292	593,8617	1145,770819	1	41	1145,7708	0,008											
09Abr2014	722,20	2,77	0,7320093	10Abr2014	ciudad	216	914,4219	653,3239	1465,67039	1	47	1465,6703	0,0046											
09Abr2014	257,95	7,46	4,2947622	04Abr2014	Ciudad	317	150,7163	106,802	945,223389	1	49	945,22339	0,0055											
09Abr2014	564,94	3,54	0,6320205	10Abr2014	ciudad	285	391,5485	109,0299	1608,459548	1	51	1608,4595	0,0054											
09Abr2014	1247,04	3,21	0,9706777	10Abr2014	Ciudad	229	420,631	696,7093	2760,309328	1	52	2760,3093	0,0037											
23Mar2014	357,53	11,80	1,7784389	07Abr2014	Ciudad	940	636,1843	457,2881	3363,885725	1	53	3363,8857	0,0041											
09Abr2014	4236,31	1,89	0,7949321	10Abr2014	Ciudad	110	3326,839	1207,213	4474,708975	1	59	4474,7089	0,0137											
13Mar2014	290,21	15,99	0,7736913	22Mar2014	Ciudad	1021	144,1441	1195,336	2595,990907	1	60	2595,9909	0,0037											
10Abr2014	636,38	3,19	1,2542721	10Abr2014	ciudad	191	805,295	491,2445	1194,78912	1	64	1194,7891	0,0032											
10Abr2014	1064,97	4,63	1,4529644	10Abr2014	ciudad	324	1547,359	1016,675	3452,64244	1	67	3452,6424	0,0094											
04Abr2014	200,85	9,95	0,679456	10Abr2014	Ciudad	627	729,1623	626,7076	3260,61039	1	70	3260,6103	0,0037											
10Abr2014	1973,87	2,63	1,0756463	10Abr2014	ciudad	136	2320,383	1332,446	2679,617272	1	72	2679,6173	0,0096											
09Abr2014	1634,16	6,12	3,3546451	10Abr2014	ciudad	273	959,072	4713,989	4468,928267	1	74	4468,9284	0,0122											
09Abr2014	999,01	10,59	2,142425	09Abr2014	Ciudad	718	845,6464	1093,022	1254,26562	1	76	1254,2656	0,0046											
04Abr2014	89,03	14,47	0,1193947	09Abr2014	Ciudad	536	629,7075	595,1611	371,2924833	1	77	371,29248	0,0029											
09Abr2014	147,85	13,95	0,5993267	12Feb2014	Ciudad	795	826,2617	762,4295	1173,746831	1	79	1173,7463	0,0063											
28Feb2014	144,0203	5,40	1,9176884	01Mar2014	Ciudad	345	1476,769	1943,332	2580,442269	1	80	2580,4423	0,0062											
09Abr2014	305,0623	15,11	4,8226211	09Abr2014	Ciudad	829	1471,217	1318,685	2528,789129	1	87	2528,7831	0,0031											
12Feb2014	1000	100	0	12Feb2014	Ciudad	0,50	600	0	0	1	90	600	0,01											
99	0	0	0	99	ciudad	0,00	0	0	0	1	91	0	0,0205											

Fuente: Autor

El resultado del ruteo mencionado se describe en el anexo S, el cual realiza el recorrido con un tiempo acumulado de 10,43 horas y 7 rutas.

Teniendo en cuenta que el menor tiempo de recorrido acumulado se logra producto de las modificaciones realizadas en la fase de experimentación con los resultados del anexo S, las 7 rutas generadas allí son las rutas semillas para la aplicación de la metaheurística Búsqueda Tabú.

Los resultados obtenidos en cada paso del proceso de experimentación de los puntos a visitar programados para el día 11 de abril se describen en la tabla 15.

Tabla 15. Resultados proceso de experimentación.

Ruteo	Anexo	Vecinos a evaluar antes de regresar a bahía	Punto inicial ruta 1	Rutas	Tiempo total recorrido (Horas)	Tiempo de reducción con relación a la ruta inicial
Inicial	16	1	El más cercano a la bahía	6	13,598	
Variación 1	17	Todos los puntos posibles	El más cercano a la bahía	8	11,640	16%
Variación 2	18	1	Todos los clientes a visitar	6	12,094	12%
Variación 1 y 2	19	Todos los posibles	Todos los clientes a visitar	7	10,43	23%

Fuente: Autor

El código resultante del proceso de experimentación se describe en el anexo V.

6.2.3 Aplicación de Búsqueda Tabú.

Teniendo en cuenta que las rutas obtenidas en la fase de experimentación ya contemplan la restricción de capacidad y tiempo de turno, estas rutas se convierten en la semilla a partir de la cual se realiza la Búsqueda Tabú, con el propósito es encontrar cambios en el orden de visita que permitan una reducción en los tiempos de cada ruta.

La cantidad de memorias está definida como una variable la cual puede ser ajustada por el usuario, la cantidad máxima de memorias debe ser la cantidad de puntos de la ruta menos 1.

La cantidad de iteraciones también puede ser definida por el usuario, y es el criterio de parada del código.

Ilustración 46. Selección de cantidad de memorias e iteraciones para generar el ruteo aplicando búsqueda tabú.

Programación del día	Frecuencia de eventos	Is (Inventari) de program. inicio	Variancia	Cantidad a entregar	Valid. esto	Puntos a visitar	Cantidad a entregar	Tiempo en hora	Organizar datos	0	Alinear Matriz	0	# Puntos iniciales Max: 35	35	Mantenimientos Max: 35	35	Horas Turno	4.5	Memorias	14	Iteraciones	100
4	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	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	0	0	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
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
53	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

Los resultados obtenidos para el ejemplo del día 11 de abril se presentan en el anexo T. Con un tiempo total de recorrido de 10,41, lo cual representa un reducción del 23,3% respecto a la ruta inicial creada y una reducción del 0,1% con relación a la ruta semilla.

La herramienta de ruteo se presenta en el anexo U

El código de programación que integra la herramienta de puntos a visitar (Anexo N) y la herramienta de ruteo (Anexo U) se describe en el anexo V.

El código resultante de la aplicación de la búsqueda tabú se describe en el anexo W.

7. CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

El logro del objetivo general planteado en el presente proyecto “MEJORAR DEL PROCESO DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE MEDIANTE EL USO DE CAMIÓN CISTERNA EN LA EMPRESA CARBONES DEL CERREJÓN LIMITED” se evidencia en el cumplimiento de los objetivos específicos presentado en la tabla 16. Cumplimiento de objetivos específicos, donde se relaciona el numeral y páginas del documento en las cuales se evidencia el logro de cada uno.

Tabla 16. Cumplimiento de objetivos específicos.

OBJETIVO	NUMERAL	PÁGINA
Elaborar un diagnóstico del proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna, que permita identificar las actividades críticas.	3.1 Conocimiento del proceso: abastecimiento, transporte y suministro de agua potable.	35
	3.2 Descripción del proceso	37
	3.3 Recolección y análisis de datos.	41
	3.4 Hallazgos de problemas y sus causas.	49
Proponer alternativas para el mejoramiento de aquellas actividades críticas detectadas en el diagnóstico del proceso de suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna.	4.1 Alternativa 1: Habilitar una válvula adicional para el abastecimiento de camiones en la bahía de planta de agua	59
	4.2 Alternativa 2: Estandarizar los puntos de suministro de agua potable que no cumplen con las condiciones de área requeridas para hacer el proceso de manera eficiente y segura.	66
	4.3 Alternativa 3: Implementación, modificación, adecuación y/o reemplazo de herramientas y equipo empleados en el proceso	75
	4.4 Alternativa 4. Instalación de mirillas en los tanques de los camiones de agua potable	78
	4.5 Alternativa 5. Elaborar una herramienta de programación y control diario de los puntos en los cuales se debe suministrar agua potable	79
	4.6 Alternativa 6. Diseñar una programación de atención de los puntos de suministro de agua potable aplicando el concepto de ruteo de vehículos y los criterios de optimización sobre este.	80
Elaborar una herramienta de programación y control diario de los puntos en los cuales se debe suministrar agua potable.	5.1 Geo-referenciación de los puntos	84
	5.2 Obtención de reportes de visitas de los camiones de agua potable a cada uno de los puntos	86
	5.3 Definición de instrumentos de medición para obtener datos de cantidad de agua entregada en los puntos	86
	5.4 Obtención de datos de tiempos de suministro en los puntos	89
	5.5 Programación de puntos a visitar	90
Diseñar una programación de atención de los puntos de suministro de agua potable aplicando el concepto de ruteo de vehículos y los criterios de optimización sobre este.	6.1 Matriz origen – Destino	95
	6.2 Elaboración de ruteo	98
	6.2.1 Construcción del modelo de ruteo	98
	6.2.2 Experimentación	101
	6.2.3 Aplicación de Búsqueda Tabú	106

Fuente: Autor

CONCLUSIONES

El diagnóstico realizado permitió identificar problemas y causas que no se habían considerado y que contribuían al problema del proceso.

Durante la ejecución del proyecto las alternativas planteadas fueron implementadas pese a que esta fase no estaba considerada dentro del alcance del presente proyecto de grado.

Las diferentes empresas y áreas que tienen algún rol dentro del proceso adoptaron las recomendaciones planteadas lo cual permitió la implementación de las alternativas mencionadas de manera satisfactoria.

Como resultado del tercer objetivo específico de este proyecto de grado, Cerrejón cuenta con una herramienta de programación de puntos a visitar basado en datos más confiables a los que se obtenían antes del proyecto, además, esta herramienta ha permitido una nueva utilización al sistema de gestión de flota VDO.

El diseño de la programación de puntos basado en los conceptos de ruteo y los criterios de optimización entregan a Cerrejón una herramienta de aplicación la cual le permitirá satisfacer las necesidades de sus clientes internos haciendo un uso eficiente de los recursos empleados para el suministro de agua potable mediante el uso de camión cisterna.

El presente proyecto de grado ha permitido una contribución desde la academia permitiéndole a Cerrejón el desarrollo de uno de sus procesos de una manera eficiente y a la Universidad Industrial de Santander en especial al grupo de investigación OPALO una oportunidad para aplicar los conceptos de ruteo y optimización estudiados.

RECOMENDACIONES

El autor recomienda:

Mantener las observaciones en campo por parte de supervisores y analistas, con el propósito de identificar oportunamente problemas que puedan afectar el proceso.

Mantener actualizada la matriz origen-destino cada vez que se mueva o incluya un punto en el cual se va a realizar suministro de agua potable, debido a que esta matriz es fundamental para la generación correcta de las rutas.

Realizar una campaña para promover el ahorro y uso eficiente de agua, que incluya sensibilización para la detección, reporte y corrección oportuna de fugas.

Realizar un análisis que permita la redistribución de tanques de acuerdo a la demanda, con esto evitar la ubicación de tanques de gran tamaño en lugares de bajo consumo.

Evaluar alternativas para la instalación de sistemas ahorradores en reemplazo de los existentes.

Continuar evaluando nuevas utilidades al sistema de seguimiento satelital, el cual permitió obtener datos de consumos de agua potable.

Evaluar la ampliación de la bahía de abastecimiento para la instalación de la tercera válvula de agua potable para el abastecimiento de camiones cisterna.

BIBLIOGRAFÍA

BRAVO, Juan José; OREJUELA, Juan Pablo y OSORIO, Juan Carlos. Administración de recursos de distribución. Universidad ICESI. 2007. Vol. 23 N.º102. [en línea] Disponible en: http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/217/html

Cerrejón. “Operación integrada - mina”, [en línea]. Disponible en: <http://www.cerrejon.com/site/operacion-integrada/mina.aspx>

Cerrejón. “Operación integrada- Ferrocarril”, [en línea]. Disponible en: <http://www.cerrejon.com/site/operacion-ntegrada/ferrocarril.aspx>

Cerrejón. “Mapa de ubicación”, [en línea]. Disponible en: http://www.cerrejon.com/site/Portals/0/Images/Contents/Nuestra_empresa/mapa_cerrejon_zoom_02.jpg

CONTARDO VERA, Claudio Andrés. Formulación y solución de un problema de ruteo de vehículos con demanda variable en tiempo real, trasbordos y ventanas de tiempo. Universidad de Chile. 2005. [en línea] Disponible en: <http://claudio.contardo.org/wp-content/uploads/2010/09/memoria.pdf>

DAZA, J.M.; MONTOYA J.R. y NARDUCCI F. Resolución del problema de enrutamiento de vehículos con limitaciones de capacidad utilizando un procedimiento metaheurístico de dos fases, Revista EIA ISSN 1794-1237 número 12, p. 23-28, Diciembre de 2009. Escuela de Ingeniería de Antioquia. [En línea] Disponible en [http://revista.eia.edu.co/articulos12/EIA%2012%20\(pag.%2023-38\).pdf](http://revista.eia.edu.co/articulos12/EIA%2012%20(pag.%2023-38).pdf)

GALVIS MEJIA J.T; MONSALVE, Jaimes G. A. y QUIROGA Berdugo N.J. Estudio cuantitativo de tres aplicaciones diferentes del problema del ruteo de vehículos (VRP) en la Universidad Industrial de Santander. Proyecto de Grado. Ingeniero Industrial. Universidad Industrial de Santander. 2011.

GLOVER F. LAGUNA M. “Tabú search”. *Kluwer academic Publishers*. 1997.

GLOVER, Fred y MELIAN, Belén. “Tabú search” Inteligencia artificial, Revista Iberoamericana de inteligencia Artificial. N.º 19(2003), pp. 29-48 ISSN: 1137-3601. AEPIA (<http://www.aepia.org/revista>).

Grupo de investigación “Optimización Combinatoria”, [en línea]. Universidad de Valencia. [En línea] Disponible en: http://www.uv.es/uvweb/departamento_estadistica_investigacion_operativa/es/investigacion/grupos-investigacion/grupo-investigacion-optimizacion-combinatoria-/actividades-del-grupo/lineas-investigacion-1285857925620.html

HILLER/LIEBERMAN. Introducción a la investigación de operaciones. Cuarta edición. P 408,409.

ICESI, "Administración de recursos de distribución".[en línea]. Disponible en:http://www.icesi.edu.co/revistas/index.php/estudios_gerenciales/article/view/217/html

JIMENEZ SANCHEZ, José Elías y HERNANDEZ GARCIA, Salvador. Marco conceptual de la cadena de suministro: Un nuevo enfoque logístico. Publicación técnica No 215. [en línea] Disponible en: <http://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt215.pdf>

LOZADA, Adriana y CADENA GONZALEZ Ricardo Andrés. Solución del problema de del ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW) mediante métodos heurísticos. Trabajo de grado. Ingeniero Industrial. Universidad Industrial de Santander. p. 36.

