



Propuesta de optimización del proceso de mantenimiento de alcantarillado público del Valle de Aburrá Zona Sur (EPM) a través de la aplicación de la metodología Lean Manufacturing y algoritmo genéticos para la programación de rutas de servicios

Trabajo de opción de grado para optar título de Ingeniería Industrial

Realizado por: Juan Pablo Grajales Ciro

Asesor Técnico: Mauricio Gómez Vásquez

Asesor Metodológico: Gustavo Andres Araque Gonzalez

Institución Universitaria Politécnico Gran Colombiano

Facultad de Ingeniería Diseño e Innovación

Escuela OPINA

Ingeniería Industrial

Medellin 2020

Agradecimientos

Primeramente, le agradezco a Dios y a mi familia por darme la oportunidad de prepararme en la carrera que soñé y ahora en un futuro cercano ser un profesional integro, seguido a mi tutor de practicas el profesor Mauricio Gómez Vásquez, por su compromiso durante las tutorías compartiendo sus sabios consejos, que ayudan a formarme, del mismo modo, agradezco a los docentes y amigos que pude conocer en el Poli generando saberes y experiencias que forjan en gran parte mi desempeño como profesional y persona, también, agradezco a EPM por permitirme realizar mis prácticas empresariales en sus instalaciones, aprovechando al máximo su esquema administrativo para conocer, aprender e interpretar de primera mano lo estudiado por varios años dentro de la academia, espero que todos estos saberes aplicados a la empresa en un futuro sean implementados y desear que sigan siendo una empresa líder.

Resumen

El presente trabajo aborda el desarrollo de un modelo de optimización para calcular la ruta más óptima de cada cuadrilla del despacho de mantenimiento correctivo sur de EPM, el algoritmo de genéticos genera la secuencia más adecuada mediante la solución del problema del agente viajero, minimizando los tiempos de viaje y los costos, también, mejoraría la cantidad de solicitudes atendidas, aplicando de esta manera conceptos del Lean Manufacturing, anterior a esto se presentan ahorros de tiempo relacionado al retorno de cuadrillas al despacho, dado que, era una de las problemáticas presentadas en cuanto a tardanza, esto causado por la desinformación de parte de los jefes a operarios.

Palabras claves: Optimización de tiempos, Lean Manufacturing, Travelling Salesman Problem (TSP) , Algoritmos genéticos, Ruteo Logístico.

Abstract

This work addresses the development of an optimization model to calculate the most optimal route for each crew in the EPM southern corrective maintenance office. The genetic algorithm generates the most appropriate sequence by solving the traveling agent problem, minimizing time. travel and costs, also, would improve the number of requests served, thus applying Lean Manufacturing concepts, prior to this there are time savings related to the return of crews to the office, since it was one of the problems presented in As for delay, this caused by misinformation on the side of the bosses to operators.

Keywords: Time optimization, Lean Manufacturing, TSP, Travelling Salesman Problem (TSP), Genetic algorithm (AG), logistics routing.

Tabla de Contenidos

Resumen	3
Abstract	3
Ilustraciones	¡Error! Marcador no definido.
1. Datos Generales - Práctica Empresarial	6
2. Introducción	7
2.1. Descripción de la Empresa	7
2.2. Formulación del Problema	7
3. Propuesta de Práctica.....	9
3.1. Justificación	9
3.2. Alcance.....	9
3.3. Objetivo Principal.....	10
3.4. Objetivos Secundarios.....	10
4. Metodología.....	11
4.1. Descripción de Actividades.....	11
4.2. Cronograma de Actividades.....	12
4.3. Entregables	13
5. Estado del Arte	14
6. Marco Teórico.....	27
6.1. Unidad Operación y Mantenimiento Gestión Aguas Residuales (UOMGAR)	27
6.2. Seguimiento de Productividad en Campo	31
Tabla 2. Tiempos estándar por actividad en minutos	36
Tabla 3. Tipos de causas de no efectividad de solicitudes	38
6.3. Lean Manufacturing	38
6.4 Algoritmo de Genéticos.....	42
7. Pareto de Fallas de la No Realización de Solicitudes	47
8. Propuesta de Mejora	49
8.1 Recolectar – Analizar - Proponer	49
Figura 13. Imagen tipo alarma	52
9. Conclusiones	67
10. Recomendaciones	68
Referencias Bibliográficas	69
Anexos	72
Anexo 1. Carta de Aceptación de la Empresa.....	72
Anexo 2. Plataforma ClickSchedule (FSM)	73
Anexo 3. Plataforma Hidro.....	73
Tablas	
Tabla 1 Criterios a Analizar	35
Tabla 2 Tabla de Frecuencia de las Causas de No Efectividad en UOMGAR	47
Tabla 3 Tabla de Frecuencia de las Causas de No Efectividad en Mantenimiento Correctivo Sur.....	49

Tabla 4 Registros de tiempos de retorno al despacho	50
Tabla 5 Registros de tiempos de retorno al despacho	52
Tabla 6 Análisis de los Registros de Tiempos de Retorno al Despacho.....	54
Tabla 7 Parámetros del algoritmo genéticos	59
Tabla 8 Resultados de la Simulación con el Algoritmo de Genéticos	60
Tabla 9 Análisis de las Secuencias de Rutas con AG	61
Tabla 10 Horario del Despacho de Guayabal	61
Tabla 11 Ahorros de Costos con el Algoritmo de Genéticos	65
Tabla 12 Ahorros de Tiempo con el Algoritmo de Genéticos	65

Ilustraciones

Ilustración 1 Relación del número de iteraciones Vs. Distancia de recorridos	25
Ilustración 2 Relación de tamaño de la población Vs. Distancia de Recorridos	25
Ilustración 3 Relación Distancia Mínima de Recorrido Vs. Distancia de Recorridos	26
Ilustración 4 Programación para correr el programa MTSPF_GA iterativa y buscar mejores resultados.....	27
Ilustración 5 Sectorización de los despachos	29
Ilustración 6 Camión VACTOR.....	34
Ilustración 7 Camioneta HILUX	34
Ilustración 8 Gráfico de Pareto UOMGAR	47
Ilustración 9 Gráfico de Pareto Mantenimiento Correctivo Sur.....	48
Ilustración 10 Imágenes de varias cuadrillas con malas rutas	56
Ilustración 11 Tablero de Control Algoritmo Genéticos	59
Ilustración 12 Ruta #8 Sin Algoritmo Genéticos	62
Ilustración 13 Ruta #8 Con Algoritmo Genéticos	62
Ilustración 14 Ruta #12 Sin Algoritmo Genéticos.....	63
Ilustración 15 Ruta #12 Con Algoritmo Genéticos	63
Ilustración 16 Ruta #13 Sin Algoritmo Genéticos.....	64
Ilustración 17 Ruta #13 Con Algoritmo Genéticos	64

1.

2. **Datos Generales - Práctica Empresarial**

Facultad:	Ingeniería y Ciencias Básicas
Departamento Académico:	Ingeniería Industrial
Nombre completo practicante:	Juan Pablo Grajales Ciro
Código estudiante:	1710210153
Cédula No.:	1042067088
Correo electrónico:	juanpablograjalesciro@gmail.com
Cargo asignado:	Practicante
Empresa:	Empresas Públicas de Medellín E.S.P.
Fecha inicio:	27 DE ENERO DE 2020
Fecha finalización:	26 DE JULIO DE 2020
Jefe inmediato:	María Elizabeth Pérez Arango
Cargo Jefe inmediato:	Profesional Desarrollo Humano y Organizacional
Asesor práctica empresarial:	W Mauricio Gómez Vásquez
Título del anteproyecto:	PROPUESTA DE OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MANTENIMIENTO DE ALCANTARILLADO PÚBLICO DEL VALLE DE ABURRÁ ZONA SUR (EPM) A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE MÉTODOS LEAN MANUFACTURING Y ALGORITMO GENÉTICOS PARA LA PROGRAMACIÓN DE RUTAS.
Área de conocimiento:	Lean Manufacturing, TSP
Palabras clave:	Optimización de tiempos Lean Manufacturing, TSP, algoritmo de genéticos (AG).

3. Introducción

3.1. Descripción de la Empresa

EPM es una empresa de servicios públicos domiciliarios que tiene una historia para contar, con cifras y hechos de una responsabilidad social y ambiental que le da sentido a su origen, a su desarrollo y a su estrategia de negocios.

En su primera etapa, EPM sólo atendió a los habitantes de Medellín, la ciudad donde inició sus actividades en 1955. Desde entonces ha alcanzado un alto desarrollo que la sitúa a la vanguardia del sector de los servicios públicos en Colombia.

Organizada bajo la figura de “empresa industrial y comercial del Estado”, de propiedad del Municipio de Medellín, EPM imprime los más altos estándares internacionales de calidad a los servicios que presta: energía eléctrica, gas por red, agua y saneamiento.

Experiencia, fortaleza financiera, transparencia y capacidad técnica, son los principales rasgos que identifican a esta organización, cuyo enfoque principal es su responsabilidad social y ambiental.

EPM llega a 123 municipios de Antioquia. En Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá atiende a 3.6 millones de habitantes.

3.2. Formulación del Problema

El mantenimiento de alcantarillado en EPM se realiza mediante la gestión de varios equipos de cuadrillas, estos tienen su punto de partida en distintos despachos del Valle de Aburrá,

entre ellos se encuentran Pedregal, Belén y Guayabal, conocidos como Norte, Centro y Sur respectivamente. Ahora bien, el proyecto está dirigido hacia el despacho de Guayabal, el cual realiza todas sus actividades en la zona Sur del valle.

La problemática presentada son los tiempos inoficiosos o mudas, pues los líderes de cada cuadrilla deben reportar durante todo el día sus actividades mediante el aplicativo ClickMobile, en este pueden registrar alistamiento, alimentación, reunión, viaje, sitio, cerrada, entre otros. Toda la información recolectada es llevada a las plataformas gerenciales conocidas como ClickSchedule (FSM), Hidro y Tablero de control. En ellos se evidencia un elevado desperdicio del tiempo durante la jornada laboral, por lo que se requiere hacer un análisis sobre esta problemática, ya que aparte de aparecer tiempos donde no existe un reporte, ocurren casos donde no se respetan los tiempos de retorno al despacho junto con las actividades correspondientes al atender las solicitudes, alejándose del estándar empresarial.

Por otro lado, existen malas asignaciones de rutas, dado que, no se eligen puntos cercanos para atender cada solicitud, en varias ocasiones deben regresar a zonas donde ya estuvieron, generando tiempos inoficiosos entre los viajes.

Por lo anterior, desde la Ingeniería Industrial es recomendable ajustarse al Lean Manufacturing, ya que es un método centrado en la continua mejora y optimización del sistema de producción, en nuestro caso de las actividades diarias de las cuadrillas, de este modo, se lograría la eliminación de desperdicios (Mudas) de cada día laboral.

Luego de ello, se podría profundizar en las rutas diarias de cada cuadrilla para establecer rutas más cortas mediante el TSP, de esta manera, al ahorrar tiempos se lograrían realizar mayor número de solicitudes, dado que, se eliminarían los tiempos ociosos de los viajes.

4. Propuesta de Práctica

4.1. Justificación

La realización de esta práctica es de carácter relevante dentro de mi carrera, ya que se adapta al perfil del egresado de Ingeniería Industrial del Politécnico Grancolombiano, pues se debe diseñar, planear y controlar el sistema de transporte, así como gestionar y optimizar el uso de los recursos involucrados en los mismos, tales como, hombres, materiales y equipos. Todo ello conlleva, la correcta manipulación de los métodos aprendidos en el proceso de formación, los cuales, son aplicables dentro del proyecto de EPM “OPTIMIZACION PROCESOS MANTENIMIENTO REDES”.

4.2. Alcance

Se desarrollarán estrategias mediante los métodos de transporte que mayormente se ajusten a las problemáticas presentadas, en principio se llevará un enfoque de Lean Manufacturing, pues se radica en la premisa “todo puede hacerse mejor”, de esta manera, se podrán reducir los tiempos de ocio entre otros factores asociados, del mismo modo, se dispondrá de rutas más cortas bajo el método TSP con ayuda del GPS y los tiempos reportados entre recorridos, con lo anterior se incrementará la productividad por cuadrilla, y a su vez se tendrá de ventaja un incremento de solicitudes realizadas por día.

4.3. Objetivo Principal

Optimizar el proceso de mantenimiento de alcantarillado público del Valle de Aburrá zona Sur (EPM) a través de la aplicación de métodos Lean Manufacturing y algoritmo genético para la programación de rutas.

4.4. Objetivos Secundarios

- Recolectar información histórica desde las herramientas de seguimiento y control de los procesos de saneamiento (ClickSchedule (FSM), Hidro y Tablero de control) relacionada con cada actividad realizada por las cuadrillas durante la jornada laboral.
- Analizar la información obtenida con el fin de identificar los principales desperdicios que impactan el proceso.
- Proponer mejoras para incrementar la productividad del personal, minimizar los tiempos de ocio y optimizar rutas.

5. Metodología

5.1. Descripción de Actividades

Actividades – Fases

Recolectar

- Obtener información histórica desde el FSM
- Adquirir información del Tablero de Control
- Observar mediante el GPS las rutas que propone el Software

Analizar

- Comparar la información del FSM con Hidro
- Cruzar la información de FSM, Hidro y el Tablero de control
- Analizar la información llevándola al concept Lean Manufacturing
- Cotejar la información del FSM y el Tablero de control con el GPS
- Indagar las tardanzas entre actividades
- Dirigir los datos hacia métodos de transporte

Caracterizar

- Organizar por tipos las actividades realizadas
- Realizar un Pareto relacionado a las causas de no realización de solicitudes
- Aplicar métodos de Lean Manufacturing y TSP para reducir las fallas en el

sistema.

Proponer

- Sugerir mejoras en los tiempos operacionales de las cuadrillas
- Gestionar rutas más cortas mediante métodos de transporte.

5.2. Cronograma de Actividades

ACTIVIDADES	RECOLECTAR	MARZO												ABRIL																											
		SEMANA 1				SEMANA 2				SEMANA 3				SEMANA 4				SEMANA 5				SEMANA 6				SEMANA 7				SEMANA 8				SEMANA 9							
Obtener información historica desde el FSM																																									
Adquirir información del Tablero de Control																																									
Observar mediante el GPS las rutas que propone el Software																																									
ANALIZAR																																									
Comparar la información del FSM con Hidro																																									
Cruzar la información de FSM, Hidro, Maximo y el Tablero de control																																									
Analizar la información llevandola al concepto Lean Manufacturing																																									
Cotejar la información del FSM y el Tablero de control con el GPS																																									
Indagar las tardanzas entre actividades																																									
Dirigir los datos hacia métodos de transporte																																									
CARACTERIZAR																																									
Organizar por tipos las actividades realizadas																																									
Realizar un Pareto relacionado a las causas de no realización																																									
Analizar métodos de Lean Manufacturing y TSP para reducir las fallas																																									
PROPONER																																									
Sugerir mejoras en los tiempos operacionales de las cuadrillas																																									
Gestionar rutas más cortas mediante métodos de transporte																																									

5.3. Entregables

La entrega final del proyecto se compone de varios subtemas que resuelven distintas problemáticas para terminar optimizando el proceso de mantenimiento de alcantarillado público del Valle de Aburrá zona Sur (EPM), la fecha tentativa de su entrega sería el 26 de junio de 2020.

