



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS A ÍTEMS
MÁS REPRESENTATIVOS REGISTRADOS EN
CONTRATOS REALIZADOS POR EPM PARA LA
REPARACIÓN DE ACUEDUCTOS Y ESTUDIO DE
LA PRODUCTIVIDAD EN OBRA EN
CONDICIONES ACTUALES**

Autor

Gabriel Jaime Arango Ríos

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia**

2020



**ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS A ÍTEMOS MÁS REPRESENTATIVOS REGISTRADOS EN
CONTRATOS REALIZADOS POR EPM PARA LA REPARACIÓN DE ACUEDUCTOS Y ESTUDIO DE
LA PRODUCTIVIDAD EN OBRA EN CONDICIONES ACTUALES**

Gabriel Jaime Arango Ríos

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Civil

Asesores

Willy García Henao
Derly Estefanny Gómez García

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental
Medellín, Colombia
2020

TABLA DE CONTENIDO

1	Resumen	8
2	Introducción	8
3	Objetivos	9
3.1	Objetivo general	9
3.2	Objetivos específicos	9
4	Antecedentes	9
5	Marco Teórico	11
5.1	Generalidades	11
5.2	Empresas públicas de Medellín (EPM)	11
5.3	Unidad de Operación y Mantenimiento Provisión Aguas (UOMPA)	11
5.4	Investigación y localización de fugas	12
5.5	Equipo Pérdidas Técnicas	12
5.6	Sistemas de distribución de acueducto	12
5.7	Funciones principales de la UOMPA	13
5.8	Rendimiento y consumo de mano de obra	13
5.9	Distribución de tiempo	14
5.9.1	Tiempo productivo (TP)	14
5.9.2	Tiempo contributivo (TC)	14
5.9.3	Tiempo no-contributivo (TNC)	14
5.10	Distribución de tiempo teórico	14
5.11	Depreciación de activos	14
5.12	Glosario	16
5.12.1	Aislada	16
5.12.2	Pre-aislada	16
5.12.3	Suspensión no programada	16
5.12.4	Suspensión programada	16
5.12.5	Acometida domiciliaria	16
5.12.6	Medidor	17
5.12.7	Red secundaria	17
6	Metodología	17
7	Resultados y análisis	26
7.1	Corte y rotura de pavimento	27
7.1.1	Tiempo No-Contributivo	28
7.1.2	Tiempo contributivo	30
7.1.3	Tiempo productivo	32
7.2	Excavaciones	33
7.3	reparaciones de daños	34
7.4	Llenos con arenilla y base granular	36
7.5	Pavimentos	38

7.6	Desplazamientos.....	40
7.7	Resultado general.....	43
8	Recomendaciones.....	45
8.1	Recomendaciones generales.....	45
8.1.1	Liderazgo y clima laboral,.....	45
8.1.2	Cambio de horario.....	45
8.1.3	Optimización de recursos.....	45
8.1.4	Uso de tecnologías.....	45
8.1.5	Incentivos.....	46
8.2	Recomendaciones particulares.....	46
8.2.1	Recomendaciones Corte y Rotura de Pavimento.....	46
8.2.2	Recomendaciones de excavaciones y reparaciones de daños.....	47
8.2.3	Recomendaciones de llenos con arenilla y base granular.....	47
8.2.4	Recomendaciones de pavimentos.....	47
9	Conclusiones.....	48
10	Referencias Bibliográficas.....	49
11	Anexos.....	51
11.1	Formato para toma de datos en campo.....	51
11.2	Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de excavaciones.....	52
11.3	Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de reparación de daños.....	54
11.4	Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de llenos con arenilla y base granular.....	55
11.5	Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de pavimentos.....	58

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Tasa de depreciación fiscal. Fuente. (Congreso de Colombia, 2016).....	16
Tabla 2 Valor de la puntuación Z, según niveles de confianza. Fuente. (Rodríguez, 2008).....	18
Tabla 3 Tamaño de muestra en horas, según nivel de confianza y error muestral.....	19
Tabla 4 nivel de incidencia por contrato y horas a analizar.....	19
Tabla 5 20 ítems elegidos según incidencia en el historial de contratos.....	20
Tabla 6 Convención utilizada para las actividades del caso de estudio.....	22
Tabla 7 Hora de salida de la bodega de las cuadrillas de corte y rotura de pavimento.	30
Tabla 8 Cantidad de cortes y roturas efectuadas promedio día.....	32
Tabla 9 Tiempo de duración del corte y de la rotura.....	33
Tabla 10 Cantidad de pavimento triturado por día.	33
Tabla 11 Desplazamiento promedio día por las actividades estudiadas.	43

LISTA DE GRAFICOS

Gráfico 1 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de corte y rotura de pavimento.	27
Gráfico 2 Tiempo no-contributivo, para la actividad de corte y rotura de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.	28
Gráfico 3 Sub-causas de la causa OTRO del tiempo no contributivo.....	29
Gráfico 4 Tiempo contributivo, para la actividad de corte y rotura de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.	31
Gráfico 5 Tiempo productivo, para la actividad de corte y rotura de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.	32
Gráfico 6 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de excavaciones.....	34
Gráfico 7 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de reparación de daños.....	36
Gráfico 8 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de llenos con arenilla y base granular.....	37
Gráfico 9 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad pavimento.....	39
Gráfico 10 Regresión lineal con origen en Robledo.	42
Gráfico 11 Distribución de tiempo según el total esperado teórico, modificado y encontrado del total de actividades.	44