Massimo Paolucci. "*Vehicle Routing Problems*".*Università di Genova*. p 10. [En línea] Disponible en: <http://www.discovery.dist.unige.it/didattica/LS/VRP.pdf>

PERTUZ MONTENEGRO, Alfredo José y ROJAS SILVA, Kimberly. Formulación y evaluación de un algoritmo, basado en la meta-heurística "Búsqueda tabú" para la optimización del ruteo de vehículos con capacidad. Trabajo de grado. Ingeniero Industrial. Universidad industrial de Santander. 2007. [En línea]. Disponible en: <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2007/125243.pdf>

PINTO CONTRERAS, Claudia Marcela y DIAZ DELGADO, María Fernanda. Métodos heurísticos para la solución de problemas de ruteo de vehículos con capacidad (CVRP). Trabajo de grado. Ingeniera Industrial. Universidad Industrial de Santander. 2010. [en línea] Disponible en: http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/pags/cat/popup/pa_detalle_matbib.jsp?parametros=161274|%20|11






Técnicas metaheurísticas. Algoritmos basados en nubes de partículas. [En línea] Disponible en http://e-spacio.uned.es:8080/fedora/get/tesisuned:Inglnd-Mgomez/TESIS_MGG1_Capitulo3.pdf

VELEZ, Mario Cesar y MONTOYA, José Alejandro. Metaheurísticos: una alternativa para la solución de problemas combinatorios en administración de operaciones. 2007. Revista EIA. [En línea] Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372007000200009&script=sci_arttext&tlng=en

VILLEGAS R, Juan Guillermo. El problema de ruteo de vehículos: Algunas variantes importantes. Julio 2007. [En línea] Disponible en: https://www.sidweb.espol.edu.ec/public/download/doDownload?attachment=432798&web_siteld=4459&folderId=17&docId=716963&websiteType=1

ANEXOS

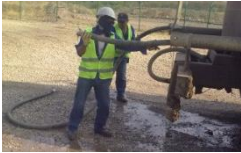



ANEXO A. Hallazgos camiones de agua potable

CAMIÓN 76 – 185					
					
Mangueras	Acoples	Bombas	Medidores de cantidad de agua suministrada	Conos	Otros
Las mangueras no están almacenadas en un lugar adecuado esto hace que se empleen elementos inadecuados para asegurar las mangueras a los camiones como cables y lazos.	Los acoples y los empaques de los acoples empleados por el camión para el suministro están deteriorados lo cual se traduce en fugas de agua potable al momento de realizar el suministro	La bomba se encuentra expuesta al lodo y demás condiciones de la mina	El camión no tiene instrumentos de medición que permitan conocer la cantidad de agua suministrada en cada lugar	Los conos que emplea este camión no son de equipo mediano, estos conos son los empleados por equipos mineros, están ubicados en un lugar que no es apropiado	El acople por donde ingresa el agua potable al camión se encuentra desprotegido, esto hace posible que ingrese polvo y lodo al tanque, principalmente cuando el camión es abastecido.
					

Fuente: Autor

CAMIÓN 76 – 123








Mangueras	Acoples	Bombas	Medidores de cantidad de agua suministrada	Conos	Otros
<p>Las mangueras son pesadas manifiestan los operarios, este camión requiere acoplar las dos mangueras en la mayoría de los puntos.</p>	<p>Los acoples no tienen mecanismo alguno de protección, lo cual hace que las mangueras queden expuestas al lodo.</p>	<p>La bomba está protegida por una caja metálica. La ubicación de la bomba hace que se empleen 2 mangueras en la mayoría de los puntos.</p>	<p>El camión no tiene ningún tipo de medidor que permita conocer la cantidad de agua entregada en los puntos.</p>	<p>Los conos están ubicados en la parte superior del camión, por lo tanto hacer uso de ellos implica la aplicación del protocolo de trabajo en alturas del cual los operarios no tienen ni el entrenamiento ni los elementos de protección personal.</p>	<p>El conductor desciende del camión mientras se realiza el suministro, coloca una varilla para acelerar el camión lo cual representa un comportamiento de alto riesgo.</p>
					

Fuente: Autor






CAMIÓN 76 – 143




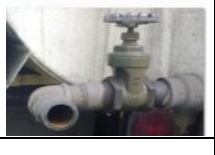






Mangueras	Acoples	Bombas	Medidores de cantidad de agua suministrada	Conos	Otros
<p>Las mangueras son almacenadas por completo al interior del tubo dispuesto para esto, no están expuestas al lodo ni a las demás condiciones de las vías de la mina.</p>	<p>No todos los camiones tiene las mangueras en condiciones óptimas para la prestación del servicio por lo cual las que están en mejor estado se pasan de un camión a otro.</p>	<p>La bomba se encuentra cubierta por una caja metálica, la cual brinda protección del lodo y polvo presentes en las vías de la mina.</p>	<p>El medidor de cantidad de agua suministrada no está operativo, se dañó un mes después de instalado manifiestan los operarios.</p>	<p>Los conos se ubican al interior de la cabina detrás del asiento de los operarios</p>	<p>Es el único camión que tiene mirilla sin embargo está cristalizada por lo tanto no se conoce el nivel de agua al interior del tanque del camión.</p>
					

Fuente: Autor

ANEXO B Descripción de actividades abastecimiento de camiones en planta de agua

Actividad	Tiempo en la actividad	Aspectos Positivos	Aspectos de Mejora	Imagen
Descender el auxiliar del camión para ser la persona guía en tierra.	15 seg	El auxiliar desciende del camión en un lugar seguro.		
Estacionar en reversa el camión en la bahía de planta de agua.	41 seg	Se cumple con el procedimiento de guía en tierra establecido por Cerrejón para el estacionamiento de vehículos en reversa.		
Retirar manguera del camión y acoplar uno de sus extremos a la válvula de suministro en planta de agua.	26seg	Se realiza el acople de acuerdo al procedimiento.		
Acoplar el otro extremo a la válvula de abastecimiento del camión.	15seg	Se realiza el acople de acuerdo al procedimiento.		
Abrir válvula de abastecimiento del camión.	8seg		La válvula no es de cierre rápido ya que en el pasado han ocurrido eventos como estallido del tubo PVC de planta de agua.	

Actividad	Tiempo en la actividad	Aspectos Positivos	Aspectos de Mejora	Imagen
Abrir válvula de suministro de agua potable en planta de agua.	24seg		Se presentan fugas por el lugar del acople.	
Estar pendiente al llenado del tanque del camión	1668 seg		Se desconoce el nivel de agua presente en el tanque del camión durante el llenando	
Cerrar la válvula de suministro de agua potable en planta de agua	24seg	La válvula no es de cierre rápido ya que de serlo puede generar rotura (estallido) del tubo PVC que conduce el agua a la válvula de suministro en planta de agua	La válvula se cierra una vez se ha presentado fuga en la parte superior del tanque del camión	
Cerrar la válvula de abastecimiento del camión	8seg	Se cierra sin problema		
Desacoplar la manguera de la válvula de suministro de planta de agua	26seg	Se desacopla de manera segura verificando que el área esté despejada.	Queda agua en la manguera la cual no se dispone en una rejilla adecuada ya que no existe lo que ocasiona encharcamiento de la bahía.	
Desacoplar la manguera de la válvula de abastecimiento del camión	15seg	Se verifica que la manguera quede totalmente vacía		
Reubicar la manguera del camión en el	23seg	Se reubica la manguera de manera adecuada		

Actividad	Tiempo en la actividad	Aspectos Positivos	Aspectos de Mejora	Imagen
lugar asignado				
Subir el auxiliar al camión y salir de la bahía de planta de agua con destino a los puntos a visitar.	27seg		La bahía queda con gran cantidad de agua en el piso, uno por que los tanques de los camiones se rebosan y otro por que el agua que queda en las mangueras se deposita sobre el piso.	

Fuente: Autor

ANEXO C. Programación de visitas

MINA NORTE (MN)	L	M	X	J	V	S	D
Área de entrenamiento	x		x		x		x
CAE 2. Manguitos		x		x		x	
Cambiadero La Puente	x	x	x	x	x	x	x
Cambiadero Tabaco	x	x	x	x	x	x	x
Cotorra vieja	x		x		x		x
Ensamble de palas norte		x		x		x	
Herrería de palas norte	x		x		x		x
Isla portátil 3	x		x		x		x
Isla portátil 5	x		x		x		x
Isla portátil 7		x		x		x	
Isla portátil 9		x		x		x	
Línea 12		x		x		x	
Línea 14		x		x		x	
Línea 26 (Cajero)	x		x		x		x
Línea 3		x		x		x	
Línea 4 y 10		x		x		x	
Línea 6	x		x		x		x
Línea 9		x		x		x	
Línea NAM 2	x		x		x		x
Línea sup. Manguitos		x		x		x	
Línea supervisores cotorra	x		x		x		x
Línea voladura 2		x		x		x	
Manguitos		x		x		x	
Nueva NAM 1	x		x		x		x

MINA SUR (MS)	L	M	X	J	V	S	D
Administrativos del sur		x		x		x	
CAE 4. Oreganal		x		x		x	
CAE Patilla	x		x		x		x
Cambiadero Oreganal		x		x		x	



MINA SUR (MS)	L	M	X	J	V	S	D
Cambiadero Patilla	x		x		x		x
Isla portátil 1	x		x		x		x
Isla portátil 2		x		x		x	
Isla portátil 4	x		x		x		x
Isla portátil 6		x		x		x	
Isla portátil 8		x		x		x	
Línea 11	x		x		x		x
Línea 15		x		x		x	
Línea 7 y 8	x		x		x		x
Línea comuneros		x		x		x	
Línea de cables		x		x		x	
Línea k5		x		x		x	
Línea marquezote		x		x		x	
Línea oreganal 1 y 2		x		x		x	
Línea supervisores oreganal		x		x		x	
Línea supervisores patilla	x		x		x		x
Manguitos 2	x		x		x		x
Nueva garita P9	x		x		x		x
Talleres Oreganal		x		x		x	
Voladura sur (playa alta)		x		x		x	

ÁREA INDUSTRIAL (AI)	L	M	X	J	V	S	D
Acceso sur P6	x		x		x		x
Alta tensión punto de agua	x		x		x		x
Bascula Aurora	x		x		x		x
Bodega de los rotarios		x		x		x	
Bunker	x		X		x		x
Cancha contra incendios	x		X		x		x
Centro de desarrollo ambiental	x		X		x		x
Centro de fauna	x		X		x		x
Cis punto de agua potable	x		X		x		x

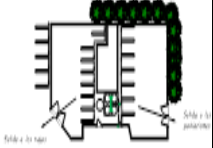
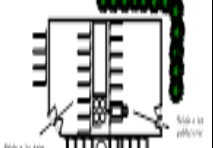



ÁREA INDUSTRIAL (AI)	L	M	X	J	V	S	D
Equipo soporte. Punto Agua Potable	x		X		x		x
Excedentes	x		X		x		x
La batea	x		X		x		x
Land farming	x		X		x		x
Línea cero - Supervisores línea cero	x		X		x		x
Patio de geología	x		X		x		x
Patio ensamble. Punto agua potable	x		X		x		x
Pc23.Geología	x		X		x		x
Pentágono. Punto Agua potable	x		X		x		x
Pista aeromodelismo	x		X		x		x
Relleno de podas		x		x		x	
Taller de lubricación. Punto de agua potable	x		X		x		x
Taller de palas	x		X		x		x
Taller de equipo liviano-Masa	x		X		x		x

ÁREA EXTERNA (EX)	L	M	X	J	V	S	D
4 Vías de Maicao		x			x		
Aeropuerto la mina		x			x		
Garita peaje vía privada		x			x		
Peaje vía privada		x			x		




ANEXO D. Observaciones de los puntos donde se realiza suministro de agua potable

MINA NORTE						
Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Área de entrenamiento	2000 litros	Acceso amplio	Hay espacio para estacionar adecuadamente el camión.	La orientación y estado de los acoples es buena	No hay tope llanta no hay necesidad teniendo en cuenta la manera cómo se estaciona el camión sin embargo hay que hacer seguimiento para validar que no se estacione de reversa de lo contrario se requiere tope llanta	
CAE 2. manguitos	2000 litros	El lugar es un poco estrecho pero el camión ingresa sin problema, es un acceso exclusivo para camiones de agua potable.	Hay espacio suficiente para estacionar adecuadamente el camión.	El acople está asegurado y en orientación adecuada sin embargo, hay presencia de maleza muy cerca del punto de acople.	No es necesario por la manera como estaciona el camión, en el lugar hay un polín que no es necesario para la atención del punto y no cumple con las especificaciones técnicas de señalización y demás.	 



MINA NORTE

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Cambiadero La Puente	20000 Litros	Amplio	Adecuado, Permite maniobrar con comodidad	La dirección del acople es adecuada	En buen estado y adecuado	
Cambiadero Tabaco	20000 litros	Amplio	Adecuado, Permite maniobrar con comodidad	La dirección del acople es adecuada	En buen estado y adecuado	
Cotorra vieja	2000 litros	Amplio	Hay espacio para estacionar adecuadamente el camión.	La orientación del acople es errada, está hacia el cubículo del baño.	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Ensamble de palas norte	20000 litros	Amplio	Amplia y en buenas condiciones	El estado del acople es óptimo, la orientación del acople no es el mejor.	No es necesario, el camión se estaciona a un costado del punto	
Herramienteria de palas norte	4000 litros	El acceso es estrecho.	La maniobra de parqueo se realiza lejos del punto de acople, desde donde se inicia la	la orientación del acople es adecuada, el estado del acople es adecuado pero	No hay tope llanta, hay una malla que protege la bomba de agua del punto, ésta se encuentra entre el acople y el camión por lo cual existe riesgo de colisión	



MINA NORTE

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
			maniobra de estacionamiento, el recorrido es largo.	no cuenta con Tie Wrap para evitar posible manipulación del punto.		
Isla portátil 3	2000 litros	Acceso amplio y diferente al de tránsito de equipo minero.	Espacio suficiente para maniobrar	La orientación del acople es adecuada	El estado del tope llanta es óptimo, sin embargo, se encuentra cerca a los tubos expuestos lo cual hace que el camión pueda colisionar primero con los tubos antes de detenerse la llanta con el tope llanta.	
Isla portátil 5	2000 litros	Ingreso estrecho	Adecuado, la maniobra se realiza fuera de la isla en una zona de transición la cual es amplia y permite la maniobra sin problemas.	La orientación es adecuada	No hay, no es necesaria debido a la manera en que se estaciona el camión.	