Componentes:

- Recolectar información a partir de los aplicativos empresariales. (Marzo 27 de 2020)
- Analizar los datos obtenidos llevándolos a los métodos de transporte (Lean Manufacturing). (Mayo 8 de 2020)
- Proponer mejoras para incrementar la productividad del personal y minimizar los tiempos de ocio. (Junio 26 de 2020)

6. Estado del Arte

Para este tema de optimización en el mantenimiento de alcantarillado, nos remontamos a varios documentos nacionales, con el propósito de encontrar que se ha hecho hasta la fecha. Una de las investigaciones más antiguas y con un valor informativo muy completo es la de “OPTIMIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE LOS EQUIPOS MARCA VACTOR ESPECIALIZADOS EN EL LAVADO Y SUCCIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO” realizado por Moya, Martínez y Anaya (1995). En esta ellos definen cuatro factores muy importantes dentro de un sistema de mantenimiento, el primero es la duración eficiente de las maquinas, en este caso del equipo VACTOR, el cual según Moya et al. (1995). Este depende de dos factores:

El Factor Humano y El Factor Administrativo, el primero está representado en el personal con funciones específicas dentro de la empresa para garantizar un aprovechamiento óptimo de los recursos, el segundo es el compromiso de parte de la gerencia para garantizar una agilización en todo tramite de adquisición de insumos y en la cantidad requerida para obtener así un Mantenimiento *Justo A Tiempo*, es también compromiso de la gerencia crear programas de capacitación técnica al personal encargado del mantenimiento y operación, puesto que es en la relación Hombre - Máquina en donde se detectan las posibles fallas, permitiendo que el encargado de mantenimiento agilice su labor. Es función también de la gerencia vigilar la calidad y cumplimiento de dichos programas. (p.28)

Por otra parte, se destaca como segundo factor importante dentro de un sistema de mantenimiento son sus objetivos, pues de acuerdo a Moya et al. (1995).se concluye que:

Cualquier sistema de mantenimiento busca como objetivos: alcanzar el grado óptimo de eficiencia del equipo y con esto también garantizar la calidad de los productos o servicio prestado por la empresa, esta calidad es también un reflejo del grado de *disponibilidad* y *confiabilidad* de la maquinaria. El aumentar la vida útil del equipo o por lo menos el alcanzar la vida de diseño, evitando el deterioro y desgaste ocasionados por una mala operabilidad o mal uso, detectar oportunamente las fallas menores y efectuar ajustes y correcciones evitando fallas imprevistas que por lo general conllevan a reparaciones costosas disminuyendo así la disponibilidad del equipo. Realizar un control adecuado del stock del almacén de repuestos e insumos, también un control de los costos de operación, garantizar la seguridad del personal encargado del mantenimiento, reduciendo la accidentalidad, puesto que este objetivo no solo es compromiso del departamento de salud ocupacional. (p.31)

Es importante destacar que más allá del cumplimiento de los objetivos de un sistema de alcantarillado, es necesario también llevarlos al tema organizacional con un enfoque administrativo, con esto Moya et al. (1995). Concluye que para mejorar el plan o sistema de mantenimiento es necesario cumplir los siguientes objetivos:

- a. Lograr el máximo de disponibilidad y confiabilidad de los equipos.
- b. Motivar y capacitar a los operarios y personal encargado de mantenimiento.
- c. Crear en todo el personal el deseo a mantener el orden y la pulcritud en las funciones específicas desempeñadas dentro de la empresa.
- d. Operar bajo un sistema de mantenimiento basado en la relación hombre - máquina para la detección rápida de una posible falla, reduciendo al mínimo los tiempos muertos por paradas imprevistas.

- e. Crear parámetros de control de insumos, repuestos, tiempos de parada, fallas comunes y su repetición dentro de la vida de la máquina, como también las posibles soluciones para evitar nuevamente esos daños.
- f. Garantizar un eficiente flujo de información que permita la toma rápida de decisiones.
- g. Establecer el mecanismo adecuado para la asequibilidad de los catálogos técnicos y operativos para el personal de mantenimiento y operativo, además esta información debe estar transcrita en un lenguaje entendible para todos y en lo posible dentro de un sistema computarizado.

En general el departamento de mantenimiento debe tener como objetivo la prevención del daño y reducción de los costos de mantenimiento utilizando para ello los recursos humanos, administrativos, técnicos y económicos. (p.32, 33)

Es necesario, para una mejora en la optimización de mantenimiento recordar cómo se implementa, para así salvaguardar cualquier detalle que no se esté ejecutando actualmente y asegurar su éxito. Moya et al. (1995). Determina que:

Los siguientes factores son esenciales para el éxito de un sistema de mantenimiento:

- a. Conocimiento de la empresa, actividad, proceso y equipos.
- b. Conocimiento de tendencias y factores de falla.
- c. Control de tiempos de frecuencia de las fallas y alternativas de solución.
- d. Calidad de la reparación y ajustes.
- e. Determinación de las rutas de monitoreo y seguimiento.

- f. Implementación de la tecnología adecuada al tipo de trabajo y sistema de mantenimiento.
- g Conocimiento de normas técnicas de mantenimiento.
- h. Calificación de técnicos y operarios.

Estos son algunos de los factores que ayudan a determinar la fortaleza, debilidad y limitaciones del departamento de mantenimiento. Las actividades ejecutadas deben estar siempre encaminadas a un conjunto de normas técnicas y procedimientos preestablecidos, jamás debe improvisarse una labor. El poder controlar una determinada variable dentro de un proceso nos permitirá detectar de una manera rápida una falla, es por eso que la implementación de un sistema instrumental dentro de los costos de instalación permite visualizar variaciones de la eficiencia representadas en la ubicación de errores de diseño. (p.33, 34)

Por otro lado, se decido investigar documentos relacionados a la gestión de proyectos con un enfoque dirigido a los servicios públicos, bajo estas características se encontró un escrito de Johana Patricia Pimienta Vera del 2013 el cual titula “GUIA METODOLOGICA PARA LA ELABORACIÓN DE PROGRAMAS DE OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE ACUEDUCTOS”, en este se trata de los riesgos de la salud humana cuando el sistema no cumple las condiciones apropiadas de la prestación del servicio, además de nombrar las dificultades económicas en las que se ve afrontando en el día a día, del mismo modo, menciona que debe tener un buen acompañamiento de un sistema de alcantarillado.

La optimización de los sistemas de acueducto según Pimienta (2013) deben minimizar los riesgos en la salud humana mediante su asequibilidad a poblaciones vulnerables y teniendo un adecuado tratamiento. Adicional a ello en marca que los costos de transporte y tratamiento generalmente son muy altos y el desperdicio del recurso hace que menos usuarios reciban el suministro. Inicialmente propone partir de los planes o esquemas de ordenamiento de los Municipios de Colombia realizados por la UNICEF, en el cual se plantea cinco programas de optimización que ayudaran a mejorar los sistemas de acueductos, para hacerlos más eficientes además de utilizar racionalmente el agua para garantizar una mayor cobertura y calidad a la población. La optimización de los sistemas de acueducto busca en primer lugar evitar problemas de falta de servicio con sus consecuencias sanitarias y, en segundo lugar, pérdidas económicas debido a lo costoso que puede resultar de la falta de mantenimiento, la adecuada operación de cada uno de los componentes del sistema y el uso inadecuado del recurso hídrico. Pimienta (2013) nos dice que:

Se plantea un primer programa el cual consiste en establecer los pasos para definir la diferencia entre el agua producida y el agua facturada y las posibles causas; por ejemplo, problemas en el sistema de medición, por las conexiones clandestinas y/o por las fugas de agua a causa del deterioro o deficiencias en los componentes del sistema de acueducto. Con lo cual se pueden encaminar acciones para reducir el índice de agua no contabilizada y con ello optimizar los recursos económicos del prestador y sus usuarios legales, y disminuir la demanda del recurso hídrico generando un bienestar ambiental para la región. (p.6)

El segundo programa consiste en la adecuada operación y *mantenimiento del sistema*, ya que en la mayoría de los acueductos por el desconocimiento en su operación y la falta de

mantenimiento hacen que estos sean obsoletos, no cumplan adecuadamente su función, propicien la contaminación de agua y que se deban invertir grandes sumas de dinero para su restablecimiento, dinero con que no cuenta las empresas encargadas de la prestación del servicio o sus usuarios. La correcta operación y mantenimiento hace que se garantice un correcto transporte y tratamiento del agua, minimizando los costos. (p.7)

Este proyecto en general en cuanto a su propuesta también abarca la planeación óptima de rutas de las cuadrillas en campo, por ello se da a la tarea de una revisión literaria de otros proyectos, dentro de este se destaca “OPTIMIZACIÓN COMBINADA DE MANTENIMIENTO Y RUTEO: EL CASO DEL MANEJO DE BLOQUEOS POR SEDIMENTOS EN SISTEMAS DE ALCANTARILLADO” realizado en el 2015 por John Fontecha Garcia, Raha Akhavan Tabatabae, Daniel duque, Andrés I. Medaglia, Juan Pablo Rodríguez.

Ellos comienzan con la definición del problema CMR en el que se enfrenta la compañía de alcantarillado, estos deciden caracterizarla de dos maneras la primera es que “Se requiere determinar el tiempo óptimo hasta la siguiente operación de mantenimiento y su frecuencia, de tal forma que se minimice el costo esperado de mantenimiento” y la segunda es que “Se debe realizar la planeación de las operaciones de mantenimiento rutiando un conjunto de cuadrillas (personal y equipo) disponibles para realizar dichas operaciones, respetando un horizonte de planeación predeterminado.”

Posteriormente, Fontecha et al. (2015). Se adentran a la investigación de otros escritores, en esta ellos concluyen:

Un problema general para diferentes sectores de la industria es la planeación de operaciones de mantenimiento, puesto que los sistemas a sus cargos están sujetos a deterioración (fallas) con el uso y la edad. En general esos sistemas son reparables y más allá se deben considerar las restricciones de recurso para realizar operaciones de mantenimiento. En algunos sistemas es de suma importancia evitar fallas durante la operación puesto que puede ser peligroso o desastroso (Wang, 2002). En este caso particular en el que se habla de la combinación de dos modelos, uno de mantenimiento y otro de ruteo, vale la pena considerar que se ha investigado sobre uno y el otro o sobre su combinación. Algunas aplicaciones combinadas de modelos mantenimiento con modelos de ruteo se pueden encontrar en la literatura. Por ejemplo, Blakeley et al. (2003) consideran un problema de asignación de puestos de trabajo a técnicos que deben realizar operaciones de mantenimiento a un conjunto de ascensores y escaleras mecánicas que se distribuyen geográficamente. (Blakeley. 2003. p.5)

En el caso de las operaciones de mantenimiento preventivo, una cantidad considerable de literatura se ha escrito para definir políticas óptimas de mantenimiento. Un buen acercamiento a las diferentes aplicaciones de modelos de mantenimiento se presenta en Dekker (1996). Wang (2002) hace una revisión extensa de literatura y realiza una clasificación de los diferentes enfoques que se usan para determinar políticas óptimas de mantenimiento. Algunas de las políticas son: sustitución por edad, sustitución aleatoria por edad, seguro colectivo de reemplazo, mantenimiento preventivo periódico, mantenimiento preventivo secuencial, límite de costo de la reparación, límite de tiempo de reparación, entre otras. (p.5)

En esta aplicación y caso de estudio se considera una política óptima de mantenimiento periódica para sitios geográficamente distribuidos. Alrabghi et al. (2015) sostiene que la investigación enfocada en mantenimiento usualmente tiene en cuenta un solo equipo a la vez, como se observa en Okumoto et al., 1977; Wang et al., 2006; Shirmohammadi et al., 2003 y Lai et al., 2001. En general las consideraciones hechas por algunos autores para estos sistemas (una o dos unidades idénticas) es una sobre-simplificación de los sistemas reales. De hecho, muy poca investigación se ha realizado sobre la optimización de sistemas compuestos por muchos equipos y muy pocos autores tienen en cuenta los recursos de mantenimiento como limitantes de las políticas óptimas de mantenimiento (Alrabghi et al.,2015). (p.5,6)

Para esta investigación después del recorrido literario Fontecha et al. (2015) determinan para su problema de ruteo:

El problema de ruteo de vehículos (VRP de sus siglas en inglés) es un problema NP-duro de una importante aplicación en las áreas de logística y transporte, además es uno de los problemas más estudiados en el dominio de la optimización combinatoria (Talbi, 2009). El problema fue introducido hace varias décadas por Dantzig y Ramser (Pillac et al., 2013). Algunas de sus principales variantes son: VRP capacitado (CVRP), VRP multi-deposito (MDVRP), VRP con ventanas de tiempo (VRPTW) (Talbi,2009).

Para resolver el problema de ruteo de vehículos y sus variantes se han hecho esfuerzos considerables aplicando métodos exactos o heurísticos, y en algunos casos combinaciones.

Dentro de los métodos heurísticos se pueden destacar dos de acuerdo a su relevancia para este trabajo, cluster-first / route-second y route-first / cluster-second (Mendoza et al., 2013).

Esta segunda metodología, inicialmente propuesta por Beasley (1983) y desarrollada posteriormente por Prins (2004), consiste en generar rutas factibles del VRP a partir de un tour del problema de agente viajero (TSP). En general resolver el VRP es difícil dada su complejidad matemática. Un resumen de las técnicas y métodos utilizados para atacar este problema se puede ver en De Jaegere et al. (2014), Kumar et al. (2012), Pillac et al. (2013) y Yeun et al. (2008). (p.6)

El tema de algoritmos es muy variado en este campo de ruteo, a partir de ello se decide indagar otro tipo de algoritmos, para determinar cuál podría generar mejores resultados, atendiendo a esto se encuentra el documento de “PROGRAMACIÓN EFICIENTE DE MÚLTIPLES CUADRILLAS PARA EL MANTENIMIENTO DE REDES DE MEDIA TENSIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS” realizado en el 2016 por AYLEEN PEREZ GARZÓN y MARITZA ROBLES LOZANO. Ellas deciden trabajar mediante el algoritmo de genéticos, vale aclarar que para iniciar la aplicación de este método es necesario conocer su definición y proceso en general, para ello Pérez y Robles (2016) lo definen como:

Los algoritmos genéticos son herramientas matemáticas que imitan a la naturaleza e intentan resolver problemas complejos empleando el concepto de la evolución. El algoritmo ejecuta una búsqueda simultánea en diferentes regiones del espacio factible, realiza una intensificación sobre algunas de ellas, y explora otros sub espacios a través de un intercambio de información entre configuraciones. Así mismo, emplea tres mecanismos básicos que son: La selección, el cruce y la mutación:

- Selección: representa el operador genético que permite elegir las configuraciones de la población actual que deben participar de la generación de las configuraciones de la nueva población (nueva generación). Este operador termina después de decidir el número de descendientes que debe tener cada configuración de la población actual.
- Cruce o “Recombinación”: es el mecanismo que permite pasar información genética de un par de cromosomas originales a sus descendientes, o sea, saltar de un espacio de búsqueda a otro, lo cual genera diversidad genética.
- Mutación: permite realizar la intensificación en un espacio en particular caminando a través de vecinos. Significa intercambiar el valor de un gen de un cromosoma en una población. (p.2)

En su aplicación en el análisis de sensibilidad del algoritmo genético se contaron con 13 cuadrilla y con 87 lugares a visitar en un día laboral, bajo estas restricciones corrió el software para hallar soluciones optima, en detalles Pérez y Robles (2016) en su artículo dicen:

El análisis de sensibilidad se inició corriendo la función MTSPF_GA según las condiciones preliminares de las 13 cuadrillas, así como de la matriz X-Y de los 87 lugares a visitar en un día laboral y con una población de 80 individuos (valor predeterminado por el programa). Luego se empezó a variar el número de iteraciones (valor predeterminado por el programa= 5000) iniciando en 1000 iteraciones con 5 corridas por valor, el cual se aumentó en pasos de 1000, el valor máximo de iteraciones que se logró alcanzar fue de 15000; como se aprecia en la figura 4 existe potencial de seguir mejorando la solución, sin embargo, a partir de 15000

iteraciones se empezaron a presentar problemas de desbordamiento de memoria en el programa. (p.4)

En la Figura 4 se presenta la relación del número de iteraciones Vs. Distancia de recorridos; donde la Población=80 y la Distancia Mínima de Recorrido = 2 (m). Una vez se alcanzó el límite máximo de iteraciones (15000) se dejó esta en 10000 y se empezó a variar el tamaño de la población (valor predeterminado=80).