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Zona de distribución de contratos. Fuente. (UOMPA, 2016).....	13
Ilustración 2 Buffer de distancia y tiempo promedio de recorrido con origen en Robledo. Fuente. (Autor, 2020).....	40
Ilustración 3 Buffer de distancia y tiempo promedio de recorrido con origen en Aranjuez. Fuente. (Autor, 2020).....	41
Ilustración 4 Buffer de distancia y tiempo promedio de recorrido con origen en Belén. Fuente. (Autor, 2020).....	41

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS A ÍTEMS MÁS REPRESENTATIVOS REGISTRADOS EN CONTRATOS REALIZADOS POR EPM PARA LA REPARACIÓN DE ACUEDUCTOS Y ESTUDIO DE LA PRODUCTIVIDAD EN OBRA EN CONDICIONES ACTUALES

1 Resumen

Al pasar los años se presentan avances significativos en la implementación de nuevas tecnologías para la ejecución de las obras, y estos son adoptados gradualmente según se tengan las necesidades, y donde se presenten mejores rendimientos, y ahorros notables para las empresas constructoras. Sin embargo, no se presentan investigaciones constantes del rendimiento de la mano de obra, en las que se planteen tablas confiables que estén sustentadas para su utilización. El presente informe, contiene algunos rendimientos de la mano de obra (RMO) para obras dispersas efectuadas en la reparación y reposición de las redes de acueducto y acometidas del Valle de Aburrá. Puesto que en la actualidad este es uno de los temas que generan más controversias debido a la falta de información confiable para la ejecución de los análisis de precios unitarios (APU).

Se presentan resultados en la forma de ejecución de algunas actividades como: el corte y rotura de pavimento, las excavaciones y reparaciones de daños, los llenos con arenilla y material granular para base y pavimentos. Los cuales son necesarias para mantener el servicio de agua en funcionamiento del área de estudio. También, se presentó la distribución de tiempos de las cuadrillas en un día normal de trabajo, para dos grandes contratos, que son administrados por la Unidad de Operación y Mantenimiento Provisión Aguas (UOMPA). De los cuales se presenta de forma estandarizada como es la ejecución de dichas actividades. Puesto que el objetivo de muchas de las constructoras es determinar métodos los cuales aporten a la disminución de costes y al aumento del rendimiento de los trabajadores, como también mantener bajo control todos los procesos que se ejecutan bajo su administración, logrando así permanecer activos en el mercado.

2 Introducción

Desde 1677 inicia la historia del agua en la ciudad de Medellín, donde posteriormente se construían sistemas de desagües subterráneos para las aguas, a partir de 1856 se empieza con la construcción de empresas privadas para la prestación del servicio de acueducto. Pero solo hasta 1925 se realiza la inauguración de la primera planta de clorinación de la cual se empieza a tener un 7% de reducción en los índices de mortalidad por enfermedades de origen hídrico (EPM, 2020).

Al contar con el recurso hídrico en Valle de Aburrá y con el mejoramiento de la calidad de vida de los pobladores, también se presentan algunas dificultades para mantenerlo, debido a que las tuberías, como muchas obras, no disponen de una certeza de durabilidad, a causa de los inconvenientes que se presentan en el funcionamiento, es decir, las redes de distribución y las acometidas domiciliarias fallan al transcurrir los años, por lo que es necesario contar con un equipo óptimo que garantice un buen funcionamiento, como lo es la Unidad de Operación y Mantenimiento Provisión Aguas (UOMPA).

Los rendimientos de la mano de obra (RMO) para la construcción han sido temas de alta controversia debido a la particularidad de las obras. En la actualidad no se cuenta con tablas de datos o estudios confiables en los cuales apoyarse para determinar el rendimiento de las reparaciones de daños u obras dispersas. Lo que deja para el cálculo del RMO a las experiencias obtenidas en campo. Ya que, los datos e investigaciones que se presentan van dirigidos principalmente para las construcciones estáticas.

Se tiene como necesidad efectuar un estudio confiable que se pueda usar como base para el cálculo del RMO en obras dispersas, en el cual se disponga de una metodología establecida y datos con niveles de confianza que sirvan para realizar los análisis de precios unitarios (APU), como también tener un indicativo de la distribución de tiempo de los trabajadores en campo, y presentar técnicas de mejora de estos. Es sabido que cada proyecto se comporta de manera única, para lo cual influyen un sin número de variables que se deben tener en consideración al momento de realizar el estudio y así evaluar si la forma en cómo se ejecutan las actividades, y si se están presentando sobrecostos y bajos desempeños en la empresa.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Realizar análisis de precios unitarios (APU) a los ítems más representativos de las contrataciones que ejecuta la unidad de operación y mantenimiento provisión aguas (UOMPA) con la información que se suministra en campo. También, se hará una propuesta para realizar un estudio de productividad de la mano de obra.

3.2 Objetivos específicos

- Actualizar la base de datos de materiales, maquinaria y mano de obra que dispone actualmente la UOMPA de acuerdo con los utilizados por los contratistas.
- Realizar una metodología que sea óptima y se encuentre soportada para la toma de datos de rendimientos de obra en campo.
- Llevar a cabo mediciones en campo al rendimiento real de la mano de obra y realizar APU con base en la información recolectada, dejando a su vez un formato del mismo.
- Identificar los tiempos y porcentaje de las actividades productivas, contributivas y no-contributivas, de las cuadrillas de los contratistas y proponer alternativas para aumentar la productividad de estos recursos.

4 Antecedentes

La Ingeniería Civil es una disciplina que tiene muchos procesos y métodos de construcción tradicional, afectando así, la evolución y el avance en los métodos de construcción. Debido a que no se realiza inversión en investigaciones y en sistemas tecnológicos existentes que

favorezcan estos métodos, la seguridad del personal y la disminución de los impactos socioambientales, lo cual conllevaría posteriormente a aumento de la rentabilidad.