MINA NORTE

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Isla portátil 7	2000 litros	Acceso amplio y diferente al de tránsito de equipo minero.	Espacio suficiente para maniobrar	La orientación es adecuada	Buen estado de tope llanta	
Isla portátil 9	2000 litros	Acceso amplio y diferente al de tránsito de equipo minero.	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea del acople, apunta a la berma, la manguera del camión no alcanza a ser acoplada se debe aproximar mucho el camión a los tubos expuestos para que se pueda acoplar, sin embargo, la manguera queda tensionada lo cual posibilita la ruptura del tubo (PVC)	No hay tope, peligro de colisión con tubos expuestos en el lugar	


MINA NORTE

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
				donde se encuentra el acople del lugar.		
Línea 12	40000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	El tope llanta se encuentran en buen estado y a una distancia adecuada del punto.	La orientación del acople es adecuada	
Línea 14	2000 litros	Acceso estrecho	Área estrecha pero suficiente para estacionamiento del camión	El tope llanta se encuentran en buen estado y a una distancia adecuada del punto.	No Hay, el espacio no permite la ubicación de tope llanta, se evita estacionar el camión en reversa	
Línea 26 (Cajero)	5000 litros	El acceso es estrecho	Amplia y adecuada para la maniobra	La orientación es adecuada	El tope llanta está en buen estado y a una distancia adecuada	




MINA NORTE

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea 3	4000 litros	Amplio	El área de estacionamiento coincide con el estacionamiento de otros camiones que prestan servicios en el punto; esto se debe a la orientación del acople, el camión debe acomodarse a él sin seguir el protocolo de estacionamiento del lugar.	Orientación errada, el camión debe adaptarse al acople, el estado del acople es bueno.	El tope llanta que hay no es para el camión de agua potable, el camión no se estaciona de acuerdo al protocolo.	
Línea 4 y 10	4000 litros	El acceso es amplio	Permite la maniobra de estacionamiento	Orientación del acople errada, estado del acople bueno.	No hay, no es necesario debido a la manera en que se estaciona el camión.	





MINA NORTE

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea 6	2000 litros	Amplio	<p>La maniobra de estacionamiento se realiza en un lugar que no es apropiado, ya que allí queda el estacionamiento para equipo liviano esto hace que el camión necesite parte del parqueadero desocupado para realizar la maniobra.</p>	<p>la orientación del acople es errónea, debido a que por la parte frontal de la línea el área es amplia y despejada para realizar el estacionamiento, como está actualmente se requiere tener parte del área de estacionamiento libre para realizar el suministro.</p>	<p>No hay tope llanta, debido a la manera como realiza el estacionamiento no hace uso de los tope llanta ubicados en el parqueadero por lo cual está en riesgo de colisión con la instalación.</p>	


MINA NORTE

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea 9	2000 litros	Amplio	La maniobra de estacionamiento se realiza de acuerdo a la orientación del acople, esto hace que el camión estacione en reversa poniendo en riesgo de colisión al camión con la instalación.	La orientación del acople es errónea, está hacia el cubículo del baño.	No hay, como se está estacionando el camión actualmente es necesario, si se cambia la orientación del acople no sería necesario instalar tope llanta.	
Línea NAM 2	2000 litros	El acceso es estrecho.	La entrada se hace por la vía de equipo minero, allí se debe realizar la maniobra para acomodar el camión en reversa,	Bien la dirección del acople,	No hay tope	
Línea sup. Manguitos	1000 litros	Amplio	no requiere maniobra de estacionamiento (guía en tierra).	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	

MINA NORTE




Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea supervisores cotorra	4000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	el acople está bajo en dirección correcta	No hay tope	
Línea voladura 2	4000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	El acople está encerrado y en sentido perpendicular a la dirección en la que se estaciona el camión	No hay tope	
Manguitos	15000 litros	Amplio	Área difícil para maniobrar, hundimientos (a afectaciones por invierno)	Bien la dirección del acople,	No hay tope	
Nueva NAM 1	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople	No hay tope	

ÁREA INDUSTRIAL


Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Acceso sur P6	5000 litros	El acceso al punto se hace por una vía empinada y estrecha por la cual el camión sube en reversa	En la vía no hay barrera de protección lateral lo que representa riesgo de caída de equipo a nivel inferior	La orientación es adecuada	Por la ubicación del punto y la manera cómo accede el camión no es necesario el tope llanta, no hay riesgo de colisión con objeto o instalación alguna en la parte posterior.	
Alta tensión punto de agua	2000 litros	El acceso es amplio.	Adecuado para la maniobra de estacionamiento.	La orientación es adecuada.	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Bascula Aurora	2000 litros	El acceso se hace por una vía exclusiva para los camiones de agua potable.	No requiere de maniobra de estacionamiento (guía en tierra), el punto está ubicado al costado de la vía exclusiva para el camión.	No hay acople, El suministro se hace destapando el tanque.	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Bodega de los rotarios	5000 litros	El acceso es amplio, Se realiza	Amplio permite con facilidad el giro del	La orientación es adecuada, está en	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en	

ÁREA INDUSTRIAL						
Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
		el protocolo de señalización del área adecuadamente (conos)	camión	buen estado	reversa	
Bunker	1000 litros	permite el acceso del equipo sin problema	El área para el estacionamiento es exclusiva para el equipo de agua potable, es amplia.	La orientación es adecuada	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	
Cancha contra incendios	1000 litros	Amplia	El área es amplia y cómoda para la maniobra de estacionamiento	La orientación es adecuada, el acople está en buen estado.	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	
Centro de desarrollo ambiental	5000 litros	No presenta inconveniente para el ingreso del equipo	El lugar es amplio no hay dificultad para el estacionamiento del camión	La orientación es adecuada, el acople está en buen estado.	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	
Centro de fauna	2000 litros	Acceso estrecho	La maniobra es un poco justa requiere	La orientación es adecuada	No hay tope llanta	



ÁREA INDUSTRIAL						
Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
			acomodar varias veces el camión			
CIS punto de agua potable	5000 litros	No es amplia pero los camiones ingresan sin problema	Se estacionan sin inconvenientes	La orientación es adecuada	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	
Equipo soporte. Punto Agua Potable	5000 litros	El acceso es amplio	No requiere de maniobra de estacionamiento (guía en tierra).	La orientación es adecuada	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Excedentes	5000 litros	El lugar es amplio		La orientación es adecuada	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	
La batea	1000 litros	La vía de acceso es estrecha	El lugar es amplio no hay dificultad para el estacionamiento del camión	La orientación es adecuada	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	
Land farming	2000 litros	La vía de acceso es amplia	El lugar es amplio no hay dificultad para el	La orientación es adecuada	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	

ÁREA INDUSTRIAL						
Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
			estacionamiento del camión			
Línea cero Supervisor s línea cero	7000 litros	El ingreso es estrecho cuando el camión inicia a retroceder	la maniobra de estacionamiento se realiza en espacio de equipo minero y se inicia a retroceder	la orientación y el estado de los acoples es adecuado	no hay tope llanta	
		Acceso amplio	Cuenta con espacio suficiente para el giro del camión	Dirección errónea del acople, la orientación no está hacia el lugar donde se estaciona el camión.	El tope llanta se encuentra en buen estado a una distancia tal que evita una posible colisión entre el camión y la instalación.	
Patio de geología	2000 litros	Acceso amplio	Hay espacio para realizar maniobra adecuada de estacionamiento	La dirección del acople es adecuada.	No hay tope llanta, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	
Patio ensamble. Punto agua	5000 litros	El acceso es amplio	En este lugar culmina una vía ancha que permite	La dirección del acople es adecuada.	No es necesaria la ubicación de tope llanta, el punto de suministro está a un costado de	

ÁREA INDUSTRIAL

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
potable			una maniobra cómoda y segura		la vía.	
Pc23.Geología	2000 litros	Acceso amplio	Hay espacio suficiente para realizar la maniobra de estacionamiento	La dirección del acople es adecuada	No hay tope llanta, es necesaria debido a que el camión estaciona en reversa	
Pentágono. Punto Agua potable	5000 litros	El acceso es amplio	Hay espacio suficiente para el giro del camión	La dirección del acople no es la mejor, el tubo del punto de acople no está sujetado adecuadamente.	No hay tope llanta	
Pista aerodelismo	2000 litros	El acceso es amplio	Hay espacio suficiente para maniobra de los camiones	La dirección de los acoples es adecuada	No hay tope llanta	
Relleno de podas	2000 litros	La vía de acceso es amplia.	El lugar es amplio no hay dificultad para el estacionamiento del camión.	La orientación es adecuada.	No es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa	


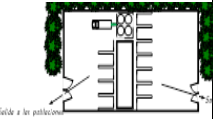




ÁREA INDUSTRIAL

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Taller de lubricación. Punto de agua potable	50000 litros					
Taller de palas	5000 litros	El acceso es amplio	Adecuada, el camión estaciona a un costado de la vía, no se señala adecuadamente el área (no colocan conos).	La dirección del acople no es la adecuada, el tubo donde está ubicado el punto de acople no está sujeto adecuadamente.	No requiere tope llanta.	
Taller de equipo liviano-Masa	2000 litros	El acceso es amplio	Adecuada, el camión estaciona a un costado de la vía, no se señala adecuadamente el área (no colocan conos).	El acople queda muy dentro de la malla, El tubo PVC no está bien ajustado, éste se cae cuando se intenta acoplar, razón por la cual los operarios destapan el tanque para realizar el	No hay tope llanta, no es necesario debido a que el camión estaciona a un costado del punto	








ÁREA INDUSTRIAL						
Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
				suministro, El punto de acople está alto, esto dificulta la operación de los operarios. La orientación del acople es adecuada.		

MINA SUR						
Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Administrativos del sur	20000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople	No hay no es necesario	
CAE 4. Oreganal	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople	No hay no es necesario	
CAE Patilla	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople	No hay tope, no es necesario por la manera en que estaciona e camión	





MINA SUR

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Cambiadero Oreganal	20000 litros	el acceso es estrecho.	El espacio para estacionar es incómodo, hay algunos árboles que no permiten que el camión maniobre con facilidad.	Bien la dirección del acople,	No hay tope, no es necesario por la manera en cómo se estaciona el camión	
Cambiadero Patilla	20000 litros	Amplio	Adecuado, Permite maniobrar con comodidad	La dirección del acople es adecuada	En buen estado y adecuado	
Isla portátil 1	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Hay tope llanta, distancia del tope a tubos expuestos es de 1.2m	 
Isla portátil 2	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	La distancia entre el tope y el punto de suministro es de 5 metros	 





MINA SUR

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Isla portátil 4	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	La distancia del tope llanta a los tubos es de 3 metros	
Isla portátil 6	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	En dirección errónea, apunta hacia el baño	distancia del tope a los tubos 2.3m	
Isla portátil 8	20000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	En dirección errónea, apunta hacia el baño	El tope se encuentra a 1.7 metros de los tubos expuestos	
Línea 11	4000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	No hay tope	
Línea 15	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay tope	
Línea 7 y 8	4000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Línea comuneros	2000 litros	el acceso es estrecho.	El espacio para estacionar es incómodo, no hay espacio suficiente	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay tope	


MINA SUR

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
			para una maniobra adecuada			
Línea de cables	2000 litros	el acceso es estrecho.	Espacio estrecho para maniobrar	Bien la dirección del acople,	En buen estado y en lugar adecuado	
Línea k5	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	No hay tope	
Línea marquesote	4000 litros	el acceso es estrecho.	El espacio para estacionar es incómodo, el estacionamiento de equipo liviano está justo enfrente del acople	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay tope	
Línea oreganal 1 y 2	4000 litros	el acceso es estrecho.	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay tope	
Línea supervisores oreganal	4000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	Hay tope aunque están muy enterrados para hacer su función	

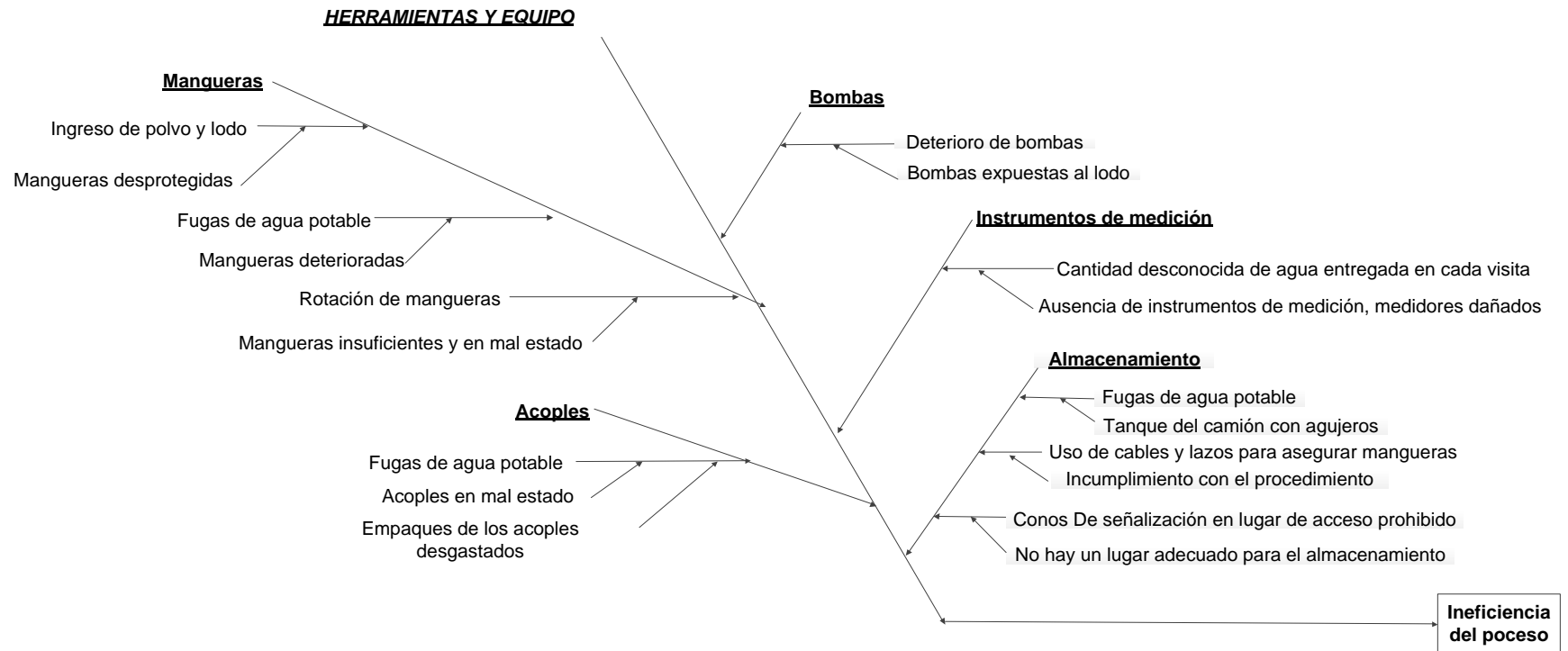
MINA SUR

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
						
Línea supervisores patilla	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Manguitos 2	4000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	No hay tope, estacionamiento se hace en reversa	
Nueva garita P9	4000 litros	El acceso es estrecho.	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay tope	
Talleres Oreganal	5000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Voladura sur (playa alta)	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Hay tope adecuado	