En esta etapa fue importante tener en cuenta que la población debía ser en múltiplos de 8 (criterio dado por el algoritmo), por lo cual se tomaron los valores de 160, 240, 320, 400, 480, 560, 640 y 720 para que el algoritmo pueda explorar suficientemente bien el espacio de alternativas para encontrar mejores soluciones.

A partir del proceso y metodología, se concluyó, como se muestra en la Figura 5, que a medida que se aumenta el número de población, la distancia de recorrido empieza a disminuir.

En la figura 5 se presenta la relación de tamaño de la población Vs. Distancia de Recorridos. Distancia Mínima de recorrido = 2 (m) y Numero de iteraciones=10000 Por último se trabajó con la variable interna del algoritmo llamada Distancia Mínima de Recorrido.

Como se puede observar en la Figura 6, a medida que se aumenta esta variable (abscisa), disminuye muy poco la distancia total de los recorridos, sin embargo, esta variable resultó de gran importancia para poder ajustar la cantidad de puntos que debe atender cada cuadrilla.

En la figura 6 se muestra la relación Distancia Mínima de Recorrido Vs. Distancia de Recorridos, para una Población=400 y Número de iteraciones=11000

Al finalizar este proceso de análisis de sensibilidad, se concluyó que, con 15000 iteraciones, una población de 720 individuos y una distancia mínima de recorrido de 10000 (m) el algoritmo se encuentra en capacidad de entregar buenos resultados, los cuales se limitan a que cada cuadrilla debe visitar 7 puntos de trabajo y tratar de recorrer la menor distancia total. (p.5)

Ilustración 1 Relación del número de iteraciones Vs. Distancia de recorridos

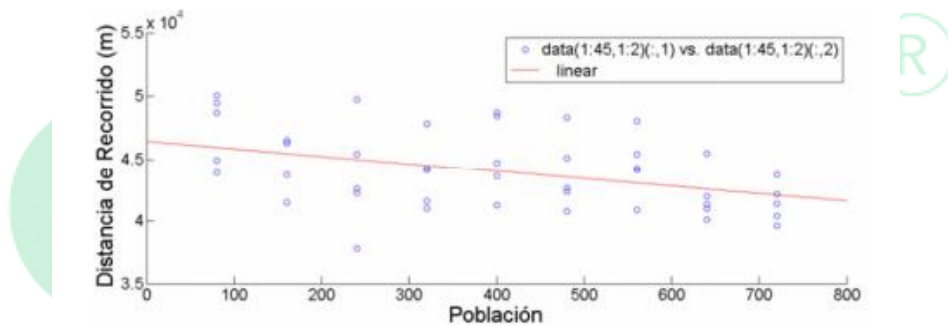


Ilustración 2 Relación de tamaño de la población Vs. Distancia de Recorridos

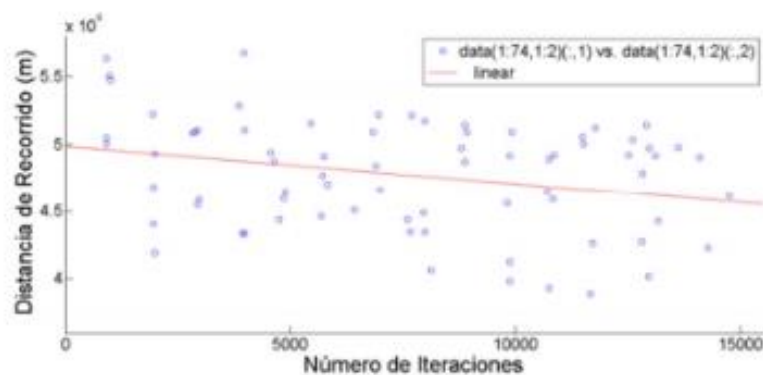
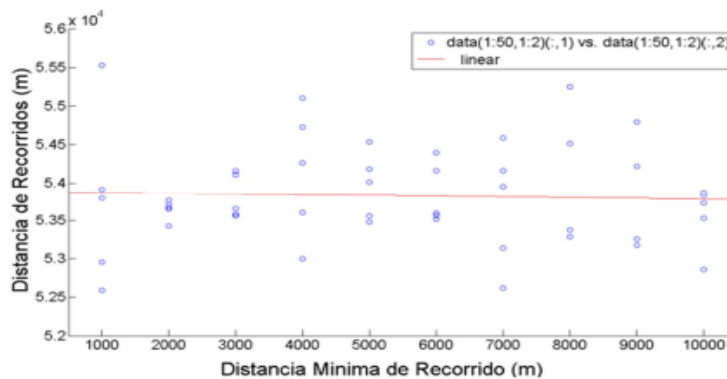


Ilustración 3 Relación Distancia Mínima de Recorrido Vs. Distancia de Recorridos

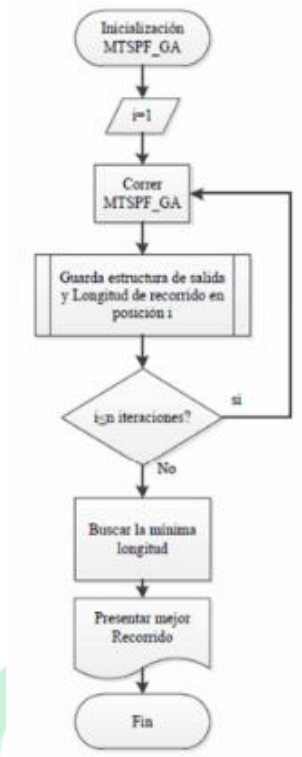


Los algoritmos que tienen la función de buscar mejores soluciones, en repetidas ocasiones presentan el problema de no escapar de ceros locales, es decir, solo se quedan con una solución óptima, ante esta dificultad Pérez y Robles (2016) determinaron un método que les permitió explorar nuevas soluciones, el cual lo definen así:

Ante el objetivo de encontrar y comparar los mejores resultados para las rutas de mantenimiento de la red de media tensión, se decidió realizar una programación adicional la cual se muestra en la Figura 7, de tal forma que se corriera la función MTSPF_GA. La implementación de este algoritmo permite explorar una mayor cantidad de alternativas aumentando el potencial de encontrar mejores soluciones.

El propósito de aplicar el algoritmo iterativo se fundamenta en que debido a las restricciones computacionales se puede estar restringiendo la posibilidad de encontrar mejores soluciones; por otro lado, el hecho de tener 5 soluciones diferentes le permite al operador una mayor flexibilidad en la toma de decisiones en el momento de realizar la programación de las cuadrillas. (p.5)

Ilustración 4 Programación para correr el programa MTSPF_GA iterativa y buscar mejores resultados.



En el estudio Pérez y Robles (2016) lograron determinar que: la metodología funciona adecuadamente para programar recorridos de cuadrillas. Su aplicabilidad se puede extender a una cantidad arbitraria de cuadrillas en un espacio global de trabajo con n sitios a visitar. La única restricción detectada para escalar el modelo a problemas de mayor tamaño es la memoria RAM disponible por la computadora. (p.8)

7. Marco Teórico

7.1. Unidad Operación y Mantenimiento Gestión Aguas Residuales (UOMGAR)

Comencemos tratando los temas de procesos, funciones, operación, dependencias y equipos de UOMGAR, estas definiciones fueron tomadas propiamente de la empresa EPM cuyo autor es Cristian Henao (2013)

Proceso de mantenimiento del sistema de alcantarillado

En EPM se ejecutan varios procesos de mantenimiento tales como predictivo, preventivo y correctivo en las redes y equipos de la infraestructura del sistema de alcantarillado, el cual inicia con la programación del mantenimiento y termina con el cierre y evaluación de los trabajos realizados (Henao, 2013).

Funciones principales

Ejecutar y controlar las acciones correctivas, preventivas y predictivas de mantenimiento, con el fin de permitir la disponibilidad y confiabilidad de la infraestructura del sistema de alcantarillado (Henao, 2013).

Operación del sistema de recolección y transporte de agua residual

Proceso mediante el cual se ejecuta la supervisión de las señales y variables en el sistema de recolección y transporte de aguas residuales. Inicia con la recepción de aguas residuales y la captación de agua lluvia por los sumideros y termina con la entrega del agua residual a la planta de tratamiento y el agua lluvia a los cuerpos de agua (Henao, 2013).

Dependencias involucradas

Unidad Operación y Mantenimiento Gestión Aguas Residuales, Unidad Operación Integrada Agua y Saneamiento, Unidad Mantenimiento Equipos Gestión Aguas Residuales. (Henao, 2013).

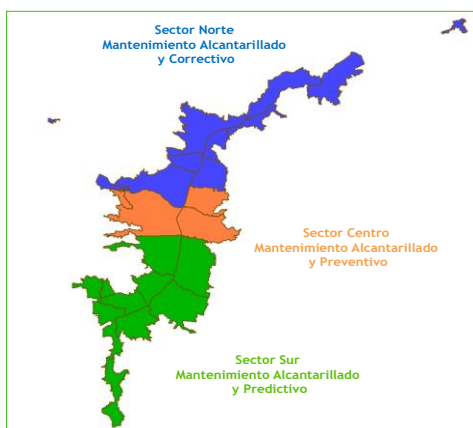
Equipos

- Mantenimiento Correctivo
- Mantenimiento Preventivo
- Investigación y Control
- Atención Requerimientos Técnicos y Comerciales. (Henao, 2013).

Objetivos y actividades UOMGAR

Los objetivos y actividades de la Unidad Operación y Mantenimiento Gestión Aguas Residuales del Valle de Aburrá, para permitir una mayor eficacia y eficiencia en sus solicitudes, se encuentra sectorizada por región norte, centro y sur, donde cada zona tiene un despacho asignado, todas estas manejan objetivos y actividades similares.

Ilustración 5 Sectorización de los despachos



Tomado de: Carlos Mario Agudelo Jaramillo, Jose Fernando Sanchez Soto

Para determinar los objetivos y actividades del departamento UOMGAR es necesario plantear los objetivos y actividades que formularon Agudelo y Sánchez (2014).

Objetivos

- Realizar las acciones necesarias para el desarrollo de las actividades de mantenimiento del sistema de aguas de alcantarillado
- Implementar proyectos de mejora sobre el mantenimiento correctivo, preventivo y predictivo para el sistema de recolección y transporte de aguas residuales.

Actividades

- Mantener los equipos y redes de alcantarillado en su área de influencia con los niveles de calidad y servicio
- Cumplir los acuerdos de niveles de servicio pactados
- Realizar la programación y ejecutar mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a redes, sumideros, acometidas y aliviaderos.
- Recibir, operar y mantener las redes y obras provenientes de los programas de expansión, ampliación, modernización y optimización.
- Atender los requerimientos y necesidades del servicio atención de daños a terceros.
- Mantener actualizada la información (planos, archivos, referenciación, pólizas)

- Gestionar las acciones necesarias para el desarrollo de los objetivos del equipo ante las entidades municipales y grupos de interés
- Participar en el desarrollo de investigación de nuevas tecnologías y en la implementación de procesos innovadores, eficientes y competitivos.
- Seguimiento al programa de mantenimiento preventivo para el sistema de recolección y transporte de aguas residuales.
- Proponer lineamientos, reglas de negocios y acciones de mejora para el mantenimiento preventivo en el sistema para garantizar la homologación de prácticas.
- Hacer seguimiento de equipos y vehículos para contribuir al adecuado control de los recursos. (p.5)

7.2. Seguimiento de Productividad en Campo

UOMGAR en los últimos años ha ido implementando varias tecnologías equipándose con dispositivos y software que entran a la vanguardia de las industrias 4.0. Click Software y el tablero de control son las herramientas que lo posicionan dentro de ella.

❖ Click software

Es el sistema que utilizan las cuadrillas para registrar su labor diaria, a su vez, esta información llega directamente a la gerencia encargada de supervisar estas actividades, del mismo modo, se compone de dos elementos, el FSM manejado directamente desde un ordenador y el Click Mobile operado en campo por parte de los líderes de cuadrilla.

❖ **FSM**

Este es el software más destacado en el seguimiento de productividad en campo, el cual es manejado por todos los despachos, en él se evidencian los registros diarios mediante un diagrama de Gantt, también logra mostrar en vivo la situación actual de las cuadrillas en cada solicitud, ya sea que se encuentre en viaje, sitio o cerrada.

❖ *Click mobile*

Es el dispositivo móvil con el que cuenta cada líder de cuadrilla, en este se debe registrar la situación actual de la cuadrilla, ya sea que se encuentren en un alistamiento, alimentación, en viaje, sitio, cerrada, entre otras.

❖ **Tablero de control**

Es la herramienta más reciente del departamento UOMGAR, en ella se recopila toda la información del FSM, logrando obtener, ordenar y tratar la información de una manera más clara y detallada del día a día de cada cuadrilla, despacho y departamento, propiciando un mejor análisis de la jornada laboral de cada uno de ellos, este es realizado mediante el programa Power BI.

Mantenimiento correctivo sur

El despacho de Guayabal zona sur cuenta con ocho cuadrillas que son conocidas como:

- EPM_GAR_MC_001
- EPM_GAR_MC_010

- EPM_GAR_MC_011
- EPM_GAR_MC_012
- EPM_GAR_MC_013
- EPM_GAR_MC_014
- EPM_GAR_MC_015
- EPM_GAR_MC_016



Equipos:

El despacho cuenta con tres camiones VACTOR [Figura 2] y cinco camionetas dos de ellas son de EPM Toyota marca HILUX [Figura 3] y las otras tres son contratadas. Para cada solicitud por lo regular se labora con un oficial y un ayudante.

Ilustración 6 Camión VACTOR



Ilustración 7 Camioneta HILUX



Criterios para analizar

La empresa propone un modelo de seguimiento de productividad en campo semanal la cual posee unas variables con sus respectivos criterios e ítems a analizar.

Tabla 1 Criterios a Analizar

Variables	Criterios a analizar
<i>FUMO</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados generales del FUMO - Tendencia del FUMO - Resultados anormales del FUMO - Resultados del FUMO por cuadrilla - Causas asociadas al FUMO (Estados FSM, Conversación con cuadrillas)
<i>Cumplimiento estándar</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados generales del Estándar - Tendencia del Estándar - Resultados del Estándar por cuadrilla - Seguimiento del estándar por actividad involucrada - Comparación del estándar por zona
<i>Diligenciamiento adecuado</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Diligenciamiento adecuado de los estados de FSM
<i>Tiempos en despachos</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempos en despacho de salida - Tiempo de finalización trabajos - Causas asociadas a los tiempos altos
<i>Tiempos en transporte</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Altos tiempos en transporte por cuadrilla - Ruteo de las cuadrillas con altos tiempos en transporte
<i>Cantidad de órdenes</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento a la cantidad de órdenes ejecutadas - Análisis de tendencia de las cantidades - Comparación de cantidades con otras cuadrillas
<i>Órdenes no efectivas</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento a órdenes no efectivas - Análisis de las causas de las no efectividades - Análisis de las tendencias de las no efectividades por causa y por cuadrilla

FUMO:

Se define como “Factor de utilización de mano de obra”, es decir, son los tiempos acumulados que registran las cuadrillas de sitio a cerrada en el Click Mobile en cada día laboral.

Cumplimiento estándar:

Los tiempos estándar de las actividades en el despacho Guayabal se toman en minutos siendo en total de 14 actividades, todas estas con su respectivo tiempo estándar teórico además de los límites máximos y mínimos de tiempo.