Colombia dispone de investigaciones recientes al rendimiento de la mano de obra realizadas por profesionales de algunas de las universidades del país, donde se resalta alto aporte contributivo a determinar los tiempos de ejecución de las actividades para la construcción de edificaciones, que buscan estandarizar de forma general los rendimientos, para su uso, como es el caso del Arquitecto Constructor Luis Botero, quien realiza una investigación para presentar una tabla de datos confiable de la que se pueden apoyar profesionales en la construcción de viviendas de interés social, las cuales presentan una mayor proyección y desarrollo a medida que pasa el tiempo (Botero, 2002).

Se presentan diferentes tipos de técnicas para calcular el RMO y por consiguiente evaluar que tan asertivos y las condiciones en las que se ejecutan las actividades, puesto que se pueden realizar mediante el estudio de procesos y el estudio de tiempos, como se efectuó en la investigación realizada por Mejía y Hernández (2007), quienes determinaron que la técnica de “estudio de trabajo” (metodología desarrollada en su trabajo) permite el diseño y control de las obras.

Se desarrollaron cálculos del rendimiento para edificaciones, donde se recomienda contar con programaciones de obras previas con holguras que eviten la afectación de la obra en cuestión, como también, el uso de equipamiento y personal idóneo según sean las exigencias de la obra, además se indica que tener gran cantidad de personas en una obra no significa aumentar el rendimiento, puesto que se presentaron casos en los que se contaba con un gran número de trabajadores, los cuales no aportaban a la productividad. (Polaco, 2009).

Koskela (1992), citado por Sergio Arboleda (2014, p.117), dice que: “La principal recomendación de carácter general inherente de la nueva filosofía de producción es clara: La reducción de las actividades que no agregan valor en los procesos de ser sistemática y persistentemente disminuida. Paralelamente, las actividades que sí agregan valor deben ser aumentadas”. Las principales causas que ayudan a mejorar el rendimiento sean cual sea la obra que se analice debe mantenerse controlada y conocer las actividades críticas que requieren de un mejoramiento sustancial.

Se generan estudios del rendimiento mediante simulación como herramientas de análisis de información de las que se encuentran resultados efectivos, las cuales predicen cómo son los comportamientos bajo algunos criterios y características específicas, como fue investigado por Gómez y Morales (2015). Donde para los casos de estudios donde se consideran los tiempos de distribución para las actividades desarrolladas, presentan un sin número de causas. Puesto que a pesar de todos los estudios que se han efectuado para encontrar y estandarizar el RMO en la industria de la construcción no consideran la señalización, los desplazamientos y el constante cargue y descargue de herramientas a sus frentes de trabajo, dejando una base

adoptada desde estas características investigativas, que en su mayoría acogen la metodología Lean Construction que se refiere a la construcción sin pérdidas, la cual clasifica y determina una clasificación de las tareas ejecutadas como productivas, contributivas y no contributivas (Álvarez, 2007).

5 Marco Teórico

5.1 Generalidades

La cobertura en termino de conexiones efectivas del servicio de acueducto era alrededor de 76% en el año 1993, de la que si se considerara la calidad y continuidad del servicio, este disminuía hasta en un 38%, lo que evidenciaba un problema estructural ineficiente. En relación con la calidad del agua se presentaba únicamente un 62% de los habitantes urbanos con servicios de agua potable en Colombia. Sin embargo, para las tres ciudades principales del país (Bogotá, Medellín y Cali) se evidencia una cobertura del 90%. Con lo que sucede un hecho fundamental en la expedición de la ley 142 de 1994. Ley del "Régimen de Servicios Públicos Domiciliarios", la cual establece condiciones precisas en materia de regulación, operación, control y vigilancia. Buscando así que los servicios se presten a través de sociedades por acciones con un régimen especial, denominadas empresas de servicios públicos, las cuales pueden ser públicas o privadas. (PAHO, 1997)

5.2 Empresas públicas de Medellín (EPM)

Es una empresa prestadora de servicios públicos domiciliarios, que inició sus labores en el municipio de Medellín en el año 1955. Actualmente EPM llega a 123 municipios de Antioquia, donde atiende a 3,6 millones de habitantes. Imprimiendo los servicios que presta: energía eléctrica, gas por red, agua y saneamiento, con los más altos estándares internacionales de calidad.

La parte de acueductos cuenta con la certificación ISO 9001 por su unidad estratégica de aguas, la cual se encarga de:

- Producción de agua potable.
- Captación de acueducto.
- Distribución primaria de acueducto.
- Distribución secundaria de acueducto.
- Colección de aguas residuales.
- Tratamiento de aguas residuales.
- Interventoría en contratos de obras civiles.

Sistemas independientes.
(EPM, 2020).

5.3 Unidad de Operación y Mantenimiento Provisión Aguas (UOMPA)

La Unidad de Operación y Mantenimiento Provisión Aguas está encargada de "conceptualizar, estructurar, desarrollar la infraestructura y demás sistemas, operar y hacer la gestión

comercial de las soluciones entregadas a los clientes para el suministro de aguas para distintos usos” (EPM, 2020)

5.4 Investigación y localización de fugas

Se refiere a las actividades necesarias que se deben cumplir para analizar, investigar y localizar las fugas en las redes de distribución primaria y secundaria esparcidas por el sistema de EPM en el Valle de Aburrá. Estas actividades pueden ser realizadas por el recurso propio o por alguna de sus filiales.