ÁREA EXTERNA

Lugar	Capacidad (Litros)	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
4 Vías de Maicao	5000 litros	Amplio aunque hay mucha presencia de peatones y vehículos	Espacio suficiente para maniobrar	Lo orientación de los acoples es adecuada	No hay tope llanta	
Aeropuerto la mina	5000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Orientación adecuada	No hay tope llanta	
Garita peaje vía privada	4000 litros	Amplio	Espacio suficiente	Orientación adecuada	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Peaje vía privada	2000 litros	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	

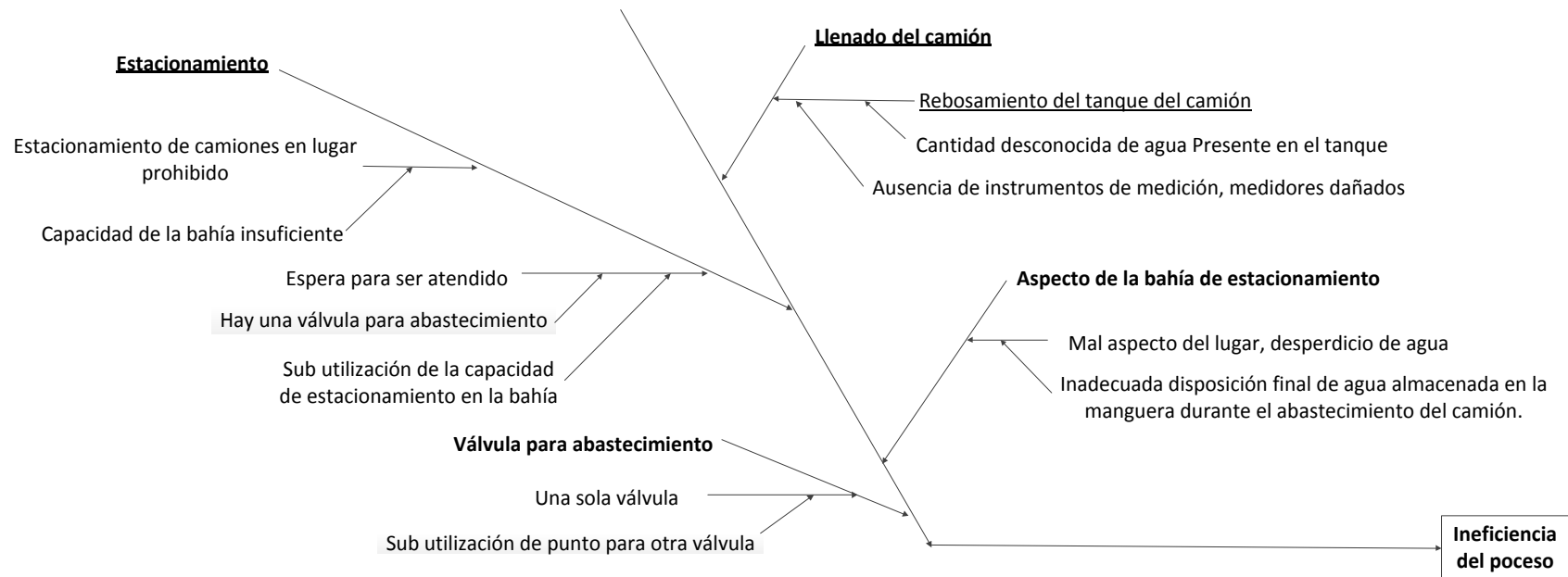
ANEXO E Diagrama causa efecto herramientas y equipo



Fuente: Autor

ANEXO F. Diagrama causa efecto abastecimiento de agua potable

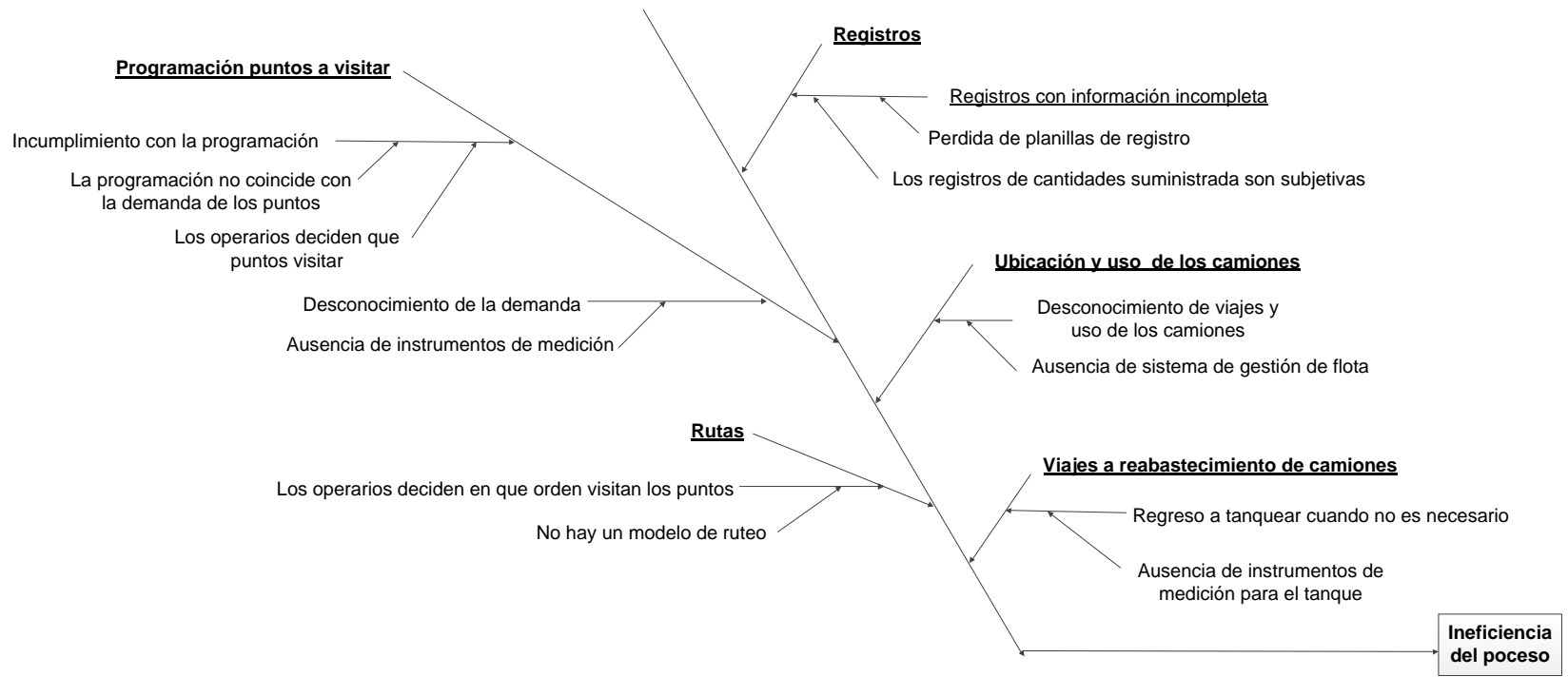
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE



Fuente: Autor

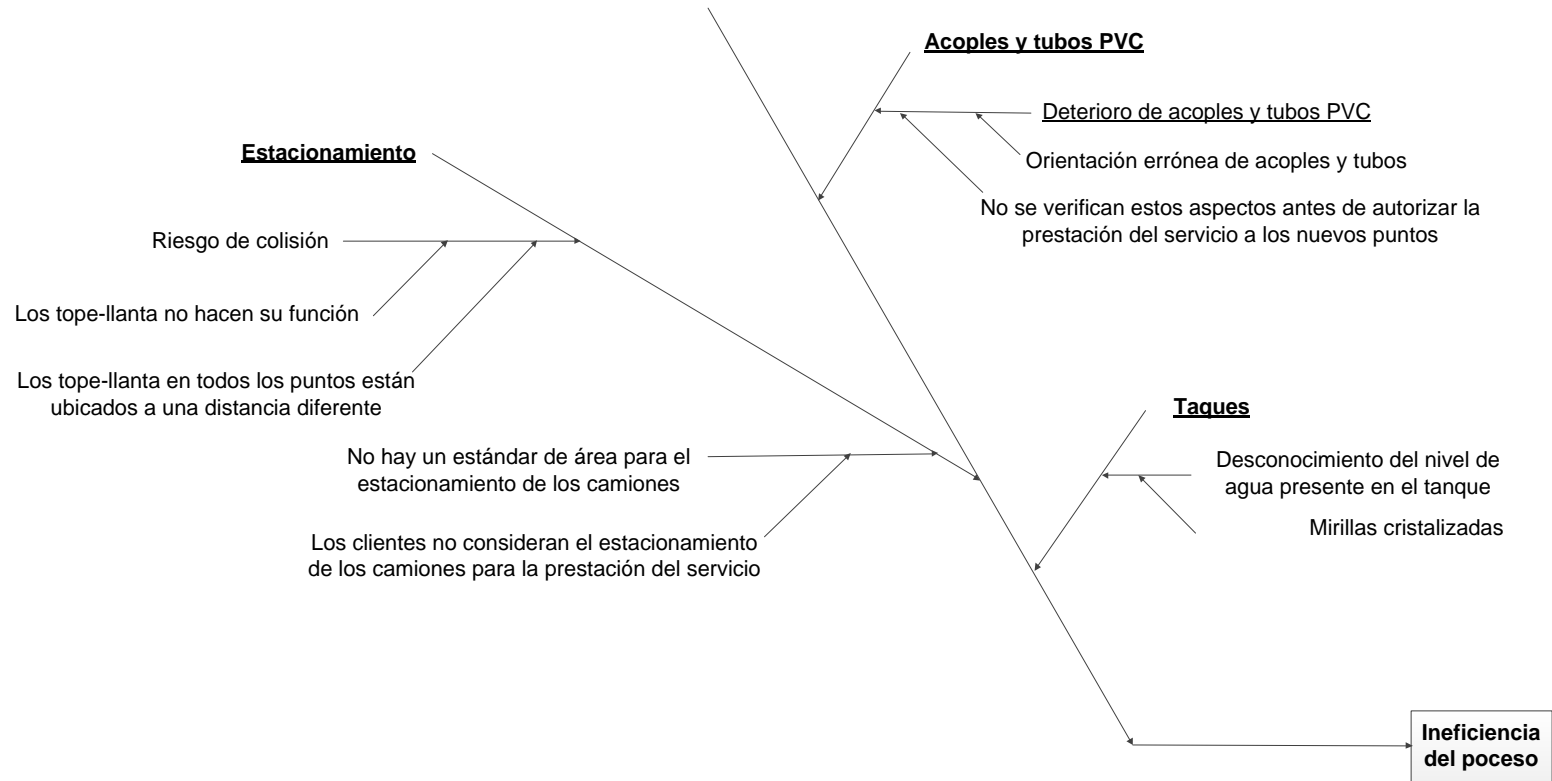
ANEXO G. Diagrama causa efecto transporte de agua potable

TRANSPORTE DE AGUA POTABLE



Fuente: Autor

ANEXO H. Diagrama causa efecto suministro de agua potable
SUMINISTRO DE AGUA POTABLE



Fuente: Autor

ANEXO I. Eventos y tiempo de espera para abastecimiento de camiones

Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
1	76-123	130	1668	119	1917	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1917	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	3843	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	5095	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						1917
2	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-123	130	1668	119	1917	837	
	76-143	135	1668	123	1926	2754	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	4680	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						3591
3	76-143	135	1668	123	1926	0	
	76-123	130	1668	119	1917	1926	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	3843	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	5095	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						1926
4	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1252	
	76-143	135	1668	123	1926	2089	
	76-123	130	1668	119	1917	4015	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						6104
5	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1917	
	76-143	135	1668	123	1926	3169	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	5095	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						3169
6	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1917	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	3169	
	76-143	135	1668	123	1926	4006	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						4006
7	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1917	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	2754	
	76-143	135	1668	123	1926	4006	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						4006
8	76-123	130	1668	119	1917	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1917	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	3843	

Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
	Azul Ejército	140	984	128	1252	4680	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						1917
9	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1917	
	76-143	135	1668	123	1926	2754	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	4680	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						2754
10	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-123	130	1668	119	1917	837	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	2754	
	76-143	135	1668	123	1926	4006	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						4843
11	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	837	
	76-143	135	1668	123	1926	2089	
	76-123	130	1668	119	1917	4015	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						6104
12	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-143	135	1668	123	1926	837	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	2763	
	76-123	130	1668	119	1917	4015	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						4852
13	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-143	135	1668	123	1926	837	
	76-123	130	1668	119	1917	2763	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	4680	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						3600
14	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	837	
	76-123	130	1668	119	1917	2089	
	76-143	135	1668	123	1926	4006	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						6095
15	76-143	135	1668	123	1926	0	
	76-123	130	1668	119	1917	1926	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	3843	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	4680	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón						1926
16	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1926	

Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
	76-123	130	1668	119	1917	2763	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	4680	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					2763	2763
17	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1926	
	76-123	130	1668	119	1917	3178	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	5095	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					3178	3178
18	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1926	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	3178	
	76-123	130	1668	119	1917	4015	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					4015	4015
19	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1926	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	2763	
	76-123	130	1668	119	1917	4015	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					4015	4015
20	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-123	130	1668	119	1917	1252	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	3169	
	76-143	135	1668	123	1926	4006	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					5258	5258
21	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1252	
	76-123	130	1668	119	1917	3178	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	5095	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					4430	4430
22	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1252	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	3178	
	76-123	130	1668	119	1917	4015	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					5267	5267
23	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1252	
	76-123	130	1668	119	1917	2089	
	76-143	135	1668	123	1926	4006	
	Total tiempo de espera camiones Cerrejón					6095	6095
24	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	

Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
	76-123	130	1668	119	1917	1252	
	76-143	135	1668	123	1926	3169	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	5095	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						4421

Fuente: Autor

ANEXO J. Eventos y tiempo de espera para abastecimiento de camiones en caso de implementar alternativa 1

Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
1	76-123	130	1668	119	1917	0	
	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1917	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1926	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						0
2	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-123	130	1668	119	1917	0	
	76-143	135	1668	123	1926	837	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1917	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						837
3	76-143	135	1668	123	1926	0	
	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1926	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1917	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						0
4	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1252	
	76-123	130	1668	119	1917	837	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						2089
5	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1917	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1252	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						1917
6	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1917	

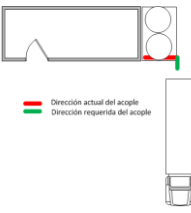

Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
	76-143	135	1668	123	1926	1252	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						1252
7	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1917	
	76-143	135	1668	123	1926	837	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						837
8	76-123	130	1668	119	1917	0	
	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1917	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1926	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						0
9	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1917	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	837	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						1917
10	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	837	
	76-143	135	1668	123	1926	1917	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						1917
11	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-143	135	1668	123	1926	837	
	76-123	130	1668	119	1917	1252	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						2089
12	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	837	
	76-123	130	1668	119	1917	1926	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						1926
13	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-143	135	1668	123	1926	0	
	76-123	130	1668	119	1917	837	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1926	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						837
14	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	

Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
	76-123	130	1668	119	1917	837	
	76-143	135	1668	123	1926	1252	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					2089	2089
15	76-143	135	1668	123	1926	0	
	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1926	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1917	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					0	0
16	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-123	130	1668	119	1917	1926	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	837	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					1926	1926
17	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-123	130	1668	119	1917	1926	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1252	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					1926	1926
18	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1926	
	76-123	130	1668	119	1917	1252	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					1252	1252
19	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	Azul Ejército	140	984	128	1252	1926	
	76-123	130	1668	119	1917	837	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					837	837
20	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-123	130	1668	119	1917	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1252	
	76-143	135	1668	123	1926	1917	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					1917	1917
21	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-143	135	1668	123	1926	0	
	76-123	130	1668	119	1917	1252	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1926	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón					1252	1252
22	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	

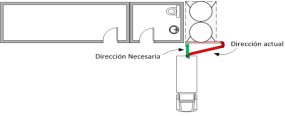
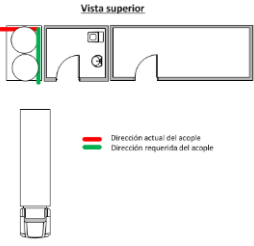
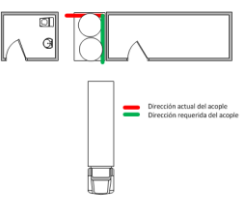
Evento	Camión	Tiempo de estacionamiento y alistamiento (s)	Tiempo de abastecimiento (s)	Tiempo de alistamiento y salida de la bahía (s)	Tiempo total en bahía (s)	Tiempo de espera fuera de la bahía de abastecimiento (s)	Tiempo de espera camiones cerrejón (min)
	76-143	135	1668	123	1926	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1252	
	76-123	130	1668	119	1917	1926	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						1926
23	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	0	
	76-123	130	1668	119	1917	1252	
	76-143	135	1668	123	1926	837	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						2089
24	Azul Ejército	140	984	128	1252	0	
	76-123	130	1668	119	1917	0	
	76-143	135	1668	123	1926	1252	
	Blanco Ejército	140	574	123	837	1917	
	Total tiempo de espera camiones Cerejón						1252

Fuente: Autor

ANEXO K. Inventario de puntos para orientación de tubos (acoples) e instalación de tope llanta

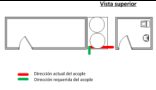

Área industrial					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Orientación sugerida de acople
Centro de fauna	Acceso estrecho	La maniobra es un poco justa requiere acomodar varias veces el camión	La orientación es adecuada	Se plantea instalación de tope llanta	
Línea cero.	El ingreso es estrecho cuando el camión inicia a retroceder	la maniobra de estacionamiento se realiza en espacio de equipo minero y se inicia a retroceder	la orientación y el estado de los acoples es adecuado	Se plantea instalación de tope llanta	
Supervisores línea cero	Acceso amplio	Cuenta con espacio suficiente para el giro del camión	Dirección errónea del acople, la orientación no está hacia el lugar donde se estaciona el camión.	El tope llanta se encuentra en buen estado a una distancia tal que evita una posible colisión entre el camión y la instalación.	<p>Vista superior</p> 
Pentágono. Punto Agua potable	El acceso es amplio	Hay espacio suficiente para el giro del camión	La dirección del acople no es la mejor, el tubo del punto de acople no está sujetado adecuadamente.	Se plantea instalación de tope llanta	


Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Cotorra vieja	Amplio	Hay espacio para estacionar adecuadamente el camión.	La orientación del acople es errada, está hacia el cubículo del baño.	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Herramienteria de palas norte	El acceso es estrecho.	La maniobra de parqueo se realiza lejos del punto de acople, desde donde se inicia la maniobra de estacionamiento, el recorrido es largo.	la orientación del acople es adecuada, el estado del acople es adecuado pero no cuenta con Tie Wrap para evitar posible manipulación del punto.	Se plantea instalación de tope llanta	
Isla portátil 3	Acceso amplio y diferente al de tránsito de equipo minero.	Espacio suficiente para maniobrar	La orientación del acople es adecuada	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Isla portátil 7	Acceso amplio y diferente al de tránsito de equipo minero.	Espacio suficiente para maniobrar	La orientación es adecuada	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	

Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Isla portátil 9	Acceso amplio y diferente al de tránsito de equipo minero.	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea del acople	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea 3	Amplio	Se debe a la orientación del acople, el camión debe acomodarse al sin seguir el protocolo de estacionamiento del lugar.	Orientación errada el camión debe adaptarse al acople, el estado del acople es bueno.	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea 4 y 10	El acceso es amplio	Permite la maniobra de estacionamiento	Orientación errada del acople, estado del acople bueno.	No hay, no es necesario debido a la manera en que se estaciona el camión.	

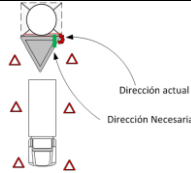
Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea 6	Amplio	La maniobra de estacionamiento se realiza en un lugar que no es apropiado, esto se resuelve cambiando la dirección del acople.	la orientación del acople es errónea, como está actualmente se requiere tener parte del área de estacionamiento libre para realizar el suministro.	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	<p>Vista superior</p> <p>— Dirección actual del acople — Dirección requerida del acople</p>
Línea 9	Amplio	La maniobra de estacionamiento se realiza de acuerdo a la orientación del acople.	La orientación del acople es errónea, está hacia el cubículo del baño.	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	<p>Vista superior</p> <p>— Dirección actual del acople — Dirección requerida del acople</p>
Línea NAM 2	El acceso es estrecho.	La entrada se hace por la vía de equipo minero.	Bien la dirección del acople,	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	<p>Vista superior</p> <p>— Dirección actual del acople — Dirección requerida del acople</p>
Línea sup. Manguitos	Amplio	No requiere maniobra de estacionamiento (guía en tierra).	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	<p>Vista superior</p> <p>— Dirección actual del acople — Dirección requerida del acople</p>

Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea supervisores cotorra	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	el acople está en dirección correcta	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea voladura 2	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	El acople está encerrado y en sentido perpendicular a la dirección en la que se estaciona el camión	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	<p>Vista superior</p>  <p> — Dirección actual del acople — Dirección requerida del acople </p>
Manguitos	Amplio	Se plantea afirmar el área de estacionamiento	Bien la dirección del acople,	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Nueva NAM 1	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Mina zona sur					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen

Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Isla portátil 1	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Isla portátil 2	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Isla portátil 4	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Se plantea instalación de tope llanta de acuerdo al estándar	
Isla portátil 6	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	En dirección errónea, apunta hacia el baño	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Isla portátil 8	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea 11	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	No hay, no se necesita por la manera en la que estaciona el camión	

Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea 15	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea 7 y 8	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Línea comuneros	el acceso es estrecho.	El espacio para estacionar es incómodo, no hay espacio suficiente para una maniobra adecuada	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea de cables	el acceso es estrecho.	Espacio estrecho para maniobrar	Bien la dirección del acople,	En buen estado y en lugar adecuado	
Línea k5	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	

Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Línea marquesote	el acceso es estrecho.	Se plantea reubicar el parqueadero de equipo liviano.	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea oreganal 1 y 2	el acceso es estrecho.	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea supervisores oreganal	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Línea supervisores patilla	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	
Manguitos 2	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	

Mina zona norte					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
Nueva garita P9	El acceso es estrecho.	Espacio suficiente para maniobrar	Dirección errónea, el acople está en sentido equivocado	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Talleres Oreganal	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Bien la dirección del acople,	No hay, no es necesario debido a que el estacionamiento no se realiza en reversa.	

Área externa					
Lugar	Acceso de los camiones	Área para maniobra de estacionamiento	Dirección de los acoples y estado de los mismos	Ubicación y estado de los tope llanta	Imagen
4 Vías de Maicao	Amplio aunque hay mucha presencia de peatones y vehículos	Espacio suficiente para maniobrar	Lo orientación de los acoples es adecuada	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	
Aeropuerto la mina	Amplio	Espacio suficiente para maniobrar	Orientación adecuada	Se plantea la instalación del tope llanta de acuerdo al estándar	

Fuente: Autor

ANEXO L. Procedimiento para obtener reporte de puntos visitados por cada uno de los camiones de agua potable.

Introducción

Los reportes e información de operación de los camiones empleados en el proceso de transporte y suministro de agua potable son de gran importancia como herramienta para la gestión administrativa y operativa.

Por lo tanto, contar con información precisa y oportuna hace de la herramienta de seguimiento satelital VDO una fuente de información confiable, y la convierten en uno de los insumos principales para el análisis del proceso.

Objetivo:

Dar a conocer los pasos para obtener los reportes de visitas a cada uno de los puntos de agua potable, mediante la plataforma virtual FMWEB con los datos recopilados por el equipo de seguimiento satelital VDO.

Alcance:

Obtener en archivo Excel la información de Nombre de los puntos visitados, fecha, vehículo, matrícula, localización, cantidad de visitas al punto, tipo de equipo que hace la visita (Agua potable), tiempo en localización.

Responsables:

Administrador del proceso, interventor

Definiciones:

FMWEB: Plataforma virtual para captura de datos de la flota de equipos de agua potable.

Etapas del procedimiento:

PASO A PASO
<u>Ingreso a la plataforma virtual</u>
<ol style="list-style-type: none">1. Ingresar a la página: http://www.fm-web.co.uk2. Dar click en el icono que se ilustra dentro del círculo rojo para activar la vista de compatibilidad la cual permite cargar todas las opciones de selección de los

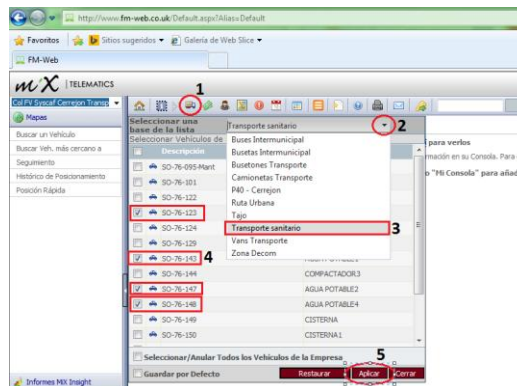
PASO A PASO

- reportes.
3. **Seleccionar idioma** para la navegación en la plataforma virtual.
 4. **Ingresar el userid y password**, los cuales deben ser creados previamente por el personal de la empresa SISCAF que son los administradores de la plataforma o a través de Carlos Peñuela analista de transporte terrestre de Cerrejón.
 5. Dar **click en entrar**
 6. Por seguridad se recomienda no habilitar la opción que permite recordar la contraseña, en caso de olvidar los datos personales de inicio se debe contactar al área de servicios generales de Cerrejón.



Selección de vehículos

1. Dar click en el **icono con forma de camión**
2. Dar click en la **pestaña de selección de flota**, se desprenden los nombres de algunas flotas de vehículos de Cerrejón.
3. Dar click en **Transporte Sanitario**.
4. **Seleccionar los camiones** de los cuales se requiere la información, para camiones de agua potable, los camiones 76-123, 76-143, 76-147 y 76-148.
5. Dar click en **aplicar**.

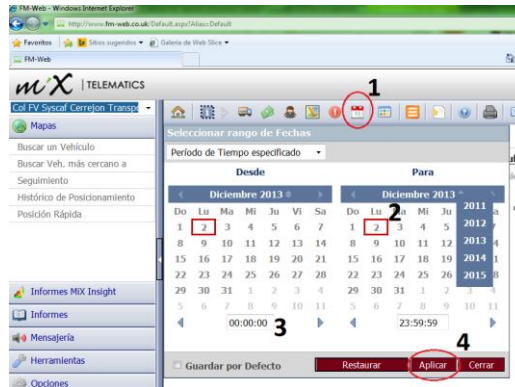


Selección de fecha para reporte

1. Dar click en el **icono con forma de calendario**
2. **Seleccionar fecha de inicio y fin** del reporte (el rango de fecha no puede ser mayor

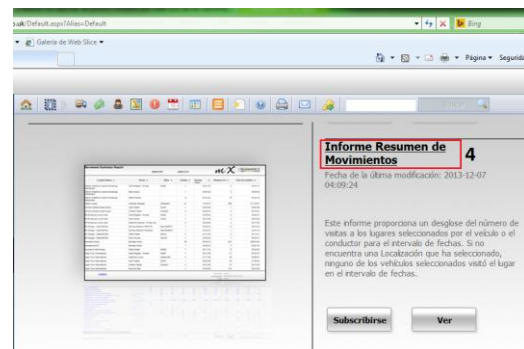
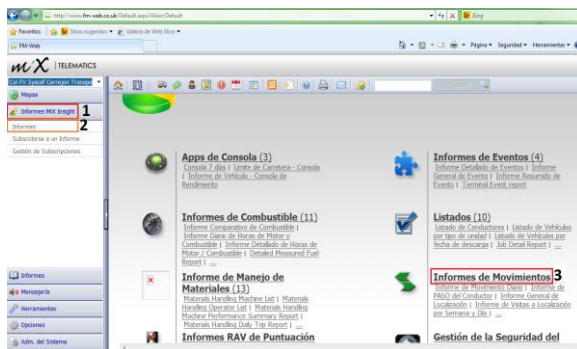
PASO A PASO

- a 3 días para algunos reportes).
3. Se puede seleccionar la hora inicial y final en la cual se quiere obtener el reporte, sin embargo, por defecto ya contempla el rango de 00:00:00 horas a 23:59:59 horas, por lo que se recomienda no modificar este parámetro.
 4. Dar click en **aplicar**.