Tabla 2. Tiempos estándar por actividad en minutos

TIEMPOS EN MINUTOS			
ACTIVIDADES	ESTÁNDAR TEÓRICO	LS	LI
LAVADO DE REDES PARTICULAR CON VACTOR	102	360	24
VERIFICAR DERRAME	35	60	15
INVESTIGACION DESCARGA A FUENTE HIDRICA	48	70	20
COLOCACION TAPAS CAMARAS	19	30	8
LAVADO DE REDES H.NOCTURNO	71,44	120	25
DESOBSTRUCCION DE ACOMETIDA	54	90	20
REVISION DE ALIVIADERO	14	20	3
DESTRUCCION DE SUMIDEROS	30	45	12
LAVADO DE REDES PREVENTIVO	100	180	35
DESOBSTRUCCION DE REDES - LAVADO DE REDES	76	120	35
DESOBSTRUCCION DE REDES	54	90	20
INSPECCIONAR REDES POR LAVADO	45	60	15
LAVADO DE REDES CORRECTIVO	44	88	35
ATENDER QUEJA	45	90	30

Tiempos en despachos:

Las cuadrillas presentan varios tipos de jornadas laborales, la más común es de lunes a jueves de 7:00 a 17:30 y viernes de 7:00 a 15:00 los fines de semana laboran cada 15 días rotándose de despacho, ya sea el de Guayabal, Belén o Pedregal, esta labor es considerada como horas extras. También se encuentra el horario de jornada nocturna de 19:00 hasta las 7:00.

Las cuadrillas cuentan con 30 minutos de alistamiento al iniciar las actividades del día, del mismo modo, disponen de 30 minutos de alimentación, por último, cuentan con una disponibilidad máxima de 90 minutos para retornar al despacho.

Si existe alguna anomalía como reunión, cita médica, entre otras, es reportado directamente al FSM por el supervisor.

Tiempos en transporte:

Al momento no se tiene una cuantificación propia de cuánto debe tardar cada cuadrilla de una dirección a otra, dado que, el estado del tráfico es una variable independiente solo se tiene un estimativo.

Ruteo de cuadrillas:

El ruteo de cuadrillas se toma por solicitudes que están por vencerse, mediante la regla de despacho de Earliest Due-Date (EDD), esta es una regla que prioriza en las colas de trabajo la fecha de vencimiento de cada solicitud, de tal forma que el trabajo que quede asignado tenga la fecha de vencimiento más cercana.

Cantidad de ordenes:

Las cuadrillas 010, 011, 012 y 013 presentan el más alto índice de solicitudes al día, ya que sus órdenes no involucran las actividades que demandan mayor tiempo.

014, 015 y 016 son las cuadrillas que presentan un bajo nivel de solicitudes, pero esto se debe principalmente a que sus actividades demandan la mayor cantidad de tiempo en el día como Lavado de redes.

Órdenes no efectivas:

Estas se consideran como las fallas del sistema, pues no lograron realizar la solicitud por causas asociadas, ya sea problema interno, se encontró atendida o por otras fuentes. En la siguiente imagen [Anexo 4] se puede apreciar la variedad de justificaciones.

Tabla 3. Tipos de causas de no efectividad de solicitudes

GAR_Otras fuentes
GAR_Atendido con otra orden de trabajo o solicitud
GAR_Problema interno
GAR_Difícil acceso
GAR_Información errada
GAR_Cambio en la programación
GAR_Se encontró atendido
GAR_Sedimentos en la red
GAR_No se localiza elemento de red
GAR_Sin definir
GAR_No hay quien informe
GAR_No hay acceso a MH
GAR_Solicitud mal generada
GAR_Mala dirección
GAR_No autorizan trabajo
GAR_Fuga no localizada
GAR_Se requiere compañía de la terna
GAR_No asistencia

7.3. Lean Manufacturing

Comenzamos partiendo de la definición de la terminología a partir de la caracterización que hace Padilla (2010)

La palabra “lean” en inglés significa “magra”, es decir, sin grasa. En español no combina mucho la definición de “manufactura magra”, por lo que se le ha llamado: Manufactura Esbelta o Manufactura Ágil, pero al igual que muchos otros términos en inglés, se prefiere dejarlo así. Es un conjunto de técnicas desarrolladas por la Compañía Toyota que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial,

independientemente de su tamaño. El objetivo es minimizar el desperdicio. Este conjunto de técnicas incluye el Justo A Tiempo, pero se comercializó con otro concepto, con el de minimizar inventarios, y no es ese el objetivo, es una técnica de reducción de desperdicios, ya sea inventarios, tiempos, productos defectuosos, transporte, almacenajes, maquinaria y hasta personas. Otras herramientas que utiliza el Lean Manufacturing son el Kaizen (mejoramiento continuo) y el PokaYoke (a prueba de fallos). Estas técnicas se están utilizando para la optimización de todas las operaciones, no solo inventarios, para obtener tiempos de reacción más cortos, mejor atención, servicio al cliente, mejor calidad y costos más bajos. Al disminuir los desperdicios, se incrementa la productividad. (p.65,66)

En segundo lugar, es necesario tener claros los conceptos básicos del lean manufacturing, para ello, Padilla (2010) realiza en su artículo una identificación y definición de los aspectos más relevantes del lean:

Conceptos básicos

Reducción de costos mediante una eliminación a fondo de las ineficiencias.

Para materializar esto, Toyota ha dado especial importancia a la “producción Just in Time” y al “Jidoka”.

Producción Just in Time: Con el fin de evitar problemas tales como desequilibrio de existencias y exceso de equipos y operarios, se han creado sistemas flexibles que puedan adaptarse a las modificaciones debidas a problemas y fluctuaciones de demanda. Con el Just

in Time todos los procesos producen las piezas necesarias en el tiempo necesario y se deben tener disponibles únicamente las existencias mínimas necesarias para mantener unidos los procesos. Con esto se aprovecha plenamente las capacidades de los operarios.

Jidoka: significa “hacer que el equipo o la operación se detenga, siempre que surja una situación anormal o defectuosa”. La característica distintiva está en el hecho de que cuando tiene lugar un problema de equipo o un defecto de máquina, se detiene el equipo o toda la línea y éstos pueden parar cualquier línea que tenga operarios. Jidoka es muy importante, ya que evita fabricar demasiado y resulta fácil controlar las anomalías. (p.66)

Plena utilización de las capacidades de los operarios

Este es el segundo concepto básico de Toyota para aprovechar al máximo el entorno laboral favorable del Japón y sus excelentes operarios. Ha creado un sistema que respeta la dimensión humana, subrayando los puntos siguientes:

- a. Eliminación de movimientos inútiles por parte de los operarios
- b. Consideración de la seguridad de los operarios
- c. Auto manifestación de las capacidades de los operarios, al confiarles mayor responsabilidad y autoridad. (p.66)

Sistema Kanban: Es un sistema de control de producción para la producción Just in Time y para aprovechar plenamente las capacidades de los operarios. Utilizando el sistema Kanban, los talleres de Toyota ya no dependen de un ordenador.

Los motivos para utilizar el sistema Kanban en lugar de un sistema por ordenador son los siguientes:

1. Reducción de costos en el proceso de la información.
2. Conocimiento rápido y preciso de los hechos.
3. Limitación del exceso de capacidad de los talleres anteriores.

Distribución en masa versus distribución ágil

El enfoque de Lean Manufacturing hacia los clientes es muy diferente al enfoque de la producción en masa.

Primero: El sistema de ventas de los japoneses es activa no pasiva, de hecho, la llaman “venta agresiva”. En lugar de que el concesionario espere a los clientes atraídos por la publicidad y anuncios de los descuentos, el distribuidor hace visitas personales periódicamente a los hogares cercanos al área de servicio del distribuidor. Cuando las ventas bajan, la fuerza de venta trabaja horas extra y si las ventas bajan hasta el punto en que la fábrica no tiene órdenes suficientes para sostener la producción total, el personal de producción puede ser transferido temporalmente al sistema de ventas. (p.67)

Segundo: El fabricante ágil trata al comprador (o propietario) como parte integral del proceso de producción. La recopilación de datos se hace con base a las preferencias de los propietarios

de los vehículos nuevos, y esto alimenta sistemáticamente a los equipos de desarrollo de nuevos productos. La compañía llega a extremos insospechados con tal de no perder nunca a los propietarios de sus vehículos.

Tercero: el sistema es ágil. Todo el Sistema de Distribución consiste en tener tres semanas de suministro de unidades terminadas, la mayoría de las cuales ya está vendida. Este sistema ofrece un alto nivel de servicio. La industria está mucho más concentrada, hay un total de 1,621 concesionarios en Japón, comparados con los 16,300 que hay en EEUU, un mercado 2.5 veces más grande que Japón. Los fabricantes tienen un número limitado de proveedores, los cuales trabajan con un reducido número de distribuidores y en conjunto con parte del sistema de Manufactura Ágil. (p.68)

6.4 Algoritmo de Genéticos.

El problema actual de ruteo en la empresa se considera como un NP-Duro, es decir, el grado de complejidad es alto, por tanto, se requiere utilizar un algoritmo que comprenda adecuadamente las distancias de una solicitud a otra, estando muy asociada al problema del agente viajero (TSP). Explorando se pudo concluir que el algoritmo que actualmente trabajaría bien en un problema de TSP, sería el de algoritmo genéticos, que como su nombre lo indica se encarga de mutar sobre la función objetivo, tal como lo describe la teoría de la evolución que formuló Charles Darwin, que combina esa idea de la evolución con la genética.

Un ejemplo propicio a nuestro problema es como lo plantea Núñez (2019):

Imagina que tu problema a resolver es que quieres saber cuál es el camino más corto para ir de Madrid a San Petersburgo y tienes miles de soluciones. Cada camino que encuentres podría ser una opción, si le aplicas un algoritmo genético, cada camino que encuentres sería un individuo. Para poder aplicar algoritmos genéticos debes ser capaz de convertir las soluciones a tu problema en vectores matemáticos, entonces, un vector para ir de aquí a San Petersburgo puede ser uno que enumere las ciudades por las que vas pasando. Puede haber muchos recorridos: unos más largos y otros más cortos, unos tendrán más tráfico, otros tendrán menos tráfico...

Los algoritmos genéticos tienen como punto de partida un conjunto de soluciones aleatorio. Si continuamos con el ejemplo de San Petersburgo, puedo ir poniendo ciudades y puedo pasar hasta por Australia para ir a Rusia. Obviamente esa combinación no va a ser muy eficiente pero el procedimiento acabará descartándola. Una vez que tengo ese conjunto de soluciones inicial aleatorio aplico lo que se llama una función de ajuste o función objetivo, que en este caso es llegar en el menor tiempo posible a San Petersburgo. Mi función objetivo sería el tiempo que tardo teniendo en cuenta el tráfico y teniendo en cuenta los kilómetros que recorro. Esa función objetivo sirve para clasificar las soluciones aleatorias: las que duran menos tiempo son mejores y las que duran más tiempo son peores. Una vez que las tengo clasificadas lo que hago, y aquí entra la genética, es reproducirlas. Reproduzco las soluciones, como se reproducen los individuos en una población, e implemento los tres mecanismos que intervienen en la selección de las especies: la reproducción en sí, el cruzamiento y la mutación.

Para imitar la reproducción hay diferentes mecanismos matemáticos, uno de ellos es a partir de la función objetivo, es decir que se reproduzcan más aquellas soluciones que son mejores y por lo tanto las que son peores desaparecerán; al aplicar el cruzamiento combinas unas soluciones con otras. Por ejemplo, cojo la mitad de una solución que pasaba por Australia y la combino con otra solución que pasaba por China... Las vas combinando garantizando que son lógicas y luego, finalmente, aplicas un procedimiento de mutación de forma matemática, pues si antes pasaba por Sídney yo implemento matemáticamente que me cambie Sídney por ejemplo por cualquier otra ciudad australiana y ya no pasa por Sídney, pasa por Melbourne o por dónde sea. Eso sería un poco como aplicar las tres dinámicas que existen en el mundo biológico cuando se reproducen las especies.

Una vez que he aplicado todo esto, de nuevo hay que calcular la función objetivo de la nueva población. Veré que algunas soluciones habrán mejorado y otras habrán empeorado. Quizá me dé soluciones que tardan menos de Madrid a San Petersburgo y otras al revés, que tardan muchísimo más. Como vuelvo a aplicar el mecanismo de la reproducción que está basado en la función objetivo, lo que ocurre es que va a reproducir en mayor número las soluciones que tardan menos y va a eliminar aquellas que tarden muchísimo. Y de nuevo vuelvo a aplicar el cruzamiento y las mutaciones entre las mejores soluciones. Así funcionan los algoritmos genéticos. Cuando estás buscando resolver problemas en un campo enorme no es viable el procedimiento enumerativo de ir de una en una porque puedes tener millones y millones de posibles soluciones. Estos algoritmos genéticos combinan la aleatoriedad porque se inician con un conjunto de soluciones totalmente aleatorio, pero luego también están dirigidas

porque buscan el resultado más óptimo. Y gracias a ello encuentras soluciones muy eficientes en muy poco tiempo de computación. (p.1)

La Universidad de Tokio ofrece un buen simulador de TSP enfocado en el algoritmo genéticos, en él se logra apreciar todos lo expuestos por Nuñez como la población, cruce y mutación, por lo anterior es un excelente algoritmo que puede ser utilizado con fines académicos.

De acuerdo al laboratorio IBA de la Universidad de Tokio el simulador opera de la siguiente forma:

❖ Codificación

Determinar cómo expresar el gen. Puede elegir entre los siguientes dos métodos de codificación.

- 1) Normal: codificación con representación binaria
2. Representación ordinal: codificación con representación cíclica

❖ Reporte

Si lo marca, se informará el estado cruzado.

❖ Parámetro

Número de ciudad : Número de ciudades

Intervalo de generación: determina el número de generaciones a buscar.

Tamaño de la población: el número de individuos. Es igual al número de evaluaciones por generación.

Tasa de cruce: tasa de cruce. Esta proporción de individuos cruza con otros

individuos.

Tasa de mutación: tasa de mutación. Los genes de esta proporción de individuos están mutados.

* La comprobación del informe reducirá significativamente la velocidad de búsqueda.

En este caso, reduzca el número de ciudad y el tamaño de la población.

❖ Método de selección

Seleccione el método de selección principal de los siguientes tres métodos durante el cruce.

1) Ruleta: Selección por método de ruleta

2. Torneo: Selección de torneo

3. Aleatorio:

Tamaño de torneo seleccionado aleatoriamente : Tamaño establecido cuando se adopta el método de torneo.

Estrategia de élite: Marque para realizar una estrategia de élite.