5.5 Equipo Pérdidas Técnicas

“Consiste en la realización de actividades para la investigación y localización de fugas de acueducto en la red de distribución primaria y secundaria y el direccionamiento de acciones a otros procesos para controlar el índice de agua no contabilizada por pérdidas técnicas, orientadas al logro de las metas establecidas en el Plan de Gestión de Agua no Contabilizada.” (EPM, 2020)

Según los datos recopilados de la Unidad de Operación y Mantenimiento Provisión Aguas (UOMPA), se tiene que:

Las fugas se pueden presentar en dos modalidades, de las que podrían ser visibles o no visibles, donde las visibles son todas aquellas que afloran en la superficie y son detectadas a simple vista, ya sea en forma de charco o humedad. Mientras que las no visibles son las que se deben detectar mediante equipos especiales de detección como geófonos y tecnología acústica.

En la primera modalidad para la detección de fugas se encuentra que los autores principales de estas son la ciudadanía y usuarios, donde al localizar alguna fuga visible informan directamente a EPM para la atención correspondiente de esta, evitando así la mayor cantidad de pérdida de agua.

En la segunda, se presentan en zonas con un comportamiento atípico, donde existan cambios pronunciados en las cantidades de volúmenes y presiones de agua, lo que conlleva a una investigación de la zona, con el objeto de detectar la presencia de fugas, sin embargo, aunque esto no ocurra, se recorren redes al menos una vez al año.

5.6 Sistemas de distribución de acueducto

El sistema de distribución de acueducto del Valle de Aburrá está conformado por:

- 307 kilómetros de redes de distribución primaria.
- 115 tanques de almacenamiento de agua potable, con una capacidad de almacenamiento de 430.000 metros cúbicos.
- 3500 kilómetros de redes de distribución secundaria.
- 36000 válvulas de aislamiento.
- 6400 hidrantes.

Donde para atender la demanda de mantenimiento correctivo del sistema de acueducto de la ciudad se requiere de la implementación de 2 contratos, los cuales se dividen según su zona (Norte y Sur), en la ilustración 1, se presenta el alcance geográfico que dispone la UOMPA.

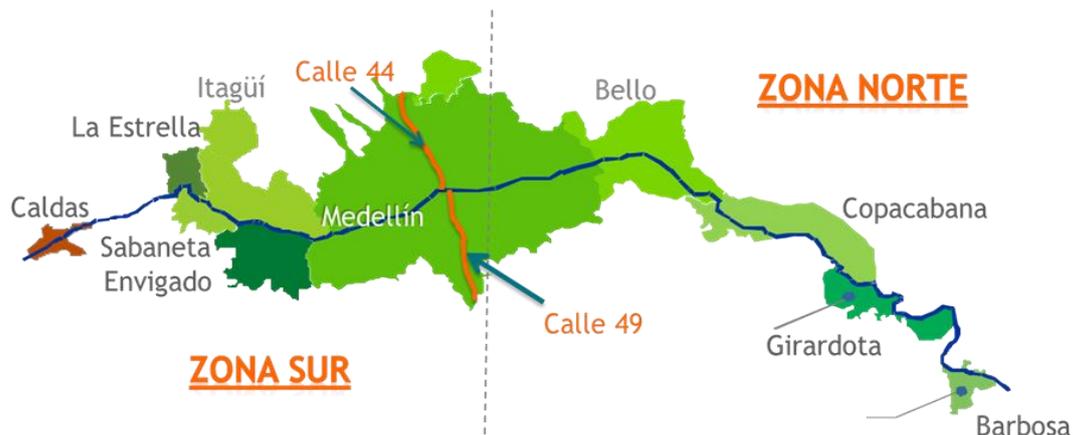


Ilustración 1 Zona de distribución de contratos. Fuente. (UOMPA, 2016)

5.7 Funciones principales de la UOMPA

Como funciones principales que presentan la UOMPA en el Valle de Aburrá, se tiene:

- Construcción, reposición o extensión de redes de acueducto en pequeños tramos, trabajos mecánicos, colocación y cambio de tapas para cajas de cualquier tipo de válvula.
- Reparación de daños en redes y accesorios de acueducto, construcción y adecuación de cajas para macro medidores y estaciones reguladoras de presión, taponadas de redes de acueducto.
- Mantenimiento de cajas de estaciones reguladoras de presión y macromedida.
- Excavación de nichos de investigación.
- Referenciación de redes de acueducto.
- Construcción muros de contención.

5.8 Rendimiento y consumo de mano de obra

Para la toma de datos en campo se opta por utilizar un método basado en la definición del rendimiento de la mano de obra (RMO), para el cual es necesario conocer el tiempo en que invierte alguna cuadrilla para realizar cierta actividad (un/hH), por ejemplo, 1 oficial y 1 ayudante producen en un día 2 m³ de llenos, lo cual es el objeto del caso de estudio, ya que se desea conocer cuánto producen los trabajadores de cierta actividad al día. Mientras que si se analiza por el consumo de mano de obra (CMO) que se refiere a la suma del tiempo invertido de cada trabajador por unidad de ejecución (hH/un), lo cual arroja la cantidad de horas que se necesitan para realizar cierta cantidad de obra.

La producción de obra depende de la actividad que se realice, puesto que no es lo mismo ejecutar un cambio de acometidas, que realizar el lleno de un nicho. Lo cual puede presentar variabilidad de la producción de obra, y se desea estandarizar las actividades realizadas por la UOMPA.

5.9 Distribución de tiempo

Se opta por un seguimiento presentado en la tesis de maestría del Ing. Willy García, la cual se basa en la metodología adaptada por Lean Construcción, donde se definen tres medidas para la distribución de tiempo, los cuales son el tiempo productivo (TP), el tiempo contributivo (TC) y el tiempo no contributivo (TNC). (García, 2017)

5.9.1 Tiempo productivo (TP)

Es todo aquel que esté centrado directamente a la importancia del ítem, es decir, si se analiza el ítem de excavaciones el tiempo productivo será todo aquel que se use para excavar efectivamente un nicho.