Selección de reporte para consulta

1. Dar click en **informes mix insight**, allí se desprende una serie de reportes.
2. Dar click en **informes**.
3. Dar click en **informes de movimientos**.
4. Se despliega una serie de reportes, dar click en informe resumen de movimientos.



Reporte de visitas a cada lugar

1. Una vez definidos los parámetros de vehículos y fecha se obtiene el reporte de visitas a cada uno de los lugares, sin embargo para hacer un mejor análisis de datos se recomienda descargarlo en un archivo Excel.

PASO A PASO

Informe de	Vehículo	Grupo de Informes	Current Selection
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Carretera	00:21:22
SO-76-123	AGUA POTABLE	Bañita planta de agua	00:03:50
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Bañita planta de agua	00:00:36
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Patio de Servicios	00:05:23
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Botiquin de los Batanes	00:19:07
SO-76-123	AGUA POTABLE	Escuela Leona y Liceo de Ciencias de La Unión	00:00:33
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Taller de Tallado	00:00:31
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Linea 3	00:08:14
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Taller de Tallado	00:07:22
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Linea 3	00:14:53
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Carretera	00:00:07
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Escuela Leona y Liceo de Ciencias de La Unión	00:00:41
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Alta Tension	00:03:02

Reporte de visitas a cada lugar en formato Excel

1. Dar click en el icono con forma de disquete y seleccionar la opción Excel.
2. El programa genera la opción de abrir o guardar el informe en formato Excel.
3. Seleccionar abrir el reporte en formato Excel.

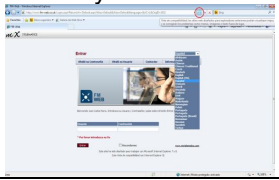
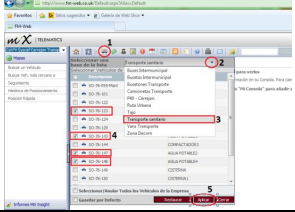
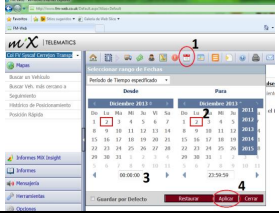
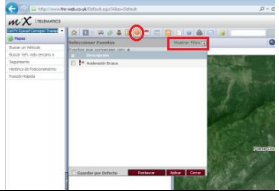
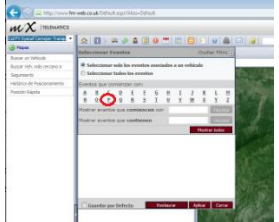
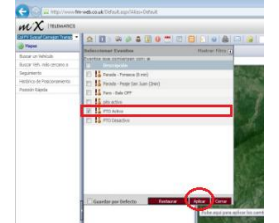
1

2

3

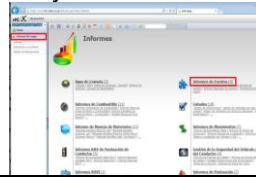
Vehículo	Matricula	Localización	Visitas	Localización	Visitas	Tempo en minutos	Tempo de Condicionamiento	Distancia (Km)	Vel. Medio (km/h)
SO-76-123	AGUA POTABLE	4 Vías de Mexico	3	00:19:48	00:19:11	15,10	49,63		
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Early Star	8	00:32:31	00:11:38	2,90	14,94		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Campanero	2	00:00:34	00:10:37	10,20	39,19		
SO-76-123	AGUA POTABLE	Panqueño LA	4	00:08:58	00:16:51	13,80	43,93		
SO-76-123	AGUA POTABLE	Acceso Norte PI	4	00:02:21	00:20:38	18,80	41,99		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Área de Servicios	1	00:02:37	00:01:58	0,40	10,08		
SO-76-143	AGUA POTABLE1	PCB Control de	2	00:00:29	00:01:00	0,90	0,90		
SO-76-123	AGUA POTABLE	Prep Vie Privada	1	00:13:48	00:11:58	9,60	49,63		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Campanero La	1	00:13:34	00:00:23	0,90	0,90		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Taller Equis	1	00:19:42	00:01:40	0,90	13,43		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Campanero La	1	00:13:34	00:00:23	0,90	0,90		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Estacion	9	01:09:22	00:30:23	30,60	34,90		
SO-76-123	AGUA POTABLE	Estacion	2	00:14:53	00:03:56	2,80	44,24		
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Estacion	2	00:00:30	00:07:02	4,40	37,54		
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Una partera	2	00:34:54	00:21:08	13,80	39,19		
SO-76-143	AGUA POTABLE1	Guerra PE	1	00:00:03	00:01:50	0,90	3,76		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Linea 12	2	00:13:42	00:03:56	1,90	19,35		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Linea 3	1	00:08:44	00:07:50	5,10	39,06		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Linea 14	3	00:00:00	00:11:40	0,40	32,91		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Una Partera	1	00:00:00	00:10:27	0,30	39,91		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Mariposa	1	00:00:28	00:07:08	3,60	32,11		
SO-76-148	AGUA POTABLE4	Linea 4 y 15	3	00:13:35	00:21:48	3,10	8,68		

ANEXO M. Paso a paso obtención reporte de tiempos de suministro.

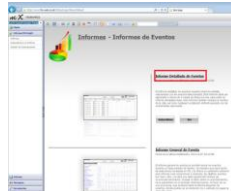
Paso a paso	
1. Ingreso a la plataforma FMWEB, selección de idioma, habilitar vista compatible, ingreso de usuario y contraseña	
2. Seleccionar inicialmente la plataforma de transporte sanitario, luego los camiones de agua potable y por último dar click en aplicar.	
3. Seleccionar la fecha de inicio y fin en las cuales se quiere obtener el reporte de activación de PTO y por ultimo dar click en aplicar.	
4. Para seleccionar el evento PTO activo, se debe dar click en el icono de admiración, luego en la pestaña mostrar filtro.	
5. Seleccionar la letra P	
6. Seleccionar el evento PTO activo y dar click en aceptar	

Paso a paso

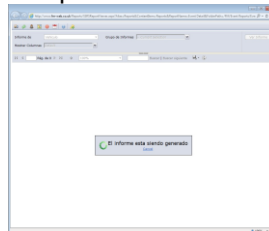
7. Luego dar click en informes y seleccionar informes de eventos



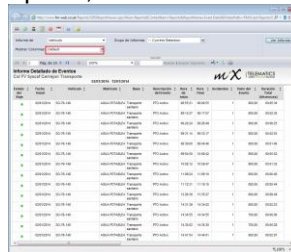
8. Seleccionar el Informe detallado de eventos



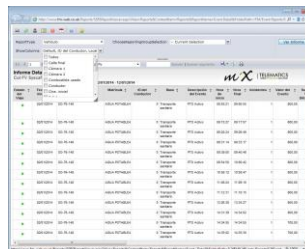
9. Se inicia a cargar el reporte preliminar del evento PTO activo



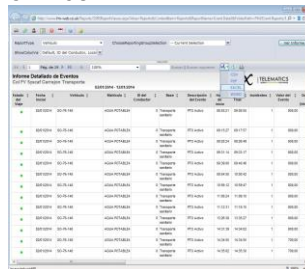
10. Una vez se obtiene el reporte, se debe dar click en seleccionar columnas



11. Allí se despliega una lista, se debe seleccionar la opción de conductor, lugar inicial y lugar final.

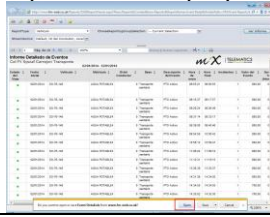


12. Una vez realizado lo anterior, el reporte se genera de nuevo y ya es posible guardarlo como archivo Excel



Paso a paso

13. La plataforma FMWEB genera tres opciones con el archivo Excel solicitado, abrir, guardar o cancelar, para nuestro propósito se debe dar click en abrir



14. En la opción mapas es posible ver todos los lugares donde se activó el PTO para el suministro de agua potable, de una manera gráfica se puede validar si era un punto autorizado o no



Anexo N. Herramienta de programación y control diario de los puntos a visitar

El software se entrega en CD adicional

Anexo O. Listado de puntos a visitar Abril 11 de2014

#	PUNTOS DE VISITA (CLIENTES)	AREA
1	4 Vías De Maicao	EX
4	Aeropuerto La Mina	EX
12	CAE Patilla	MS
14	Cambiadero Oreganal	MS
15	Cambiadero Patilla	MS
16	Cambiadero Tabaco	MN
22	ENSABLE DE PALAS NORTE	MN
23	Equipo Soporte. Punto Agua Potable.	AI
25	Garita Peaje Vía Privada.	EX
26	Herramienteria de Palas Norte	MN
27	Isla portátil 1	MS
28	Isla Portátil 2	MS
30	Isla portátil 4	MS
34	Isla Portátil 8.	MS
37	Land farming	AI
39	Línea 12	MN
41	línea 15	MS
47	Línea 9	MN
49	Línea comuneros	MS
51	Línea k5	MS
52	Línea Marquezote	MS
53	Línea NAM 2	MN
59	Línea Voladura 2	MN
60	Manguitos 2	MS
64	Patio de Geología.	AI
67	Peaje Vía Privada	EX
70	Compostera	AI
72	Taller de Palas.	AI
74	Talleres Oreganal	MS
76	Relleno de Escombros.	AI
77	Relleno sanitario	AI
79	Báscula R Sanitario	AI
86	Línea comuneros 2 AP	MS
87	Línea Marquezote 2	MS
90	Manguitos oficina mujeres	MN

Fuente: Autor

Anexo P Ruta construida evaluando un solo vecino más cercano ejemplo Abril 11 de 2014

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	tiempo	tiempo acumulado
91	PRIN	Bahía planta de agua	1		18000	0,02045139	0,02045139
64	AI	Patio de Geología.	1	1	16805,2155	0,07523796	0,09568935
23	AI	Equipo Soporte. Punto Agua Potable.	1	2	13708,0877	0,02534259	0,12103194
72	AI	Taller de Palas.	1	3	11028,4704	0,01625	0,13728194
77	AI	Relleno sanitario	1	4	10658,1779	0,15196019	0,28924213
79	AI	Báscula R Sanitario	1	5	9484,42963	0,00199074	0,29123287
70	AI	Compostera	1	6	8223,61195	0,00704861	0,29828148
76	AI	Relleno de Escombros.	1	7	6869,2604	0,01592824	0,31420972
37	AI	Land farming	1	8	6272,98264	0,02402546	0,33823519
60	MS	Manguitos 2	1	9	3717,62363	0,27574769	0,61398287
27	MS	Isla portátil 1	1	10	3099,88392	0,0807963	0,69477917
12	MS	CAE Patilla	1	11	1975,83518	0,06459352	0,75937269
51	MS	Línea k5	1	12	367,383633	0,09292546	0,85229815
91	PRIN	Bahía planta de agua	2		18000	0,63255139	1,48484954
59	MN	Línea Voladura 2	2	1	13325,6891	0,36100231	1,84585185
26	MN	Herreramenta de Palas Norte	2	2	10579,502	0,0217037	1,86755556
39	MN	Línea 12	2	3	9255,83236	0,00590694	1,8734625
90	MN	Manguitos oficina mujeres	2	4	8755,83236	0,16403333	2,03749583
47	MN	Línea 9	2	5	7270,25417	0,09817315	2,13566898
22	MN	ENSABLE DE PALAS NORTE	2	6	6572,30913	0,38033056	2,51599954
53	MN	Línea NAM 2	2	7	3208,4434	0,37688426	2,8928838
25	EX	Garita Peaje Vía Privada.	2	8	2696,90217	0,75538194	3,64826574
4	EX	Aeropuerto La Mina	2	9	1016,40841	0,47736806	4,1256338
91	PRIN	Bahía planta de agua	3		18000	0,87045139	4,99608519

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	tiempo	tiempo acumulado
16	MN	Cambiadero Tabaco	3	1	2855,3291	0,42938704	5,42547222
30	MS	Isla portátil 4	3	2	1660,53938	0,85993333	6,28540556
91	PRIN	Bahía planta de agua	4		18000	0,64245139	6,92785694
15	MS	Cambiadero Patilla	4	1	10193,7902	0,55319074	7,48104769
74	MS	Talleres Oreganal	4	2	5724,86184	0,1714787	7,65252639
28	MS	Isla Portátil 2	4	3	4296,99248	0,04300231	7,6955287
41	MS	línea 15	4	4	3151,22166	0,03469907	7,73022778
52	MS	Línea Marquezote	4	5	370,912734	0,16202546	7,89225324
91	PRIN	Bahía planta de agua	5		18000	0,82311806	8,7153713
14	MS	Cambiadero Oreganal	5	1	2883,66556	0,55365741	9,2690287
49	MS	Línea comuneros	5	2	2034,44157	0,18448148	9,45351019
91	PRIN	Bahía planta de agua	6		18000	0,72941806	10,1829282
86	MS	Línea comuneros 2 AP	6	1	15419,7577	0,71552685	10,8984551
87	MS	Línea Marquezote 2	6	2	12890,9746	0,32430324	11,2227583
34	MS	Isla Portátil 8.	6	3	11921,1446	0,01537731	11,2381356
67	EX	Peaje Vía Privada	6	4	8468,5022	1,82695463	13,0650903
1	EX	4 Vías De Maicao	6	5	5521,72789	0,5331713	13,5982616
91	PRIN	Bahía planta de agua			5521,72789	0	13,5982616