8. Pareto de Fallas de la No Realización de Solicitudes

Se recopilaron los datos desde el 27 de marzo hasta el 23 de junio del presente año

Ilustración 8 Gráfico de Pareto UOMGAR

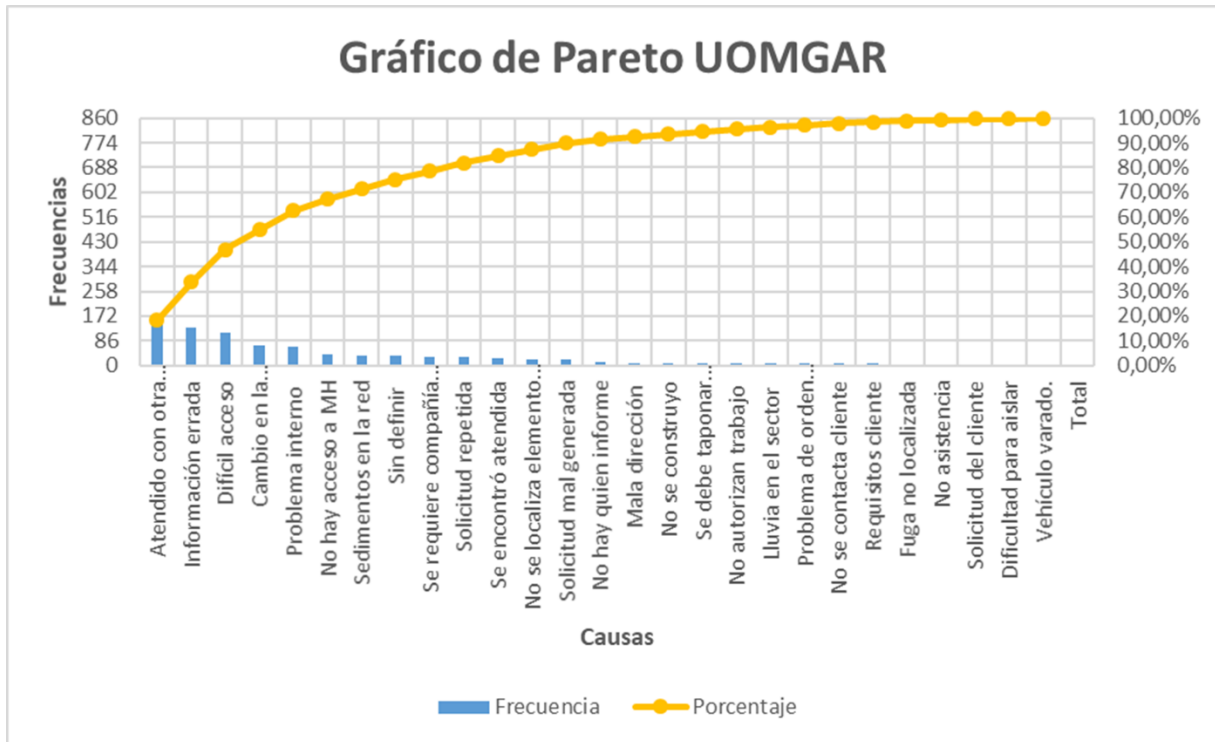


Tabla 2 Tabla de Frecuencia de las Causas de No Efectividad en UOMGAR

UOMGAR				
Datos tomados desde el 27 de Marzo del 2020 hasta el 23 de Junio del 2020				
Causas de no efectividad	Frecuencia	%	Acumulado	%Acumulado
Atendido con otra orden de trabajo o solicitud	157	18,41%	157	18,41%
Información errada	131	15,36%	288	33,76%
Difícil acceso	112	13,13%	400	46,89%
Cambio en la programación	68	7,97%	468	54,87%
Problema interno	65	7,62%	533	62,49%
No hay acceso a MH	41	4,81%	574	67,29%
Sedimentos en la red	35	4,10%	609	71,40%
Sin definir	33	3,87%	642	75,26%
Se requiere compañía de la terna	29	3,40%	671	78,66%
Solicitud repetida	28	3,28%	699	81,95%

Entendemos que las dos primeras causas son un problema directo de Programación Centralizada, es decir, de otras dependencias fuera de los despachos, del mismo modo, difícil acceso se debe a las condiciones del entorno donde no es favorable desarrollar la solicitud, ahora bien, Cambio en la programación a pesar de no ser un problema directo del despacho se puede intervenir para mejorar las rutas de las cuadrillas, es decir, con un buen algoritmo que genere soluciones al TSP se podrían realizar estas solicitudes de una manera más óptima reduciendo y eliminando esta causa de no efectividad.

Ilustración 9 Gráfico de Pareto Mantenimiento Correctivo Sur

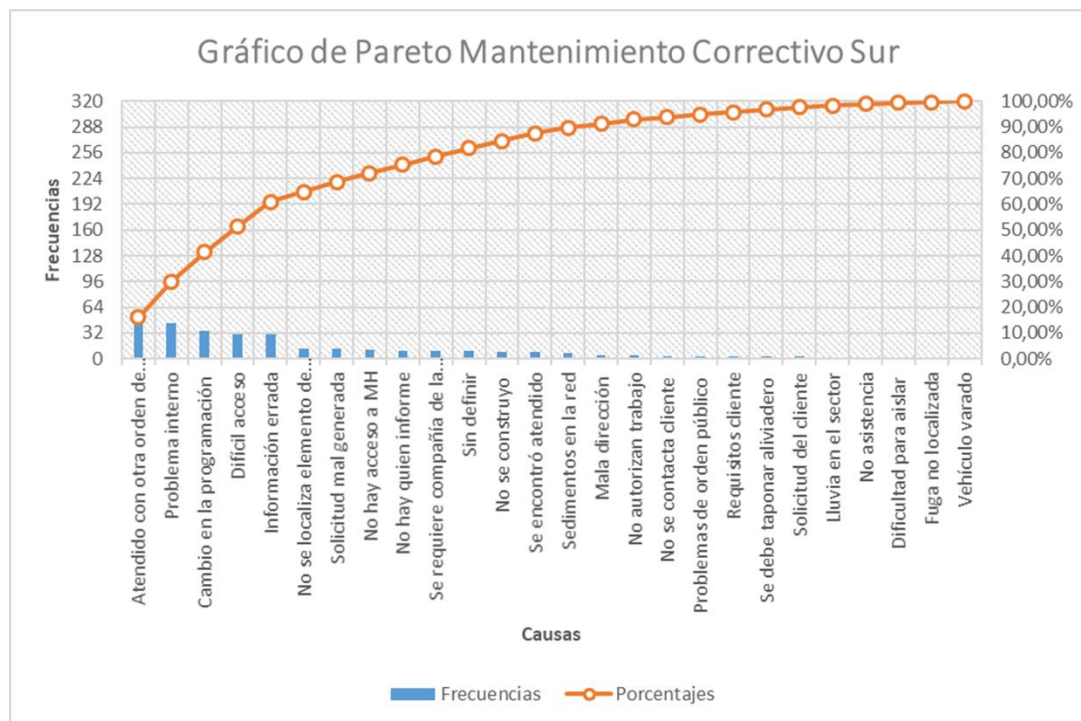


Tabla 3 Tabla de Frecuencia de las Causas de No Efectividad en Mantenimiento Correctivo Sur

Mantenimiento Correctivo Sur				
<i>Datos tomados desde el 27 de Marzo del 2020 hasta el 23 de Junio del 2020</i>				
Causas de no efectividad	Frecuencia	%	Acumulado	%Acumulado
Atendido con otra orden de trabajo o solicitud	50	16,03%	50	16,03%
Problema interno	44	14,10%	94	30,13%
Cambio en la programación	35	11,22%	129	41,35%
Difícil acceso	31	9,94%	160	51,28%
Información errada	30	9,62%	190	60,90%
No se localiza elemento de red	12	3,85%	202	64,74%
Solicitud mal generada	12	3,85%	214	68,59%
No hay acceso a MH	11	3,53%	225	72,12%
No hay quien informe	10	3,21%	235	75,32%
Se requiere compañía de la terna	10	3,21%	245	78,53%
Sin definir	10	3,21%	255	81,73%

Mantenimiento Correctivo Sur presenta como tercer causa frecuente Cambio en la programación, sin duda, resolver esta causa no solo impactaría significativamente a el departamento UOMGAR, si no propiamente a el despacho Guayabal.

9. Propuesta de Mejora

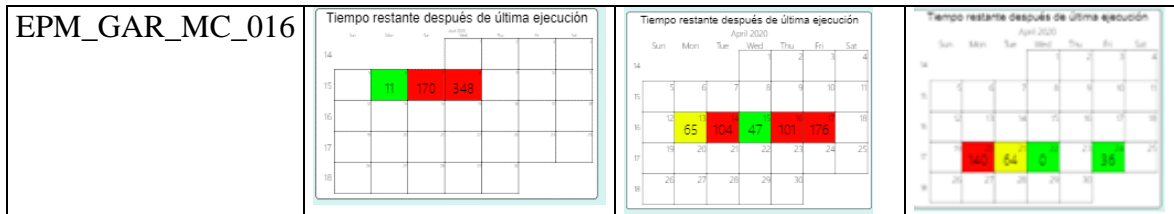
8.1 Recolectar – Analizar - Proponer

Observación: debido a los problemas con el tablero de control no se contó con la cuadrilla EPM_GAR_MC_001 hasta el mes de marzo, sin embargo, debido a la contingencia del COVID-19 el operador líder encargo del diligenciamiento en el Click Mobile, posee una edad mayor a 60 años no recomendable para laborar en campo, por lo anterior, esta cuadrilla no aplica en la investigación.

Tiempos después de última ejecución por cuadrilla de las tres últimas semanas, en esta actividad las cuadrillas disponen como máximo de 90 minutos:

Tabla 4 Registros de tiempos de retorno al despacho

Cuadrilla	Semana 15	Semana 16	Semana 17
EPM_GAR_MC_010	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>
EPM_GAR_MC_011	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>
EPM_GAR_MC_012	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>
EPM_GAR_MC_013	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>
EPM_GAR_MC_014	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>
EPM_GAR_MC_015	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p>



Al observar las altas tardanzas después de la última ejecución se acudirá a retroalimentar a las cuadrillas para mejorar estos tiempos. Esperando generar de este modo la auto manifestación de las capacidades de los operarios, para así orientarlos a mejores tiempos. En este caso se implementará aparte de la retroalimentación, recordatorios semanales para hacer un buen registro de su jornada diaria.

En primera instancia, se compartirá la siguiente imagen en el horario respectivo, por medio de un grupo de WhatsApp, generando además la comunicación constante de las cuadrillas con los jefes para así establecer sus dificultades diarias, dado que, ellos se encuentran laborando en cualquier punto de la zona sur de la ciudad.

Su jornada de lunes a jueves en lo regular culmina a las 5:30 p.m. por lo que es permisible cerrar sus solicitudes una hora y media antes, ya que se justifica como tiempo de retorno al despacho Guayabal, con lo anterior, se toma la decisión de compartir la siguiente imagen como señal de que pueden comenzar a cerrar sus solicitudes, del mismo modo, se busca enaltecer su labor realizada.

Figura 13. Imagen tipo alarma



Resultados

Tiempos de después de ultima ejecución por cuadrilla de las tres últimas semanas, en esta actividad las cuadrillas disponen como máximo de 90 minutos:

Tabla 5 Registros de tiempos de retorno al despacho

Cuadrilla	Semana 18	Semana 19	Semana 20																																																																																																																																																																																																																																																																																	
EPM_GAR_MC_010	<p>Tiempo en el despacho Salida</p> <p>April 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																																																																																																														
21	22	23	24	25	26	27																																																																																																																																																																																																																																																																														
28	29	30	1	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																														
5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																																																																																																																														
12	13	14	15	16	17	18																																																																																																																																																																																																																																																																														
19	20	21	22	23	24	25																																																																																																																																																																																																																																																																														
26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																														
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																														
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
EPM_GAR_MC_011	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>April 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																																																																																																														
21	22	23	24	25	26	27																																																																																																																																																																																																																																																																														
28	29	30	1	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																														
5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																																																																																																																														
12	13	14	15	16	17	18																																																																																																																																																																																																																																																																														
19	20	21	22	23	24	25																																																																																																																																																																																																																																																																														
26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																														
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																														
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
EPM_GAR_MC_012	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>April 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr> <tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td></tr> <tr><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td></tr> <tr><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td></tr> <tr><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td></tr> <tr><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p> <table border="1"> <tr><td>Sun</td><td>Mon</td><td>Tue</td><td>Wed</td><td>Thu</td><td>Fri</td><td>Sat</td></tr> <tr><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td></tr> <tr><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td><td>31</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td></tr> <tr><td>8</td><td>9</td><td>10</td><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td></tr> <tr><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td><td>21</td></tr> <tr><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td></tr> <tr><td>29</td><td>30</td><td>31</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>	Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31					No laboro por vacaciones																																																																																											
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
14	15	16	17	18	19	20																																																																																																																																																																																																																																																																														
21	22	23	24	25	26	27																																																																																																																																																																																																																																																																														
28	29	30	1	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																														
5	6	7	8	9	10	11																																																																																																																																																																																																																																																																														
12	13	14	15	16	17	18																																																																																																																																																																																																																																																																														
19	20	21	22	23	24	25																																																																																																																																																																																																																																																																														
26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																															
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
Sun	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat																																																																																																																																																																																																																																																																														
18	19	20	21	22	23	24																																																																																																																																																																																																																																																																														
25	26	27	28	29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																														
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		
1	2	3	4	5	6	7																																																																																																																																																																																																																																																																														
8	9	10	11	12	13	14																																																																																																																																																																																																																																																																														
15	16	17	18	19	20	21																																																																																																																																																																																																																																																																														
22	23	24	25	26	27	28																																																																																																																																																																																																																																																																														
29	30	31																																																																																																																																																																																																																																																																																		

<p>EPM_GAR_MC_013</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>April 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>
<p>EPM_GAR_MC_014</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>April 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>
<p>EPM_GAR_MC_015</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>April 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>
<p>EPM_GAR_MC_016</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>April 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>
	<p>Tiempo restante después de última ejecución</p> <p>May 2020</p>		

Análisis de Resultados

Se decidió tomar un promedio por día en minutos y por cuadrilla en cuanto al tiempo después de última ejecución.

Tabla 6 Análisis de los Registros de Tiempos de Retorno al Despacho

Tiempos de Retorno al Despacho - Minutos Por Día						
Cuadrilla	Semana 15 - Semana 17		Semana 18 - Semana 20		Ahorro	Diferencia de Desviación Estándar
	Media	Desviación Estándar	Media	Desviación Estándar		
EPM_GAR_MC_010	96,73	37,47	68,36	39,15	28,36	-1,68
EPM_GAR_MC_011	107,00	41,41	98,29	44,18	8,71	-2,78
EPM_GAR_MC_012	92,75	31,74	74,78	17,61	17,97	14,14
EPM_GAR_MC_013	86,64	24,26	77,58	30,37	9,05	-6,11
EPM_GAR_MC_014	131,78	93,53	108,00	91,94	23,78	1,59
EPM_GAR_MC_015	104,78	60,01	109,00	77,10	-4,22	-17,09
EPM_GAR_MC_016	101,09	62,63	52,11	64,70	48,98	-2,06
Total	720,76	351,06	588,12	365,05	132,64	-13,99

Tiempos después de última ejecución: En esta actividad se refleja una mejora en los tiempos, ya que paso de una media de 720,76 minutos total al día con un desviación estándar de 351,06 minutos a una media de 588,12 minutos con una desviación estándar de 365,05 minutos, es decir, un ahorro de 132,64 minutos al día, sin embargo, la desviación incremento en 13,99 minutos, para este cálculo se debió modificar la información del día tres, es decir, el miércoles de las semana 15, pues para este día se daba inicio a la semana santa y los operarios tenían permiso de terminar labores antes de las 3:00 p.m. por lo que se debió restar 150 minutos a cada cuadrilla, sin embargo, este cambio no afecto fuertemente los indicadores, dado que, considerando esta disminución de tiempo, aun así el ahorro es evidente. Por otra parte, de las siete cuadrillas seis lograron mejorar su indicador, vale aclarar que la alta desviación estándar es causada por la desigualdad de tiempos en la atención de solicitudes, es decir, un cierre temprano se debe a que la siguiente solicitud a desarrollar