5.9.2 Tiempo contributivo (TC)

Se define como todo el tiempo en el cual se efectúen actividades necesarias para ejecutar tiempo productivo, con lo cual, siguiendo el ejemplo anterior, si se analiza el ítem de excavaciones, este tiempo será para las actividades que ayuden a realizarlas, como el descargue de herramientas, desplazamiento, recibir instrucciones, entre otras.

5.9.3 Tiempo no-contributivo (TNC)

Este tiempo se refiere a actividades que no se encuentran definidas en ninguno de los tiempos anteriores, ya que no aportan a la realización del ítem, por ejemplo, el tiempo ocioso, descansos, charlas, etc.

5.10 Distribución de tiempo teórico

Se encuentra que la distribución de los tiempos adoptados en el análisis, que se presenta para hallar el rendimiento óptimo en campo, definido para la construcción de edificaciones. Se presenta en la tesis de maestría del profesor Sergio Arboleda. La cual indica que, el tiempo productivo debe estar en el 60%, el tiempo contributivo en el 25% y el tiempo no contributivo en el 15%. La cual es la metodología base para esta investigación. (Arboleda, 2014)

5.11 Depreciación de activos

La depreciación de activos es un tema de controversia al momento de determinar en qué cantidad, tasa o criterio se requiere para establecer el decrecimiento del valor del activo en el tiempo.

Normalmente se recurre a cálculos simplificados, como el método de depreciación directa, donde se consume el valor total del activo en el tiempo establecido para su uso, en el que se hace el supuesto de que este no queda con ningún valor al terminar su uso, lo que no es del todo cierto, puesto que, a pesar de que disminuye el valor, el activo no se desaparece, a menos que ocurra una actividad atípica como el robo o la pérdida del elemento. Este método conlleva pérdidas económicas para la empresa contratante, debido a que cuando se calcula de esta manera se está pagando la totalidad del activo y el contratista queda con el insumo libre.

Otro método de depreciación que también es usado por algunas compañías es conocido comúnmente como reducción de saldos, que consiste en depreciar el valor del activo, pero dejando un importe al salvamento de este al finalizar el periodo de depreciación, que se hace a criterio de la entidad compradora. En estos casos se presentan contradicciones al momento de determinar el coste a salvar, lo cual lo hace de difícil aplicación cuando se desea calcular el valor de los equipos de construcción.

Por consiguiente, se opta por la aplicación de un método de la suma de los dígitos del año, que consiste en realizar una depreciación acelerada en sus primeros años de uso, ya que es cuando el activo puede perder más valor por gasto en las altas exigencias de los trabajos efectuados. Dejando así un valor de salvamento específico conforme se determine la cantidad de años a la que se le aplicaría el cálculo.

Govinden (1985), citado por Aráuz (2015, p.255) define que:

$$D_p = \frac{a}{b} * D \quad (1)$$

Donde:

a: sucesión decreciente formada a partir de la vida útil del activo.

b: suma de los dígitos

D: valor del activo

Para hallar la suma de dígitos, se usa la siguiente ecuación:

$$b = \frac{n}{2} * (1 + n) \quad (2)$$

Donde:

n: número de años declarados de la vida útil del activo

La dirección de impuestos y aduanas nacionales (DIAN) define una depreciación de pérdida de valor, basada en el consumo de activos por año, en tal tabla 1, se define que el tiempo estimado de uso de la maquinaria y de equipos, el cual es de 10 años, siendo así el tiempo que se recomienda utilizar para el cálculo del desgaste de equipos, combinado con la metodología presentada por Govinden. Sin embargo, se pueden tomar valores cercanos a este en donde se considere necesario.

Tabla 1 Tasa de depreciación fiscal. Fuente. (Congreso de Colombia, 2016).

CONCEPTOS DE BIENES A DEPRECIAR	TASA DE DEPRECIACIÓN FISCAL ANUAL %
CONSTRUCCIONES Y EDIFICACIONES	2,22%
ACUEDUCTO, PLANTA Y REDES	2,50%
VIAS DE COMUNICACIÓN	2,50%
FLOTA Y EQUIPO AEREO	3,33%
FLOTA Y EQUIPO FÉRREO	5,00%
FLOTA Y EQUIPO FLUVIAL	6,67%
ARMAMENTO Y EQUIPO DE VIGILANCIA	10,00%
EQUIPO ELÉCTRICO	10,00%
FLOTA Y EQUIPO DE TRANSPORTE TERRESTRE	10,00%
MAQUINARIA, EQUIPOS	10,00%
MUEBLES Y ENSERES	10,00%
EQUIPO MÉDICO CIENTÍFICO	12,50%
ENVASES, EMPAQUES Y HERRAMIENTAS	20,00%
EQUIPO DE COMPUTACIÓN	20,00%
REDES DE PROCESAMIENTO DE DATOS	20,00%
EQUIPO DE COMUNICACIÓN	20,00%

5.12 Glosario

Se definen algunos de los conceptos que se deben tener en consideración para el total entendimiento de este informe, algunos de estos son tomados de los definidos por la unidad de operación y mantenimiento provisión aguas (UOMPA), de sus labores en EPM.

5.12.1 Aislada

Suspensión temporal de la prestación del servicio de acueducto en las redes de distribución primaria o secundaria.