Fuente: Autor

Anexo Q Ruteo considerando todos los vecinos más cercanos

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	Tiempo	Tiempo Acumulado
91	PRIN	Bahía planta de agua	1		18000	0,02045139	0,02045139
64	AI	Patio de Geología.	1	1	16805,2155	0,07523796	0,09568935
23	AI	Equipo Soporte. Punto Agua Potable.	1	2	13708,0877	0,02534259	0,12103194
72	AI	Taller de Palas.	1	3	11028,4704	0,01625	0,13728194
77	AI	Relleno sanitario	1	4	10658,1779	0,15196019	0,28924213
79	AI	Báscula R Sanitario	1	5	9484,42963	0,00199074	0,29123287
70	AI	Compostera	1	6	8223,61195	0,00704861	0,29828148
76	AI	Relleno de Escombros.	1	7	6869,2604	0,01592824	0,31420972
37	AI	Land farming	1	8	6272,98264	0,02402546	0,33823519
60	MS	Manguitos 2	1	9	3717,62363	0,27574769	0,61398287
27	MS	Isla portátil 1	1	10	3099,88392	0,0807963	0,69477917
12	MS	CAE Patilla	1	11	1975,83518	0,06459352	0,75937269
91	PRIN	Bahía planta de agua	2		18000	0,55165139	1,31102407
59	MN	Línea Voladura 2	2	1	13325,6891	0,36100231	1,67202639
26	MN	Herramienteria de Palas Norte	2	2	10579,502	0,0217037	1,69373009
39	MN	Línea 12	2	3	9255,83236	0,00590694	1,69963704
91	PRIN	Bahía planta de agua	3		18000	0,43518472	2,13482176
53	MN	Línea NAM 2	3	1	14636,1343	0,37388426	2,50870602
91	PRIN	Bahía planta de agua	4		18000	0,39028472	2,89899074
25	EX	Garita Peaje Vía Privada.	4	1	17488,4588	0,38554861	3,28453935
4	EX	Aeropuerto La Mina	4	2	15807,965	0,47736806	3,76190741
67	EX	Peaje Vía Privada	4	3	12355,3226	0,2184213	3,9803287
1	EX	4 Vías De Maicao	4	4	9408,54826	0,5331713	4,5135
91	PRIN	Bahía planta de agua	5		18000	1,57945139	6,09295139
16	MN	Cambiadero Tabaco	5	1	2855,3291	0,42938704	6,52233843

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	Tiempo	Tiempo Acumulado
90	MN	Manguitos oficina mujeres	5	2	2355,3291	0,1503	6,67263843
47	MN	Línea 9	5	3	869,750909	0,09817315	6,77081157
22	MN	ENSABLE DE PALAS NORTE	5	4	171,805869	0,38033056	7,15114213
91	PRIN	Bahía planta de agua	6		18000	0,58678472	7,73792685
15	MS	Cambiadero Patilla	6	1	10193,7902	0,55319074	8,29111759
91	PRIN	Bahía planta de agua	7		18000	0,55831806	8,84943565
14	MS	Cambiadero Oreganal	7	1	2883,66556	0,55365741	9,40309306
51	MS	Línea k5	7	2	1275,21401	0,08669213	9,48978519
91	PRIN	Bahía planta de agua	8		18000	0,63255139	10,1223366
30	MS	Isla portátil 4	8	1	16805,2103	0,632	10,7543366
74	MS	Talleres Oreganal	8	2	12336,2819	0,3006787	11,0550153
28	MS	Isla Portátil 2	8	3	10908,4126	0,04300231	11,0980176
41	MS	línea 15	8	4	9762,64174	0,03469907	11,1327167
52	MS	Línea Marquezote	8	5	6982,33282	0,16202546	11,2947421
87	MS	Línea Marquezote 2	8	6	4453,54969	0,00363657	11,2983787
34	MS	Isla Portátil 8.	8	7	3483,71977	0,01537731	11,313756
49	MS	Línea comuneros	8	8	2634,49578	0,32834815	11,6421042
MS	MS	Línea comuneros 2 AP	8	8	54,2534722	0,00656019	11,6486644
PRIN	PRIN	Bahía planta de agua			54,2534722	0	11,6486644

Anexo R Ruteo considerando el inicio de la primera ruta por cada uno de los puntos a visitar y evaluando un solo vecino más cercano

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	Tiempo	Tiempo Acumulado
91	PRIN	Bahía planta de agua	1		18000	0,02045139	0,02045139
60	MS	Manguitos 2	1	1	15444,641	0,39408102	0,41453241
27	MS	Isla portátil 1	1	2	14826,9013	0,0807963	0,4953287
12	MS	CAE Patilla	1	3	13702,8525	0,06459352	0,55992222
15	MS	Cambiadero Patilla	1	4	5896,64274	0,02199074	0,58191296
51	MS	Línea k5	1	5	4288,1912	0,0862588	0,66817176
91	PRIN	Bahía planta de agua	2		18000	0,63255139	1,30072315
64	AI	Patio de Geología.	2	1	16805,2155	0,07523796	1,37596111
23	AI	Equipo Soporte. Punto Agua Potable.	2	2	13708,0877	0,02534259	1,4013037
72	AI	Taller de Palas.	2	3	11028,4704	0,01625	1,4175537
77	AI	Relleno sanitario	2	4	10658,1779	0,15196019	1,56951389
79	AI	Báscula R Sanitario	2	5	9484,42963	0,00199074	1,57150463
70	AI	Compostera	2	6	8223,61195	0,00704861	1,57855324
76	AI	Relleno de Escombros.	2	7	6869,2604	0,01592824	1,59448148
37	AI	Land farming	2	8	6272,98264	0,02402546	1,61850694
59	MN	Línea Voladura 2	2	9	1598,67176	0,41840231	2,03690926
39	MN	Línea 12	2	10	275,002164	0,02517361	2,06208287
91	PRIN	Bahía planta de agua	3		18000	0,43518472	2,49726759
53	MN	Línea NAM 2	3	1	14636,1343	0,37388426	2,87115185
26	MN	Herramienteria de Palas Norte	3	2	11889,9471	0,22253704	3,09368889
90	MN	Manguitos oficina mujeres	3	3	11389,9471	0,16496667	3,25865556
47	MN	Línea 9	3	4	9904,36892	0,09817315	3,3568287
22	MN	ENSABLE DE PALAS NORTE	3	5	9206,42388	0,38033056	3,73715926
25	EX	Garita Peaje Vía Privada.	3	6	8694,88265	0,95188194	4,6890412

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	Tiempo	Tiempo Acumulado
4	EX	Aeropuerto La Mina	3	7	7014,38889	0,47736806	5,16640926
67	EX	Peaje Vía Privada	3	8	3561,74645	0,2184213	5,38483056
1	EX	4 Vías De Maicao	3	9	614,972137	0,5331713	5,91800185
91	PRIN	Bahía planta de agua	4		18000	1,57945139	7,49745324
16	MN	Cambiadero Tabaco	4	1	2855,3291	0,42938704	7,92684028
30	MS	Isla portátil 4	4	2	1660,53938	0,85993333	8,78677361
91	PRIN	Bahía planta de agua	5		18000	0,64245139	9,429225
14	MS	Cambiadero Oreganal	5	1	2883,66556	0,55365741	9,98288241
28	MS	Isla Portátil 2	5	2	1455,79619	0,13333565	10,1162181
41	MS	línea 15	5	3	310,025374	0,03469907	10,1509171
91	PRIN	Bahía planta de agua	6		18000	0,77711806	10,9280352
74	MS	Talleres Oreganal	6	1	13531,0716	0,7026787	11,6307139
49	MS	Línea comuneros	6	2	12681,8477	0,11401481	11,7447287
86	MS	Línea comuneros 2 AP	6	3	10101,6053	0,00656019	11,7512889
52	MS	Línea Marquezote	6	4	7321,29642	0,3243588	12,0756477
87	MS	Línea Marquezote 2	6	5	4792,51329	0,00363657	12,0792843
34	MS	Isla Portátil 8.	6	6	3822,68337	0,01537731	12,0946616
91	PRIN	Bahía planta de agua			3822,68337	0	12,0946616

Anexo S Ruteo considerando todos los vecinos posibles e inicio de la primera ruta a partir de todos los puntos a visitar

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	Tiempo	Tiempo Acumulado
91	PRIN	Bahía planta de agua			18000	0,02045139	0,02045139
25	EX	Garita Peaje Vía Privada.	1	1	17488,4588	0,38554861	0,406
60	MS	Manguitos 2	1	2	14933,0998	0,38108102	0,78708102
27	MS	Isla portátil 1	1	3	14315,36	0,0807963	0,86787731
12	MS	CAE Patilla	1	4	13191,3113	0,06459352	0,93247083
15	MS	Cambiadero Patilla	1	5	5385,10151	0,02199074	0,95446157
91	PRIN	Bahía planta de agua	2		18000	0,55831806	1,51277963
64	AI	Patio de Geología.	2	1	16805,2155	0,07523796	1,58801759
23	AI	Equipo Soporte. Punto Agua Potable.	2	2	13708,0877	0,02534259	1,61336019
72	AI	Taller de Palas.	2	3	11028,4704	0,01625	1,62961019
77	AI	Relleno sanitario	2	4	10658,1779	0,15196019	1,78157037
79	AI	Báscula R Sanitario	2	5	9484,42963	0,00199074	1,78356111
70	AI	Compostera	2	6	8223,61195	0,00704861	1,79060972
76	AI	Relleno de Escombros.	2	7	6869,2604	0,01592824	1,80653796
37	AI	Land farming	2	8	6272,98264	0,02402546	1,83056343
59	MN	Línea Voladura 2	2	9	1598,67176	0,41840231	2,24896574
91	PRIN	Bahía planta de agua	3		18000	0,36778472	2,61675046
53	MN	Línea NAM 2	3	1	14636,1343	0,37388426	2,99063472
26	MN	Herramienteria de Palas Norte	3	2	11889,9471	0,22253704	3,21317176
39	MN	Línea 12	3	3	10566,2775	0,00590694	3,2190787
91	PRIN	Bahía planta de agua	4		18000	0,43518472	3,65426343
16	MN	Cambiadero Tabaco	4	1	2855,3291	0,42938704	4,08365046

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	Capacidad	Tiempo	Tiempo Acumulado
90	MN	Manguitos oficina mujeres	4	2	2355,3291	0,1503	4,23395046
47	MN	Línea 9	4	3	869,750909	0,09817315	4,33212361
22	MN	ENSABLE DE PALAS NORTE	4	4	171,805869	0,38033056	4,71245417
91	PRIN	Bahía planta de agua	5	2	18000	0,58678472	5,29923889
14	MS	Cambiadero Oreganal	5	1	2883,66556	0,55365741	5,8528963
51	MS	Línea k5	5	2	1275,21401	0,08669213	5,93958843
91	PRIN	Bahía planta de agua	6		18000	0,63255139	6,57213981
30	MS	Isla portátil 4	6	1	16805,2103	0,632	7,20413981
74	MS	Talleres Oreganal	6	2	12336,2819	0,3006787	7,50481852
28	MS	Isla Portátil 2	6	3	10908,4126	0,04300231	7,54782083
41	MS	línea 15	6	4	9762,64174	0,03469907	7,58251991
52	MS	Línea Marquezote	6	5	6982,33282	0,16202546	7,74454537
87	MS	Línea Marquezote 2	6	6	4453,54969	0,00363657	7,74818194
34	MS	Isla Portátil 8.	6	7	3483,71977	0,01537731	7,76355926
49	MS	Línea comuneros	6	8	2634,49578	0,32834815	8,09190741
86	MS	Línea comuneros 2 AP	6	9	54,2534722	0,00656019	8,09846759
91	PRIN	Bahía planta de agua	7		18000	0,72975139	8,82821898
4	EX	Aeropuerto La Mina	7	1	16319,5062	0,85670139	9,68492037
67	EX	Peaje Vía Privada	7	2	12866,8638	0,2184213	9,90334167
1	EX	4 Vías De Maicao	7	3	9920,08949	0,5331713	10,436513
PRIN	PRIN	Bahía planta de agua			9920,08949	0	10,436513

Anexo T Ruteo obtenido aplicando búsqueda tabú

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	capacidad	tiempo	tiempo acumulado
91	PRIN	Bahía planta de agua	1		0,00	0,02	0,02045139
25	EX	Garita Peaje Vía Privada.	1	1	511,541231	0,38554861	0,406
60	MS	Manguitos 2	1	2	2555,35901	0,38108102	0,78708102
27	MS	Isla portátil 1	1	3	617,739712	0,0807963	0,86787731
12	MS	CAE Patilla	1	4	1124,04874	0,06459352	0,93247083
15	MS	Cambiadero Patilla	1	5	7806,2098	0,02199074	0,95446157
91	PRIN	Bahía planta de agua	2		0	0,55831806	1,51277963
64	AI	Patio de Geología.	2	1	1194,78451	0,07523796	1,58801759
23	AI	Equipo Soporte. Punto Agua Potable.	2	2	3097,12781	0,02534259	1,61336019
72	AI	Taller de Palas.	2	3	2679,61727	0,01625	1,62961019
59	MN	Línea Voladura 2	2	4	4674,31088	0,31873565	1,94834583
76	AI	Relleno de Escombros.	2	5	1354,35155	0,40166157	2,35000741
79	AI	Báscula R Sanitario	2	6	1173,74829	0,00832407	2,35833148
37	AI	Land farming	2	7	596,277758	0,01602546	2,37435694
70	AI	Compostera	2	8	1260,81768	0,02271528	2,39707222
77	AI	Relleno sanitario	2	9	370,292483	0,00456019	2,40163241
91	PRIN	Bahía planta de agua	3		0	0,20545139	2,6070838
26	MN	Herramienteria de Palas Norte	3	1	2746,18717	0,41603704	3,02312083
39	MN	Línea 12	3	2	1323,6696	0,00590694	3,02902778
53	MN	Línea NAM 2	3	3	3363,86572	0,22528426	3,25431204
91	PRIN	Bahía planta de agua	4		0	0,39028472	3,64459676
16	MN	Cambiadero Tabaco	4	1	15144,6709	0,42938704	4,0739838
22	MN	ENSABLE DE PALAS NORTE	4	2	697,94504	0,15826389	4,23224769
47	MN	Línea 9	4	3	1485,57819	0,38167315	4,61392083