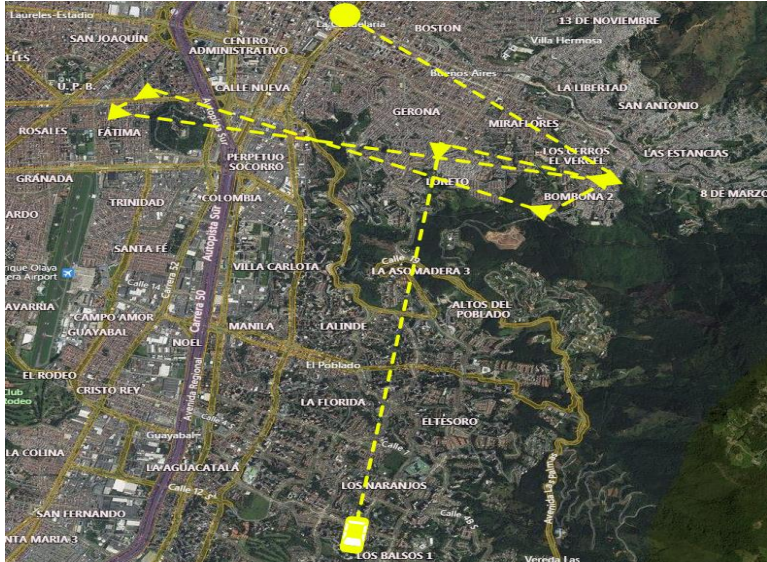
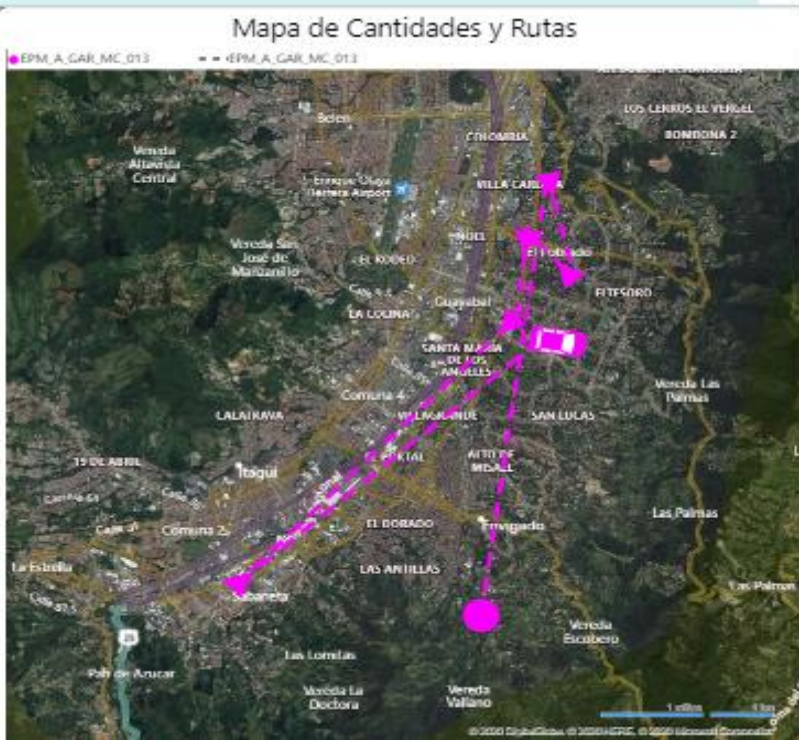
requiere más tiempo del disponible, la meta como tal es que las cuadrillas llegaran a un indicador cercano a los 90 minutos.

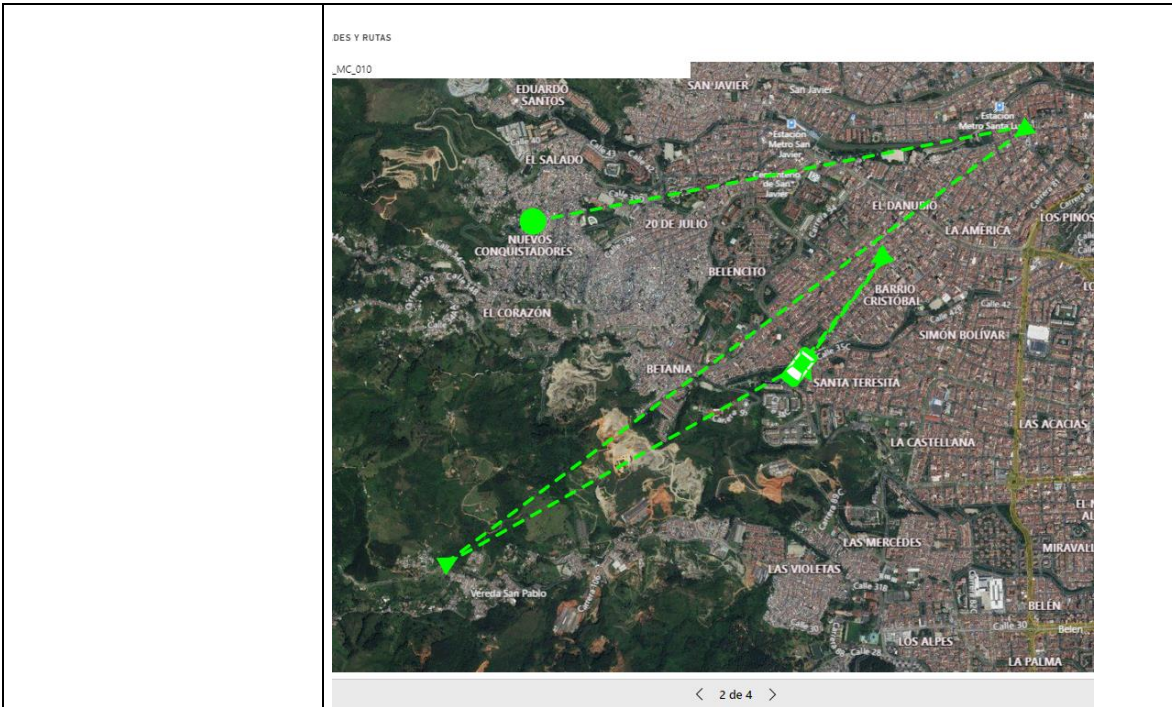
Con las actividades anteriores actividades se concluye que lo expuesto por (Padilla, 2010) sobre la plena utilización de las capacidades de los operarios sobre estimular la Consideración de la seguridad de los operarios y la Auto manifestación de las capacidades de los mismos, al confiarles mayor responsabilidad y autoridad, por medio de mensajes en horarios puntuales, se obtiene una mayor respuesta a su productividad.

Rutas

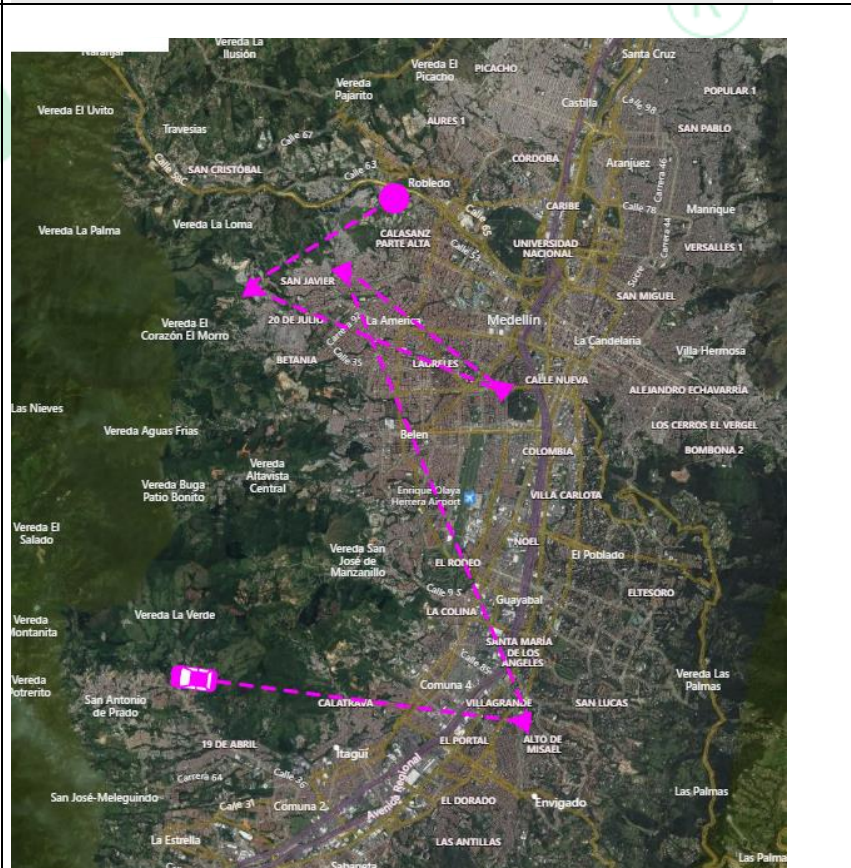
En el despacho y en la unidad en general se ha logrado observar que las rutas de las cuadrillas son poco optimas, dado que, constantemente retornan a sitios o lugares ya explorados, esto debido a que, el sistema de ruteo de EPM sigue la regla de despacho de Earliest Due-Date (EDD), esta es una regla que prioriza en las colas de trabajo la fecha de vencimiento de cada solicitud, de tal forma que el trabajo que quede asignado tenga la fecha de vencimiento más cercana, generando rutas que no dan prioridad a los recorridos, tal como se evidencia a continuación, vale aclarar que se toma como punto de partida el circulo y como punto final el automóvil:

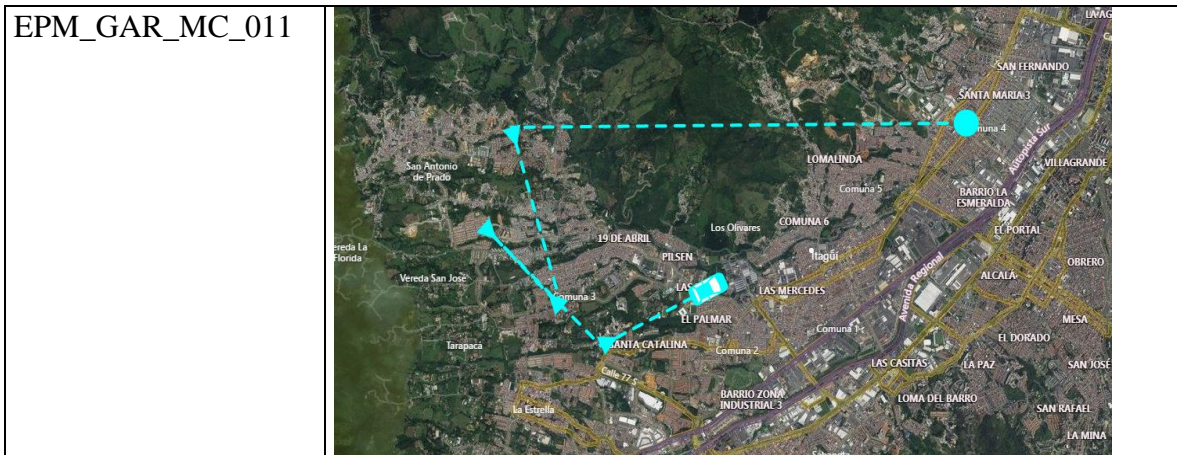
Ilustración 10 Imágenes de varias cuadrillas con malas rutas

<p>EPM_GAR_MC_012</p>	
<p>EPM_GAR_MC_013</p>	
<p>EPM_GAR_MC_010</p>	



EPM_GAR_MC_013





Para solucionar este problema se opta por simular mediante el algoritmo de genéticos todas las rutas de una cuadrilla en un mes, para ser justos debido a la contingencia del COVID-19 se toman los meses de marzo hacia atrás, es decir, se dispone de los meses de diciembre, enero, febrero y marzo como de las cuadrillas del EPM_GAR_MC_010 a la EPM_GAR_MC_016. Al colocar estas condiciones en el aleatorio de Excel se logra definir como mes a estudiar febrero y la cuadrilla EPM_GAR_MC_016.

El algoritmo de genéticos se utilizará mediante un Excel proporcionado por la Universidad de Tokio, Japón; en ella se logrará parametrizar mediante coordenadas los puntos que vendrían a ser cada solicitud, por tanto, se toman las latitudes y longitudes que las mismas solicitudes de EPM disponen. Tomando en un plano como Longitud = X y Latitud = Y.

Los parámetros utilizados en el algoritmo son los siguientes:

Tabla 7 Parámetros del algoritmo genéticos

Parámetro	
Numero de pueblos	#
Población	100
Tasa de mutación (%)	5
Número de generacion	#
Método de selección	2
Estrategia de elite	FALSO
Compartiendo	FALSO
Tasa de elite (%)	10
sigma	1
Tamaño del torneo	5
Tasa de cruce	50
Codificación	1
Visualizacion de genes	FALSO
Paso	VERDADERO

Las casillas donde se encuentra el signo # debe indicar la cantidad de solicitudes que existen en determinada ruta y las veces que se busca iterar, es decir, la cantidad de veces que deseo que busque una solución, bajo estas condiciones el algoritmo trabajo bastante bien en algunos destinos y coordenadas elegidas al azar.

Ilustración 11 Tablero de Control Algoritmo Genéticos

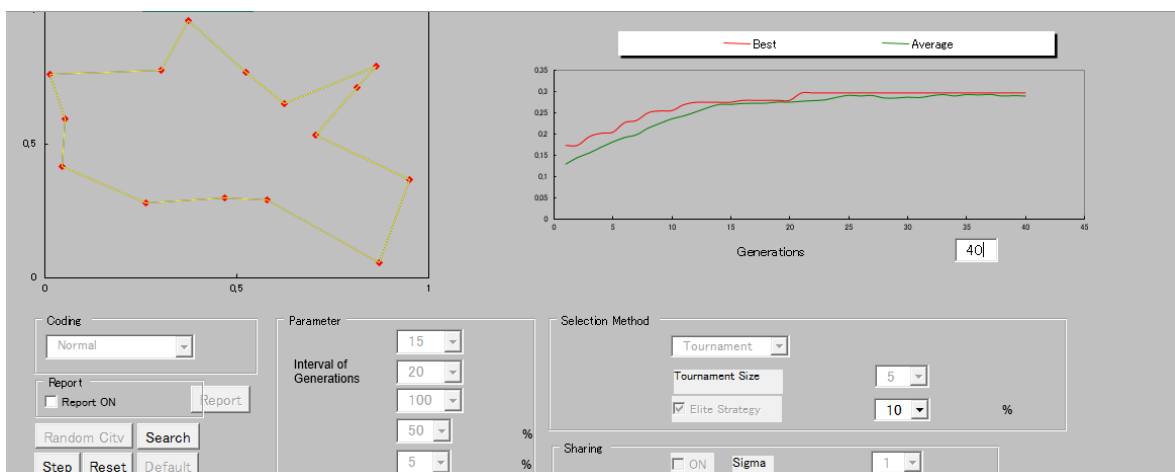


Tabla 8 Resultados de la Simulación con el Algoritmo de Genéticos

La mejor ruta de todas		
Numero de pueblo	Coordenadas X	Coordenas Y
1	0,706	0,533
5	0,814	0,709
7	0,863	0,79
14	0,623	0,648
11	0,525	0,767
8	0,374	0,962
3	0,302	0,775
4	0,014	0,761
12	0,054	0,592
6	0,045	0,414
15	0,264	0,279
13	0,469	0,298
2	0,58	0,29
9	0,871	0,056
10	0,95	0,364
1	0,706	0,533



Ahora bien, tomando a estudiar el mes de febrero con la cuadrilla EPM_GAR_MC_016, se logra obtener un total de 17 rutas, con lo anterior, se busca simular cada ruta desde el algoritmo de genéticos, para después parametrizarlo desde el Google Maps y encontrar la cantidad de kilómetros antes y después del algoritmo, se aclara que en el Google Maps también se agregaron las coordenadas de cada solicitud; con todo lo anterior se lograron obtener los siguientes resultados.