5.12.2 Pre-aislada

consiste en la suspensión temporal del servicio de agua en las redes primarias y secundarias de acueducto, se ejecuta con el objetivo de identificar las condiciones de operación antes de realizar una aislada. Únicamente se presenta en grandes áreas de afectación.

5.12.3 Suspensión no programada

Es toda interrupción del servicio de acueducto cuando se presentan daños o necesidades de intervención en las redes secundarias o primarias, que generan un impacto a terceros.

5.12.4 Suspensión programada

Es toda interrupción del servicio de acueducto la cual permite tener una preparación anticipada y comunicación oportuna a los usuarios que estarán afectados, esto sucede cuando se tienen actividades programadas, como el mejoramiento, modernización, expansión, entre otras, de las redes existentes.

5.12.5 Acometida domiciliaria

Es la derivación de distribución de acueducto que va hasta el medidor del inmueble, sin importar el tipo de edificación que se tenga.

5.12.6 Medidor

aparato usado para la medición y acumulación del consumo de agua, que debe cumplir con las especificaciones vigentes de EPM.

5.12.7 Red secundaria

parte de la red de distribución derivada de la red primaria, encargada de repartición de agua en ruta para los barrios y urbanizaciones de la ciudad.

6 Metodología

En primera instancia se realizó una actualización de los precios y proveedores de maquinaria, equipos y materiales que se utilizan en los contratos de mantenimiento de acueductos dirigidos por la UOMPA. Pero en el caso de los equipos, fue necesario dejar dos tipos de tablas, debido a que se requirió conocer la información en alquiler y compra, para así tomar la que mejor se ajustara a la realidad. Este último se llevó a cabo mediante depreciación de insumos por un plazo de 18 a 24 meses, puesto que este es el periodo más largo que puede estar en vigencia un contrato de la unidad, dicha desvalorización se efectúa según el periodo de tiempo establecido por la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales (DIAN). Adicionalmente, se hizo uso del método de suma de los dígitos de los años, que consiste en una disminución acelerada por desgaste mayor en sus primeros años ya que, en un ajuste a la realidad esto se presenta por los altos niveles de exigencia por parte de los contratistas al momento de usar los equipos en este tipo de obras. Puesto que, al analizar los demás métodos, indicados en la sección 5.10, se encuentra esta como la mejor alternativa para este tipo de estudios. También, es válido resaltar que es una sugerencia para la determinación del cálculo en el desgaste de materias y cada entidad es responsable de la forma en cómo se realice.

Los materiales están sustentados mediante los proveedores que puedan suplir las necesidades de la UOMPA, debido a que cualquier empresa no los produce con la calidad o dimensiones que son requeridos. Por lo que se presentaron dificultades al momento de realizar las tablas, ya que la información no fue muy específica con cada una de las particularidades de los elementos solicitados, dejando así las que más se asemejan a los requerimientos de la unidad. El formato de entrega de estas tablas de datos se realizó mediante el software de Microsoft Excel, el cual cuenta con facilidad de búsqueda del proveedor en caso de ser requerido, y con los valores actualizados a la fecha para uso en los respectivos APU o en lo que requiera la unidad.

Se define una metodología para la recolección de datos, la cual está basada en la definición del rendimiento de la mano de obra, que como lo indica Botero (2002), consiste en determinar la cantidad de obra ejecutada de alguna actividad por unidad de recurso humano. Por lo anterior se decide llevar a cabo un análisis con hora como unidad de medida. La población se tomó de 4015 horas, debido a que se asume un horario laboral de 11 horas diarias, por un año (365 días). Para realizar el cálculo de una muestra representativa que esté sustentada

estadísticamente y arroje resultados confiables para el análisis que se espera ejecutarse. Se usó el método de muestreo, para poblaciones finitas que esta propuesto por Martínez (2012) quien define lo siguiente.

$$n = \frac{Z^2 NPQ}{(N-1)E^2 + Z^2 PQ} \quad (3)$$

Donde,

n: es el tamaño de muestra.

P: proporción de la población que se desea estudiar, en el caso de no conocerla se asume la máxima heterogeneidad la cual da un valor de 0,5. Este valor aplica para el presente caso de estudio.

Q: es definida como (1-P).

E: es el error muestral.

N: es el tamaño de la población que se desea analizar.

Z: La puntuación Z, corresponde al número de desviaciones estándar el cual indica si el número se encuentra por encima o por debajo de la media aritmética. Este depende del nivel de confianza que se desea y se encuentra definido en la tabla 2, la cual lo indica según su nivel de confianza, (Rodríguez, 2008).

Tabla 2 Valor de la puntuación Z, según niveles de confianza. Fuente. (Rodríguez, 2008)

TABLA DE APOYO AL CALCULO DEL TAMAÑO DE UNA MUESTRA POR NIVELES DE CONFIANZA									
Certeza	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
Z	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
Z ²	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1.00	0.45
e	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.37	0.50
e ²	0.0025	0.0036	0.0049	0.0064	0.0081	0.01	0.04	0.1369	0.25

Con lo anterior se pudo realizar el cálculo para el tamaño de la muestra que se desea analizar para la población estipulada previamente de 4015 horas y con uso de la ecuación (3):

$$n = \frac{1,65^2 * 4015 * 0,5 * (1 - 0,5)}{(4015 - 1)0,1^2 + 1,65^2 * 0,5 * (1 - 0,5)}$$

$$n = 66,93$$

Con: **P:** 0,5, **q:** (1-0,5), **e:** 10%, **N:** 4015, **Z:** 1,65

Este cálculo que se realizó es el mismo aplicado a las opciones que se presentan en la tabla 3, de las cuales se efectuaron para determinar que tamaño de muestra se iba a utilizar, según el nivel de confianza y error muestral. Adicionalmente, se entrega una tabla en formato Excel la cual calcula automáticamente la muestra dependiendo de las necesidades o modificaciones que se requieran.