Id Punto	Zona	Lugar	Ruta	Orden de visita	capacidad	tiempo	tiempo acumulado
90	MN	Manguitos oficina mujeres	4	4	500	0,10356667	4,7174875
91	PRIN	Bahía planta de agua	5		0	0,55775139	5,27523889
14	MS	Cambiadero Oreganal	5	1	15116,3344	0,55365741	5,8288963
51	MS	Línea k5	5	2	1608,45155	0,08669213	5,91558843
91	PRIN	Bahía planta de agua	6		0	0,63255139	6,54813981
30	MS	Isla portátil 4	6	1	1194,78972	0,632	7,18013981
74	MS	Talleres Oreganal	6	2	4468,92836	0,3006787	7,48081852
41	MS	línea 15	6	3	1145,77082	0,07303241	7,55385093
34	MS	Isla Portátil 8.	6	4	969,829921	0,16471065	7,71856157
52	MS	Línea Marquezote	6	5	2780,30893	0,01369213	7,7322537
87	MS	Línea Marquezote 2	6	6	2528,78313	0,00363657	7,73589028
28	MS	Isla Portátil 2	6	7	1427,86936	0,17750231	7,91339259
49	MS	Línea comuneros	6	8	849,223988	0,15334815	8,06674074
86	MS	Línea comuneros 2 AP	6	9	2580,24231	0,00656019	8,07330093
91	PRIN	Bahía planta de agua	7		0	0,72975139	8,80305231
4	EX	Aeropuerto La Mina	7	1	1680,49376	0,85670139	9,6597537
67	EX	Peaje Vía Privada	7	2	3452,64244	0,2184213	9,878175
1	EX	4 Vías De Maicao	7	3	2946,77431	0,5331713	10,4113463
91	PRIN	Bahía planta de agua			0	0	10,4113463

Anexo U Herramienta de ruteo de vehículos (Matriz-origen destinos)

El software se entrega en CD adicional

Anexo V Código resultante proceso de experimentación

```
For maxintentos = 1 To LsuperiorMaxintentos
```

```
  toptimo = 1E+16
```

```
  For pinicial = 1 To Lsuperiorpinicial
```

```
    For camino = 1 To 1000
```

```
      If camino = 1 Then
```

```
        Ccamion = 18000
```

```
        t = 0
```

```
        Tt = 0
```

```
        Tta = 0
```

```
        Mr(camino, 1, pinicial, maxintentos) = puntos(cont - 1, 1)
```

```
        Mr(camino, 2, pinicial, maxintentos) = Ccamion
```

```
        Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos) = puntos(cont - 1, 3)
```

```
        Tt = Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos)
```

```
        Tta = Tta + Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos)
```

```
        Mr(camino, 4, pinicial, maxintentos) = Tt
```

```
        puntos(cont - 1, 4) = 0
```

```
        tamano = 1
```

```
      Else
```

```
        If camino = 2 Then
```

```
          punto = p(CInt(Mi(pinicial, 1)))
```

```
          Mr(camino, 1, pinicial, maxintentos) = Mi(pinicial, 1)
```

```
          Mr(camino, 2, pinicial, maxintentos) = Ccamion - puntos(punto, 2)
```

```
          Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos) = puntos(punto, 3) + Mi(pinicial, 2)
```

Tt = Mr(camino - 1, 4, pinicial, maxintentos) + Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos)

Tta = Tta + Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos)

Mr(camino, 4, pinicial, maxintentos) = Tt

puntos(punto, 4) = 0

tamano = 2

Else

panterior = p(CInt(Mr(camino - 1, 1, pinicial, maxintentos)))

a = 1E+16

psiguiente = Empty

intentos = 0

Ttb = Tta

While (intentos < maxintentos)

For i = 1 To cont - 2

If puntos(i, 4) = 0 Then

Else

Dim pmt As Variant

ant = p(CInt(Mr(camino - 1, 1, pinicial, maxintentos)))

sig = p(CInt(puntos(i, 1)))

pmt = Mt(ant, sig)

If pmt < a Then

cap = puntos(i, 2)

capant = Mr(camino - 1, 2, pinicial, maxintentos)

tiemposig = Ttb + Mt(panterior, i) + puntos(i, 3)

If cap < capant And tiemposig < turno Then

a = pmt

```

        psiguiente = puntos(i, 1)
        punto = p(CInt(psiguiente))
        Tta = Ttb
    Else
        If tiemposig > turno Then
            Tta = 0
            punto = cont - 1
            psiguiente = cont - 1
        Else
            Tta = Ttb
            punto = cont - 1
            psiguiente = cont - 1
        End If
    End If
End If
End If
End If
Next i
intentos = intentos + 1
Wend
If psiguiente = Empty Then
    panterior = Mr(camino - 1, 1, pinicial, maxintentos)
    Mr(camino, 1, pinicial, maxintentos) = puntos(cont - 1, 1)
    Mr(camino, 2, pinicial, maxintentos) = Mr(camino - 1, 2, pinicial, maxintentos)
    Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos) = Mt(p(panterior), p(cont - 1))
    Tt = Mr(camino - 1, 4, pinicial, maxintentos) + Mr(camino, 3, pinicial,
maxintentos)

```

Tta = Tta + Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos)

Mr(camino, 4, pinicial, maxintentos) = Tt

tamano = tamano + 1

GoTo fincamino2

Else

If puntos(punto, 2) > Mr(camino - 1, 2, pinicial, maxintentos) Or punto = cont - 1

Then

panterior = p(CInt(Mr(camino - 1, 1, pinicial, maxintentos)))

psiguiente = puntos(cont - 1, 2)

Mr(camino, 1, pinicial, maxintentos) = puntos(cont - 1, 1)

Mr(camino, 2, pinicial, maxintentos) = Ccamion

recorrido = Mt(panterior, punto)

Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos) = puntos(cont - 1, 3) + recorrido

Tt = Mr(camino - 1, 4, pinicial, maxintentos) + Mr(camino, 3, pinicial,
maxintentos)

Tta = 0

Mr(camino, 4, pinicial, maxintentos) = Tt

puntos(punto, 4) = 1

tamano = tamano + 1

Else

panterior = p(CInt(Mr(camino - 1, 1, pinicial, maxintentos)))

Mr(camino, 1, pinicial, maxintentos) = puntos(punto, 1)

Mr(camino, 2, pinicial, maxintentos) = Mr(camino - 1, 2, pinicial, maxintentos)
- puntos(punto, 2)

recorrido = Mt(panterior, punto)

Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos) = puntos(punto, 3) + recorrido

Tt = Mr(camino - 1, 4, pinicial, maxintentos) + Mr(camino, 3, pinicial,
maxintentos)

Tta = Tta + Mr(camino, 3, pinicial, maxintentos)

Mr(camino, 4, pinicial, maxintentos) = Tt

puntos(punto, 4) = 0

tamano = tamano + 1

End If

End If

End If

End If

Next camino

fincamino2:

If Tt < toptimo Then

optimoi = pinicial

toptimo = Tt

coptimo = camino

End If

reiniciar

Next pinicial

If Mr(coptimo, 4, optimoi, maxintentos) <= roptimo Then

optimom = maxintentos

roptimo = Mr(coptimo, 4, optimoi, maxintentos)

End If

Next maxintentos

Anexo W Código resultante búsqueda tabú

a = 0 'Ubica los puntos de los regresos

c = 0 'Ubicación en el vector

pvis = 0

cregresos = Workbooks(libro).Sheets(pest4).Cells(1, 8).Value

memorias = ThisWorkbook.Sheets(pest2).Cells(4, 31).Value

numiteracion = ThisWorkbook.Sheets(pest2).Cells(4, 33).Value

ReDim vregresos(cregresos + 1, 2)

Dim Voptimo() As Variant

For i = 1 To coptimo

 c = c + 1

 If Mr(i, 1, optimoi, optimom) = puntos(cont - 1, 1) Then

 a = a + 1

 vregresos(a, 1) = c

 vregresos(a, 2) = pvis

 pvis = 0

 Else

 pvis = pvis + 1

 End If

Next i

For j = 2 To cregresos + 1

 tpuntos = vregresos(j, 2) + 2 'Total de puntos visitados en la semilla + 2 puntos de bahía

 Total = tpuntos * ((tpuntos - 1) / 2) - (tpuntos - 1) * 2 + 1 'Combinaciones posibles

```

If memorias >= Total Then 'Regular las memorias
memorias = Total - 1
End If

ReDim Voptimo(tpuntos + 5) As Variant

    For iteracion = 1 To numiteracion 'Realiza la cantidad de iteraciones seleccionadas

        If iteracion = 1 Then 'Se inicializa el vector optimo y el semilla

            ReDim MRecSem(Total, tpuntos + 5) As Variant

            ind = 0

            For l1 = 1 To tpuntos 'Define todas las combinaciones de numeros descontando las
dos bahías

                For l2 = 1 To tpuntos

                    If l2 > l1 And l1 <> 1 And l1 <> tpuntos And l2 <> 1 And l2 <> tpuntos Then

                        ind = ind + 1

                        MRecSem(ind, 1) = l1

                        MRecSem(ind, 2) = l2

                        MRecSem(ind, 4) = 0

                        Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(ind + 1, 1).Value = ind

                        Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(ind + 1, 2).Value = l1

                        Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(ind + 1, 3).Value = l2

                        Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(ind + 1, 5).Value = MRecSem(ind, 4)

                    End If

                Next l2

            Next l1

            pp = Mr(vregresos(j - 1, 1), 3, optimoi, optimom)

            MRecSem(0, 5) = pp

```

```

For M = 2 To tpuntos 'Inicia la semilla 0 y el vector optimo
    pant = Mr(vregresos(j - 1, 1) + M - 2, 1, optimoi, optimom)
    psig = Mr(vregresos(j - 1, 1) + M - 1, 1, optimoi, optimom)
    Voptimo(M + 4) = pant
    Voptimo(M + 5) = psig
    MRecSem(0, M + 4) = pant
    MRecSem(0, M + 5) = psig
    pp = puntos(p(CInt(psig)), 3)
    If j = cregresos + 1 And M = tpuntos Then
        recorrido = Mt(p(CInt(pant)), p(CInt(psig)))
        MRecSem(0, 5) = MRecSem(0, 5) + recorrido
    Else
        recorrido = Mt(p(CInt(pant)), p(CInt(psig))) + pp
        MRecSem(0, 5) = MRecSem(0, 5) + recorrido
    End If
    Voptimo(5) = MRecSem(0, 5)
    Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(1, M + 4 + 1).Value = pant
    Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(1, M + 5 + 1).Value = psig
    Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(1, 6).Value = MRecSem(0, 5)
Next M

End If

For fil = 1 To Total 'Recorre la matriz completa para asignar los valores
    diferencia = MRecSem(0, 5)
    pp = Mr(vregresos(j - 1, 1), 3, optimoi, optimom)

```

```
suma = pp
MRecSem(fil, 6) = MRecSem(0, 6)
MRecSem(fil, tpuntos + 5) = MRecSem(0, tpuntos + 5)
Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(fil + 1, 7).Value = MRecSem(fil, 6)
Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(fil + 1, tpuntos + 6).Value = MRecSem(fil, tpuntos)
```

```
For col = 7 To tpuntos + 5
```

```
  If col = 7 Then
```

```
    punto1 = MRecSem(fil, 1) 'Primer punto a intercambiar
```

```
    punto2 = MRecSem(fil, 2) 'Segundo punto a intercambiar
```

```
    cambio1 = MRecSem(0, 5 + punto1) 'Guardar valor actual del punto 1 en variable
```

```
    cambio2 = MRecSem(0, 5 + punto2) 'Guardar valor actual del punto 2 en variable
```

```
    MRecSem(fil, 5 + punto1) = cambio2 'Intercambio de puntos
```

```
    MRecSem(fil, 5 + punto2) = cambio1 'Intercambio de puntos
```

```
  End If
```

```
  pant = MRecSem(fil, col - 1)
```

```
  If pant = Empty Then
```

```
    pant = psig
```

```
  End If
```

```
  psig = MRecSem(fil, col)
```

```
  If psig = Empty Then
```

```
    psig = MRecSem(0, col)
```

```
    MRecSem(fil, col) = psig
```

```
  End If
```

```
  Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(fil + 1, col).Value = pant
```

```
Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(fil + 1, col + 1).Value = psig
```

```
pp = puntos(p(CInt(psig)), 3)
```

```
If j = cregresos + 1 And col = tpuntos Then
```

```
recorrido = Mt(p(CInt(pant)), p(CInt(psig)))
```

```
suma = suma + recorrido
```

```
Else
```

```
recorrido = Mt(p(CInt(pant)), p(CInt(psig))) + pp
```

```
suma = suma + recorrido
```

```
End If
```

```
MRecSem(fil, 5) = suma
```

```
MRecSem(fil, 3) = suma - diferencia
```

```
Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(fil + 1, 6).Value = MRecSem(fil, 5)
```

```
Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(fil + 1, 4).Value = MRecSem(fil, 3)
```

```
Next col
```

```
Next fil
```

```
mejor = 1E+16
```

```
mejor2 = Voptimo(5)
```

```
filguardada = Empty
```

```
filguardada2 = Empty
```

```
For fil = 1 To Total
```

```
If MRecSem(fil, 4) > 0 Then
```

```
MRecSem(fil, 4) = MRecSem(fil, 4) - 1
```

```
Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(fil + 1, 5).Value = MRecSem(fil, 4)
```

```
Else
```

```

If MRecSem(fil, 3) < mejor Then
    mejor = MRecSem(fil, 3)
    filguardada = fil 'Guarda la mejor fila para penalizarla

End If

End If

If MRecSem(fil, 5) < mejor2 Then
    mejor2 = MRecSem(fil, 5)
    filguardada2 = fil 'Guarda la fila en caso de que encuentre un optimo para
reemplazarlo

End If

Next fil

If filguardada = Empty Then 'Reemplaza la semilla por el menor y penaliza
Else
    For col = 5 To tpuntos + 5
        MRecSem(0, col) = MRecSem(filguardada, col)
        Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(1, col + 1).Value = MRecSem(0, col)
    Next col

    MRecSem(filguardada, 4) = memorias
    Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(filguardada + 1, 5).Value = memorias
End If

If filguardada2 = Empty Then 'Reemplaza el optimo por el mejor tiempo
Else
    For col = 5 To tpuntos + 5
        Voptimo(col) = MRecSem(filguardada2, col)

```

```
Workbooks(libro).Sheets(pest9).Cells(Total + 2, col + 1).Value = Voptimo(col)
```

```
Next col
```

```
End If
```

```
For fil = 1 To Total
```

```
For col = 6 To tpuntos + 5
```

```
MRecSem(fil, col) = Empty
```

```
Next col
```

```
Next fil
```

```
Next iteracion
```

```
tiempototal = 0
```

```
For i = vregresos(j - 1, 1) To vregresos(j, 1)
```

```
ind = i - vregresos(j - 1, 1) + 1
```

```
ThisWorkbook.Sheets(pest10).Cells(i + 1, 1).Value = Voptimo(ind + 5)
```

```
Next i
```

```
Next j
```