Tabla 9 Análisis de las Secuencias de Rutas con AG

Simulación Algoritmo de Genéticos en kilómetros con la Cuadrilla EPM_GAR_MC_016 en el Mes de Febrero						
Jornada	Ruta por día	Secuencia de la ruta real	Recorrido real (km)	Secuencia obtenida con el AG	Recorrido propuesto (km)	Ahorro
Diurna	Ruta #1	4-1-2-3-4	43,5	4-2-1-3-4	42	1,5
Diurna	Ruta #2	5-1-2-3-4-5	22,1	5-3-4-2-1-5	17,3	4,8
Diurna	Ruta #3	9-1-2-3-4-5-6-7-8-9	37,3	9-1-2-3-7-8-4-6-5-9	38,3	-1
Nocturna	Ruta #4	7-1-2-3-4-5-6-7	43,7	7-5-2-1-4-3-6-7	44,3	-0,6
Nocturna	Ruta #5	7-1-2-3-4-5-6-7	64	7-1-6-5-3-4-2-7	64	0
Nocturna	Ruta #6	3-1-2-3	22,3	3-2-1-3	18,2	4,1
Nocturna	Ruta #7	8-1-2-3-4-5-6-7-8	38,3	8-1-6-4-3-5-2-7-8	35	3,3
Diurna	Ruta #8	8-1-2-3-4-5-6-7-8	44,5	8-2-3-4-1-7-6-5-8	34,8	9,7
Diurna	Ruta #9	4-1-2-3-4	25,1	4-3-1-2-4	19	6,1
Nocturna	Ruta #10	11-1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11	55,5	11-1-7-2-3-4-9-8-6-5-10-11	47	8,5
Diurna	Ruta #11	6-1-2-3-4-5-6	24,6	6-4-3-1-2-5-6	23,9	0,7
Diurna	Ruta #12	5-1-2-3-4-5	51,9	5-1-3-2-4-5	43,1	8,8
Nocturna	Ruta #13	7-1-2-3-4-5-6-7	50,8	7-5-6-1-2-4-3-7	34,9	15,9
Nocturna	Ruta #14	8-1-2-3-4-5-6-7-8	16,3	8-7-1-2-4-3-5-6-8	16,5	-0,2
Diurna	Ruta #15	5-1-2-3-4-5	20	5-1-2-4-3-5	21,8	-1,8
Diurna	Ruta #16	6-1-2-3-4-5-6	20,5	6-5-4-2-3-1-6	20	0,5
Nocturna	Ruta #17	5-1-2-3-4-5	53,2	5-4-1-2-3-5	52,2	1
Total			633,6		572,3	61,3

Tabla 10 Horario del Despacho de Guayabal

Jornada	Horario
Diurna	7:00 a.m. a 5:30 pm y Viernes 7:00 a.m. a 3:00 p.m
Nocturna	7:00 p.m. a 7:00 a.m.

Para la simulación en el Google Maps se tomó como punto de partida y punto final el despacho Guayabal con las coordenadas de latitud: 6,189486 y longitud: -75,588339. Con siguiente se mostrarán las rutas que significaron los mayores ahorros.

Ruta #8

Sin algoritmo se tuvo un recorrido total de 44,5 km.

Ilustración 12 Ruta #8 Sin Algoritmo Genéticos

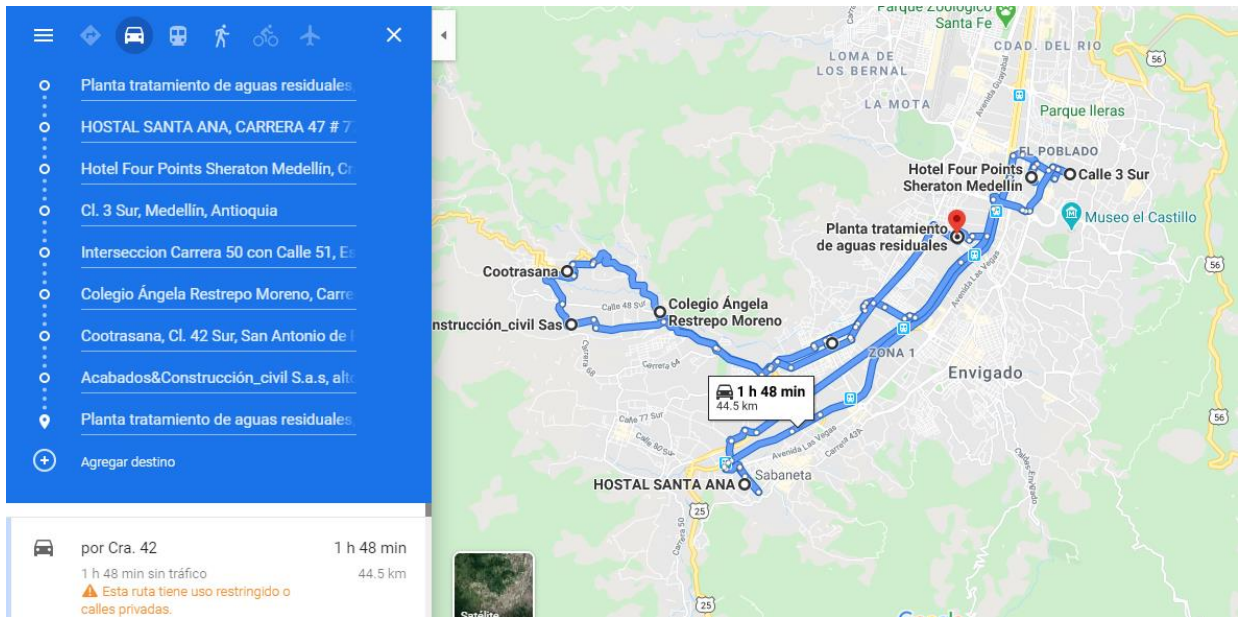
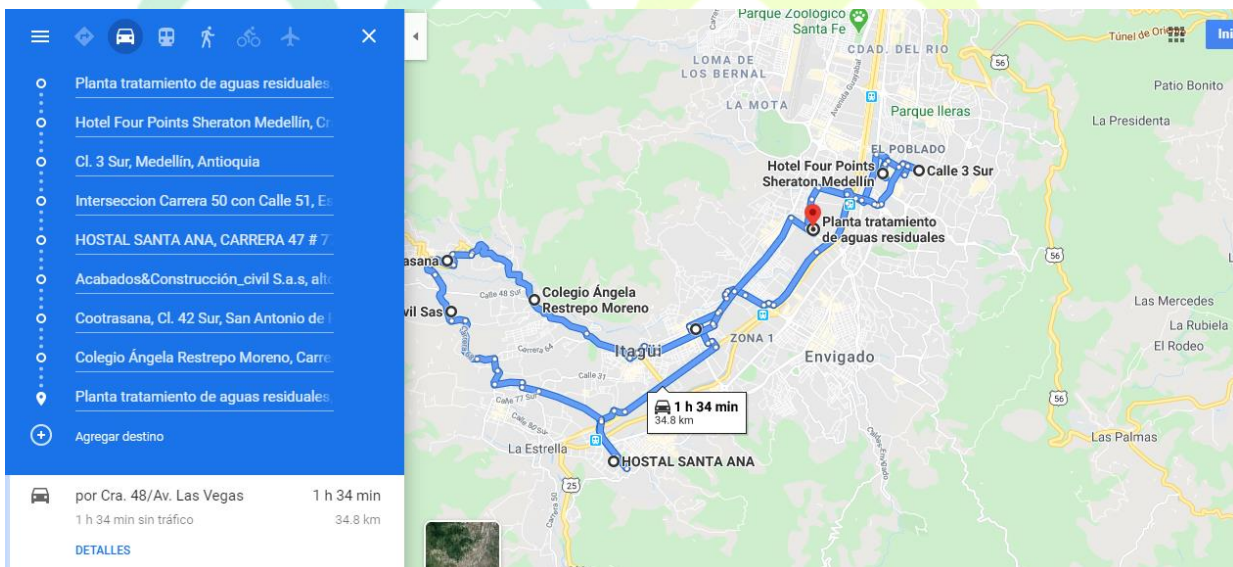


Ilustración 13 Ruta #8 Con Algoritmo Genéticos



Con algoritmo se tuvo un recorrido total de 34,8 km.

Ahorro total de 9,7 km.

Ruta #12

Sin algoritmo se tuvo un recorrido total de 51,9 km.

Ilustración 14 Ruta #12 Sin Algoritmo Genéticos

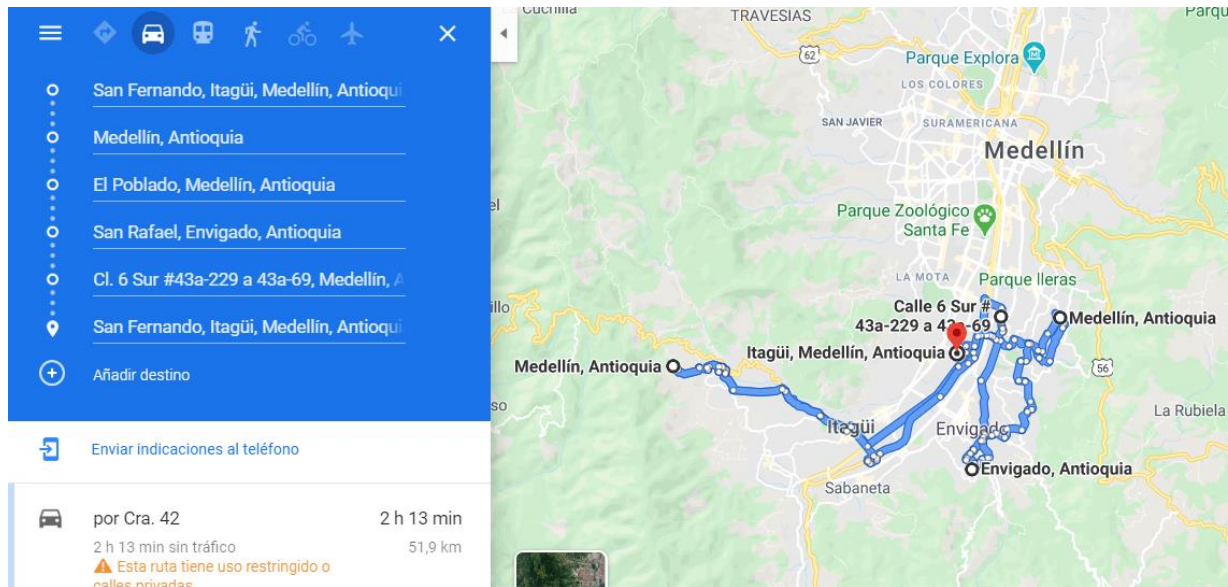
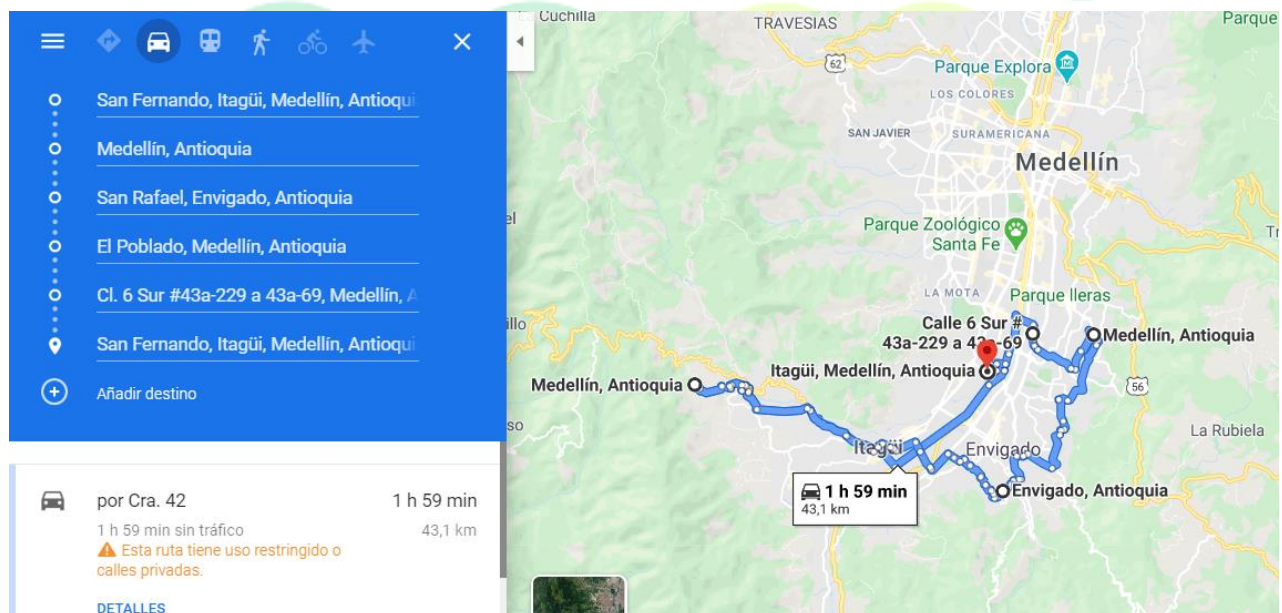


Ilustración 15 Ruta #12 Con Algoritmo Genéticos



Con el algoritmo se tuvo un recorrido total de 43,1 km.

Ahorro total de 8,8 km.

Ruta #13

Sin algoritmo se tuvo un recorrido total de 50,8 km.

Ilustración 16 Ruta #13 Sin Algoritmo Genéticos

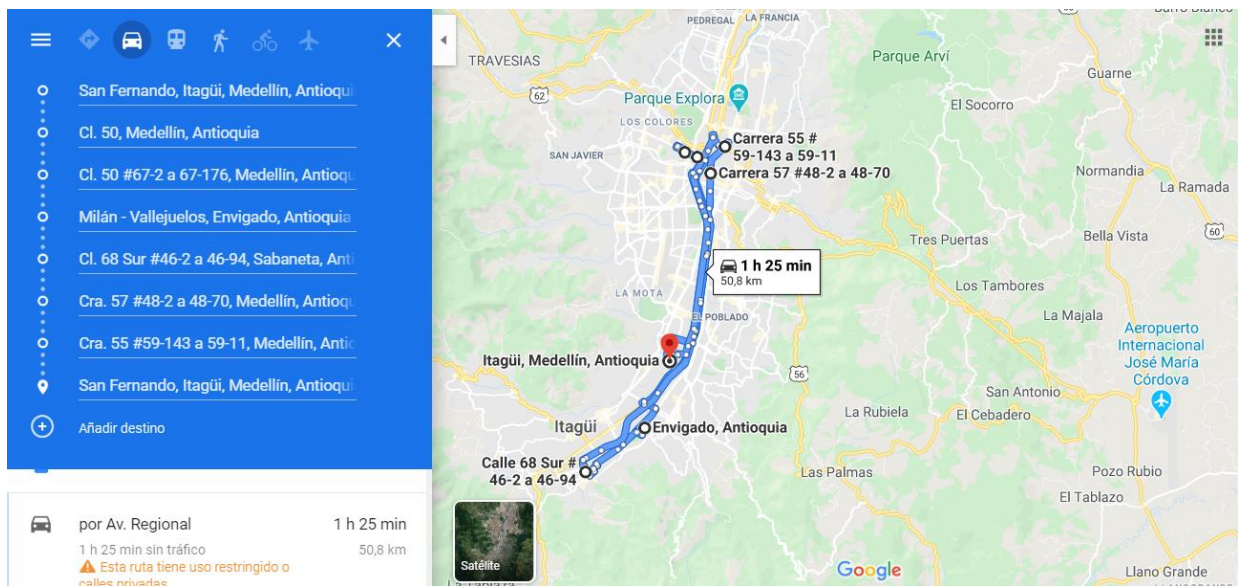
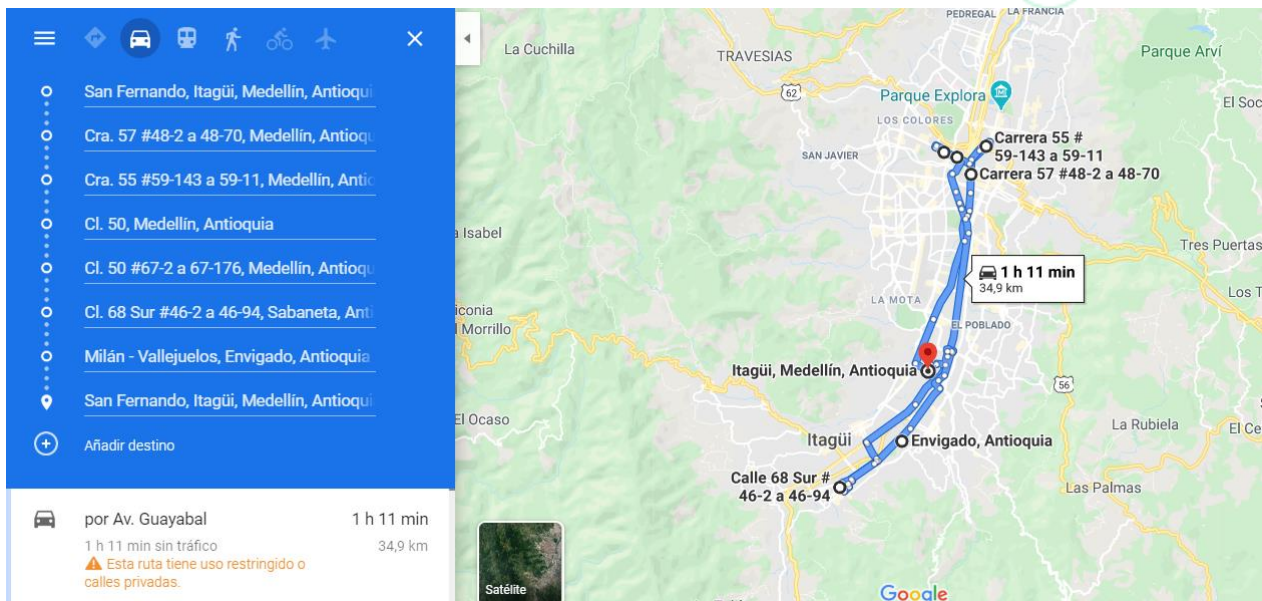


Ilustración 17 Ruta #13 Con Algoritmo Genéticos



Con algoritmo se tuvo un recorrido total de 44,5 km

Ahorro total de 15,9 km.