Tabla 3 Tamaño de muestra en horas, según nivel de confianza y error muestral.

TIPO	CANTIDAD (H)
Población	4015
Nivel de confianza 90 – Error 10	67
Nivel de confianza 90 – Error 5	255
Nivel de confianza 95 – Error 10	94
Nivel de confianza 95 – Error 5	351
Nivel de confianza 99 – Error 10	160
Nivel de confianza 99 – Error 5	571

Para el presente informe, se eligió una muestra de 67 horas, la cual tiene un nivel de confianza del 90%, y error del 10%, debido a que se encuentran entre los parámetros aceptables, puesto que al sobrepasar estos valores se cuenta con reducción en la validez de la información hallada en campo.

Tabla 4 nivel de incidencia por contrato y horas a analizar.

Contrato	Muestra (H)	Incidencia (%)	Total, contrato (H)
C1	67	58%	39
C2	67	42%	28

Los contratos mencionados en el presente análisis serán llamados C1 y C2 con el objeto de mantener una investigación discreta. La tabla 4 contiene la distribución del tiempo, según las zonas que se deseaban analizar, debido a que el Área Metropolitana se divide en dos para la ejecución de los contratos. Se cuenta con una influencia del 58% y 42% de nivel de influencia para C1 y C2 respectivamente. Que posteriormente se usó para la determinación de la cantidad de horas por zona, es decir, C1 aportó 39 horas de estudio, mientras que C2 necesitó de 28 horas.

Posteriormente se realizaron reuniones para determinar los ítems más representativos a analizar en el proyecto, debido a que en la actualidad se cuenta con más de 180 ítems para

los contratos, lo cual, por el tiempo restringido del periodo de práctica empresarial, era imposible su realización. Por ende, se toma la decisión inicial de analizar los 20 ítems más representativos, con base en la cantidad de obras ejecutadas en el historial de contratos de la unidad, que previamente fueron definidos por un estudiante de estadística y posteriormente aprobados por el Ingeniero Willy García (tutor encargado de EPM). En la tabla 5, se puede observar los ítems elegidos.

Tabla 5 20 ítems elegidos según incidencia en el historial de contratos.

Número	Ítem
1	Suministro, transporte y colocación de concreto asfáltico en caliente tipo IVÍAS MDC-2 para carpeta de espesor variable en restauración de pavimentos en zanjas y apiques, válvulas e hidrantes y dónde la interventoría lo autorice. incluye el suministro y al
2	Con material de préstamo (arenilla o similar) disperso, para nichos de investigación y por reparación de daños, con acceso vehicular
3	Excavación manual en cualquier material y grado de humedad, para nichos de investigación y reparación de fugas de acueducto hasta 2 metros de profundidad, para obras dispersas.
4	Cargue, retiro y botada de material sobrante y escombros a cualquier distancia (con acceso vehicular) para obras dispersas
5	Suministro, transporte y colocación de concreto asfáltico en caliente tipo IVÍAS MDC-2 para carpeta de espesor variable en restauración de pavimentos en zanjas y apiques en proyectos. (incluye riego de liga).
6	Corte, retiro, cargue, transporte y botada de pavimento flexible a cualquier distancia y en cualquier espesor para obras dispersas.
7	Reparación acometida en la caja del medidor de 1/2"
8	Cambio Acometida Con pavimento de 1/2"
9	Cambio Acometida Sin pavimento de 1/2"
10	Lleno y apisonado de nichos: Con material granular para base
11	Cargue, retiro y botada de material sobrante y escombros (con acceso vehicular)
12	Reparación Acometida En la tubería 1/2"
13	Excavación manual o mecánica en cualquier material y grado de humedad, entre 0 y 2 metros de profundidad para reposición e instalación de redes nuevas en proyectos.
14	Lleno y apisonado de nichos y zanjas: Con material de préstamo (arenilla o similar)
15	Reconstrucción de andenes en concreto, sin escalas con acceso vehicular
16	Reparación Acometida En la toma 1/2"

17	Lleno y apisonado de nichos y zanjas: Con material granular para base
18	Reparación daños y accesorios en red 3"
19	Corte, retiro, cargue, transporte y botada de pavimento Asfáltico (flexible) a cualquier distancia y en cualquier espesor para proyectos.
20	Taponada en toma hasta 1"

Consecutivamente se encuentra que la cantidad de ítems a la que se le desea conocer el rendimiento actual es un número considerable, y debido al tamaño de la muestra estadística elegida, quedaría aproximadamente 168 días, que equivalen a 8,3 meses, lo que dejó en claro que tampoco es posible su realización. Por lo anterior, se llegó a la decisión de no analizar los ítems de manera individual, sino elegir 5 actividades que se ejecutan e incluyen cierta cantidad de ítems, las cuales son: corte y rotura de pavimento, lleno con arenilla y base granular, pavimentos, excavación y reparaciones de daños.

La recolección de datos se realizó por medio de días consecutivos, que tenían como objeto hacer un seguimiento desde el momento de ingreso de las cuadrillas, hasta la hora de finalización de su jornada habitual, en las que no se tuvo presente horas extras laborales, hasta que se cumpliera con el objetivo de horas del muestreo de análisis por contrato. Además, los días elegidos fueron al azar, debido a que no hubo preferencias para el caso de estudio, asimismo como en la elección de los obreros. Sin embargo, existieron excepciones en las que no fueron designados algunos debido a que ocurrían situaciones particulares, tales como, capacitación de personal, daños específicos, emergencias, entre otras. Se hizo uso de un vehículo proporcionado por la empresa que consistió básicamente transportarme a todas las direcciones necesarias y esperar a que se efectuara el registro de las actividades que se realizaran.