Ahorros

Tabla 11 Ahorros de Costos con el Algoritmo de Genéticos

Vehículo	Combustible	km/l	Precio por Litro	Cuadrillas	Costo Total
VACTOR	Diesel	2,5	\$ 2.154	3	\$ 990.072
Toyota Hilux	GNV	6,9	\$ 1.332	5	\$ 2.818.006
				Total	\$ 3.808.078

Tabla 12 Ahorros de Tiempo con el Algoritmo de Genéticos

Tiempos			
Suponagamos que cada vehiculo va a 30 km/h			
Vehículo	Cantidad	Horas	Minutos
VACTOR	3	6,13	367,8
Toyota Hilux	5	10,22	613

En definitiva, el algoritmo de genéticos representa un ahorro significativo para la empresa pues se obtiene un ahorro de 61,3 km, lo cual se traduce a una reducción en el consumo de combustible e incremento en el aprovechamiento de la mano de obra al disponerse de más tiempo.

Siendo más específicos, la cuadrilla EPM_GAR_MC_016 opera con el camión VACTOR, es decir, el consumo de este es por medio del combustible Diésel, el cual en el país para el presente año tiene un costo por lito de \$ 2.154 pesos colombianos. Por tanto, al investigar se encuentra que la empresa Webfleet Solutions muy popular en Europa en el tema de transporte, indica que el consumo de un camión “Depende de las dimensiones del mismo y de la carga, así como si realiza sus recorridos por entornos urbanos o interurbanos. Podemos establecer una media de unos 30 o 40 litros cada 100 km”. Con los anteriores datos se puede concluir que un camión VACTOR estaría consumiendo alrededor de 2,5 km/l. Por otra parte,

se encontró que una camioneta Toyota Hilux de acuerdo a las pruebas realizadas por Autos Básicos, estaría consumiendo cerca de 6,9 km/l, sin embargo, estas camionetas en EPM se abastecen mediante el Gas Natural Vehicular que tiene un costo de \$1.332 por litro.

Comparando los datos obtenidos con los estimativos de consumo se concluye que en total con las ocho cuadrillas laborando se tendría un ahorro monetario de \$ 3'808.078 al mes, en el mismo sentido, se presenta un ahorro de tiempo, pues suponiendo que cada vehículo va a una velocidad de 30 km/h, por parte del camión VACTOR, se tendría un ahorro de 367,8 minutos, lo que se traduce a que se podría realizar una solicitud de lavado de redes particular con VACTOR que demanda como máximo 360 minutos o tres lavados de redes H.Nocurno con 120 minutos como tiempo máximo, también, con los 613 minutos que se ahorrarían con las camionetas Toyota Hilux, se harían 30 Revisiones de aliviaderos que demandan 20 minutos.

10. Conclusiones

Se demostró una mejora en cuanto al ahorro de tiempos de retorno al despacho de Guayabal aplicando los métodos de Lean Manufacturing, en el mismo sentido, se logró optimizar los recorridos de los viajes mediante el algoritmo de genéticos a través de la solución del problema del agente viajero.

Por medio de la recolección de información, desde las herramientas de seguimiento (FSM, Hidro y Tablero de control) se pudo analizar e interpretar los datos con el fin de identificar las principales causas que generan las mudas que afectan el proceso, de este modo, se define que la motivación llevada a los empleados genero un mayor impacto en el retorno al despacho con un ahorro de 132,64 minutos al día. Por otra parte, se trabajó sobre la causa de Cambio en la programación bajo el enfoque de rutas, dado que, genera altos despilfarros de dinero y de tiempo, por lo que se propone el algoritmo de genéticos para generar rutas más optimas, simulándolo con la cuadrilla EPM_GAR_MC_016 en el mes de febrero, ambos datos tomados al azar, los resultados obtenidos fueron un ahorro de 61,3 km que llevándolo a las ocho cuadrillas de Mantenimiento correctivo sur, con los respectivos vehículos tanto VACTOR como las camionetas Toyota Hilux, se pudo obtener un ahorro mensual de \$ 3'808.078, del mismo modo, simulando que los vehículos se movilizaran a una velocidad de 30 km/h, se tendría por parte de los camiones VACTOR un ahorro de 367,8 minutos que representaría un lavado de redes particular con VACTOR que demanda como máximo 360 minutos o tres lavados de redes H.Nocturno con 120 minutos como tiempos máximo, por el

lado de las camionetas Toyota Hilux se obtendría un ahorro de 613 minutos que bien representaría 30 revisiones de aliviaderos que tardan 20 minutos como máximo.

En definitiva, el jefe del despacho venía manejando un comportamiento errado con sus operarios, pues su bajo liderazgo se demostró, dado que, con una simple mejora de recordar desde un tono amable a las cuadrillas la hora de retorno al despacho basto para que este indicador mejorara. Por otro lado, en el departamento UOMGAR, se siguen presentando fallas en las rutas, por lo que esta propuesta podría ser el eslabón adecuado para que toda la unidad mejore su disponibilidad a la hora de atender solicitudes de forma oportuna.

11. Recomendaciones

Se deben generar incentivos a los operarios del despacho para que los tiempos de retorno como la cantidad de solicitudes realizadas al día presenten mejores indicadores, por otro lado, el algoritmo puede ser mejorado para que genere a partir de todas las solicitudes las más cercanas de acuerdo al número de cuadrillas disponibles, de este modo se evitaría ingresar la cantidad de solicitudes por cuadrilla.

Referencias Bibliográficas

1. Empresas Públicas de Medellín E.S.P.. (1955). *Quiénes somos*. Medellín. [epm.com.co](https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa) Recuperado de <https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa>
2. Bryan Salazar López. *Investigación de operaciones*. . Ingeniería Industrial Online.com Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/investigacion-de-operaciones/>
3. Bryan Salazar López.. *Gestión y control de calidad*. . Ingeniería Industrial Online.com Recuperado de <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-y-control-de-calidad/>
4. SOCCONINI , LUIS . *Implementación de Lean Manufacturing Paso a Paso*. México: Grupo Editorial Norma
5. WEISE, Thomas. *Global Optimization Algorithms, Theory and Applications*. Online Version. 3rd. Edition, 2011.
6. Elsa Cristina Gonzalez la Rotta, Linda Bibiana Rocha Medina. (2011). Una revisión al estado del arte del problema de ruteo de vehículos: Evolución histórica y métodos de solución. 2020, de researchgate.net Sitio web: [https://www.researchgate.net/publication/305807773 State of the art review of the vehicle routing problem A historic account with solving methods](https://www.researchgate.net/publication/305807773_State_of_the_art_review_of_the_vehicle_routing_problem_A_historic_account_with_solving_methods)
7. Facultad de Ingeniería – Revista Ingeniería Primero No. 15 – Enero, 2010 - Pags.64-69 Revista Electrónica Ingeniería Primero ISSN: 2076-3166 Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Landívar. <http://www.tec.url.edu.gt/boletin> LEAN

MANUFACTURING MANUFACTURA ESBELTA/ÁGIL Por Ing. Lillian Padilla,
Impadilla@url.edu.gt

8. CRISTIAN DANIEL HENAO FLOREZ. (2013). UOMGAR. 2020, de EPM
Sitio web:
<https://mibitacora.epm.com.co/site/agu/Vice%20AyS/Ger%20AR/SitePages/UOMGAR.aspx>

9. CARLOS MARIO AGUDELO JARAMILLO, JOSE FERNANDO
SANCHEZ SOTO. (2014). Propuesta Mantenimiento Unidad Operación y Mantenimiento
Gestión Aguas Residuales Gerencia Gestion Aguas Residuales. 2020, de EPM Sitio web:
<https://mibuscador.epm.com.co/Paginas/resultados.aspx?k=UOMGAR>

10. JOHANA PATRICIA PIMIENTA VERA. (2013). GUIA
METODOLOGICA PARA LA ELABORACIÓN DE PROGRAMAS DE OPTIMIZACIÓN
DE SISTEMAS DE ACUEDUCTOS. 2020, de <https://repositorio.escuelaing.edu.co> Sitio
web:
<https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/76/1/Pimienta%20Vera%2c%20Johana%20Patricia%20-%202013.pdf>

11. John Fontecha-Garcia , Raha Akhavan-Tabatabaiea , Daniel Duque , Andrés
L. Medaglia , Juan Pablo Rodríguez. (2015). Optimización combinada de mantenimiento y
ruteo: El caso del manejo de bloqueos por sedimentos en sistemas de alcantarillado. 2020, de
repositorio.uniandes.edu.co Sitio web:
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/12992/u713664.pdf?sequence=1>

12. CARMEN ELISA MOYA, FREDDY MARTINEZ, JUAN CARLOS
ANAYA.. (1995). “OPTIMIZACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL RENDIMIENTO DE
LOS EQUIPOS MARCA VACTOR ESPECIALIZADOS EN EL LAVADO Y SUCCIÓN

PARA EL MANTENIMIENTO DE REDES DE ALCANTARILLADO” . 2020, de uao.edu.co Sitio web: <file:///C:/Users/jugra/Downloads/T0001916.pdf>

13. Ayleen Pérez Garzón, Maritza Robles Lozano. (2016). Programación eficiente de múltiples cuadrillas para el mantenimiento de redes de media tensión mediante algoritmos genéticos. 2020, de lasalle.edu.co Sitio web: <file:///C:/Users/jugra/Desktop/9179c9720e33fb9c8d2b956fccdf41e0b27c.pdf>

14. Webfleet Solutions. (2019). ¿Conoces el consumo de diésel de un camión por km?. 2020, de webfleet.com Sitio web: https://www.webfleet.com/es_es/webfleet/blog/conoces-el-consumo-de-diesel-de-un-camion-por-km/#:~:text=Datos%20de%20consumo,40%20litros%20cada%20100%20km

15. Universidad de Tokio, Laboratorio Iba. (2002-2020). Aprendizaje de algoritmos genéticos con Excel. 2020, de iba.t.u-tokyo.ac.jp Sitio web: http://www.iba.t.u-tokyo.ac.jp/software/Excel_Simulator/TSP_manual.html.

16. Laura Núñez . (2019). ¿Qué son los algoritmos genéticos?. 2020, de elpais.com Sitio web: https://elpais.com/elpais/2019/01/31/ciencia/1548933080_909466.html

17. Autos Básicos. (2018). Consumo final Hilux 2018 SR Doble cabina. 2020, de Autos Básicos Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=G3sIVyFHNHA>

Anexos

Anexo 1. Carta de Aceptación de la Empresa

Señores
POLITECNICO GRANCOLOMBIANO
 La Ciudad

ASUNTO: Aceptación de estudiante para prácticas profesionales

Reciba un cordial saludo,

Queremos informar que **JUAN PABLO GRAJALES CIRO**, con cédula de ciudadanía **1042067088**, estudiante del programa **INGENIERIA INDUSTRIAL** en su institución, fue aceptado(a) para realizar su práctica con nosotros.

El estudiante será vinculado (a) a través de un convenio de práctica, que inicia desde el **27 DE ENERO DE 2020** hasta el **26 DE JULIO DE 2020**.

La información correspondiente para contacto y seguimiento de la práctica es el siguiente:

CARGO	Estudiante de Práctica
TUTOR ASIGNADO	WILSON JAVIER MARTINEZ
ARL	Colmena
DEPENDENCIA	UNIDAD OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO GESTIÓN AGUAS RESIDUALES
APOYO DE SOSTENIMIENTO	1.5 SMMLV
TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PRÁCTICA	SEIS MESES
NOMBRE COMPLETO DE LA EMPRESA	Empresas Públicas de Medellín E.S.P.
NIT DE LA EMPRESA	890904996-1
REPRESENTANTE LEGAL	ALVARO GUILLERMO RENDÓN LÓPEZ
NÚMERO DE CÉDULA	70.550.851
DIRECCIÓN	Carrera 58 # 42-125 Medellín

Cordialmente,



MARIA ELIZABETH PÉREZ ARANGO
 Profesional Desarrollo Humano y Organizacional

Anexo 2. Plataforma ClickSchedule (FSM)

The screenshot displays the ClickSchedule (FSM) interface. At the top, there is a navigation bar with options like 'Principal', 'Ver', 'Programar', 'Monitor', 'Workload Management', 'Planeación', and 'Ayuda'. Below this is a 'Gantt Cuadrillas > GAR_MC (17)' view for the date 'viernes, 21 de febrero de 2020'. The Gantt chart shows various tasks assigned to different crews (Cuadrillas) over a 24-hour period. Tasks include 'Vehículo varado', 'Reclamando cámara de empuje', 'Sin Camioneta, Sin Ayudante, apoyo EPCS', 'Vivienda', 'PEPISCO', and 'CITA MEDICA'. A 'Lista de Tareas (6.316)' is visible at the bottom, listing tasks with details like 'Número de Identif.', 'Pr.', 'Tipo', 'Estado', 'Duración', 'Inicio', 'Finalizar', 'Recurso asignado', and 'Fecha Inicio Temporal'.

Anexo 3. Plataforma Hidro

The screenshot shows the 'Sistema Hidro' website. The header includes the 'epm' logo and the text 'Bienvenido, JOHN JAIRO RENDON RICO | Empresa: EMPRESAS PUBLICAS DE MEDELLIN | Fecha: 21/02/2020'. A navigation menu contains links for 'Maestros', 'Soporte', 'Configuración', 'Solicitudes', 'Contratos', 'Descargues', 'Interrupciones', 'Calibración Medidores', and 'Instalaciones'. The main content area features a large image of a water pipe installation and the heading 'HIDRO - Soporte a la Operación de Aguas'. Below this, a paragraph states: 'El sistema de información HIDRO soporta los procesos de distribución secundaria, recolección y transporte de Aguas Residuales desde la solicitud de un cliente o solicitudes internas de nuestros trabajos, hasta la atención y cumplimiento de las mismas.' At the bottom, there is a footer with a list of partner organizations and the text 'Empresas Públicas de Medellín - 2010 © Copyright - Todos los Derechos Reservados Resolución mínima de 1024 x 768 píxeles'.

eppm[®]