El diseño del formato para la recolección de datos en campo se realizó con la intención de obtener la mayor cantidad de datos de las actividades que se deseaban estudiar, y evitar tener inconvenientes al momento de su interpretación, debido a que se deseó conocer cuál es el consumo del tiempo para ejecutar cada una de las causas por las cuadrillas del contrato. En la sección 11.1, se logra identificar el formato usado, el cual incluye: el recorrido en Km, la conformación de las cuadrillas, fecha, hora de inicio y finalización de cada actividad, el número de solicitud de hidro (código proporcionado por EPM para el desarrollo de la actividad) en caso de ser requerido, la zona donde se desarrollaría el seguimiento, el área, nota o dirección según sea el caso, y un código asignado previamente para un análisis más rápido de cada causa. Para el análisis de oficina se modificó ligeramente el formato en el que se incluye: el tiempo en minutos de cada actividad, unidad de la actividad correspondiente (m1, m2, m3 o unidad), el tiempo correspondiente de la causa (TP, TC y TNC) y el rendimiento efectuado.

Para recolectar la información de campo, fue necesario el uso de una convención que facilite la toma de datos. para lo cual se desarrollaron unas tablas compuestas principalmente por 3 columnas, donde, la primera es un código numeral que representa un tipo de información, con el objeto agilizar los datos que se van a usar, evitando así información cruzada entre actividades que se desarrollan en el día. La segunda es la causa, que se refiere a la tarea desarrollada en campo, debido a que un día normal de trabajo está compuesto por una cantidad de actividades que se deben tener en consideración, logrando así un análisis más completo de las labores que se realizan. Como se mencionó anteriormente, cada una de estas tiene un código asociado para una mejor interpretación de la información. Por último, se tiene la tercera columna que contiene el tipo de tiempo según su clasificación, es decir, cada actividad realizada en el día tiene un nivel de importancia, en las que para todas las causas realizadas en tiempo productivo se ubican en la categoría “productivo”, las elaboradas en tiempo contributivo están en “contributivo” y las efectuadas en tiempo no contributivo en “No-Contributivo”, como se observa en la tabla 6.

Tabla 6 Convención utilizada para las actividades del caso de estudio.

ROTURA Y CORTE DE PAVIMENTO		
Código	Causa	Tipo
1	Espera	No-Contributivo
2	Descanso	No-Contributivo
3	Reproceso	No-Contributivo
4	Tiempo ocioso	No-Contributivo
5	Desplazamiento improductivo	No-Contributivo
6	Otro	No-Contributivo
7	Recibir instrucciones	Contributivo
8	Corte	Productivo
9	Rotura	Productivo
10	Pausa martillo	Contributivo
11	Señalización	Contributivo
12	Recargue de combustible	Contributivo
13	Aislamiento	No-Contributivo
14	Cargue/descargue	Contributivo
15	Sopletear	No-Contributivo
16	Pausa activa	Contributivo
17	Desplazamiento	Contributivo
18	Barreno	No-Contributivo
19	Buscar dirección	Contributivo
20	Mantenimiento equipos	Contributivo
LLENOS CON ARENILLA Y BASE GRANULAR		
Código	Causa	Tipo
1	Espera	No-Contributivo
2	Descanso	No-Contributivo

3	Reproceso	No-Contributivo
4	Tiempo ocioso	No-Contributivo
5	Desplazamiento improductivo	No-Contributivo
6	Otro	No-Contributivo
7	Recibir instrucciones	Contributivo
8	Lleno arenilla	Productivo
9	Lleno afirmado	Productivo
10	Compactación mecánica	Productivo
11	Excavación	Contributivo
12	Compactación manual	Productivo
13	Señalización	Contributivo
14	Desplazamiento	Contributivo
15	Recargue de combustible	Contributivo
16	Pausa activa	Contributivo
17	Buscar dirección	Contributivo
18	Cargue/descargue	Contributivo
19	Sacar agua nicho	Contributivo
20	Medida y fotografía	Contributivo
21	Cargue de material	Contributivo
22	Sello (arenilla)	Productivo
23	Condiciones climáticas	No-Contributivo
24	Limpieza de zona	Contributivo
25	Cargue de escombros	No-Contributivo
PAVIMENTOS		
Código	Causa	Tipo
1	Espera	No-Contributivo
2	Descanso	No-Contributivo
3	Reproceso	No-Contributivo
4	Tiempo ocioso	No-Contributivo
5	Desplazamiento improductivo	No-Contributivo
6	Otro	No-Contributivo
7	Recibir instrucciones	Contributivo
8	Limpieza de zona	Contributivo
9	Uso de soplete	Contributivo
10	Riego de liga	Productivo
11	Capa de asfalto	Productivo
12	Compactación mecánica	Productivo
13	Excavación	Contributivo
14	Señalización	Contributivo
15	Desplazamiento	Contributivo
16	Recargue de combustible	Contributivo
17	Pausa activa	Contributivo
18	Buscar dirección	Contributivo

19	Cargue/descargue	Contributivo
20	Medida y fotografía	Contributivo
21	Condiciones climáticas	No-Contributivo
22	Cargue de escombros	Contributivo
REPARACIONES		
Código	Causa	Tipo
1	Espera	No-Contributivo
2	Descanso	No-Contributivo
3	Reproceso	No-Contributivo
4	Tiempo ocioso	No-Contributivo
5	Desplazamiento improductivo	No-Contributivo
6	Otro	No-Contributivo
7	Condiciones climáticas	No-Contributivo
8	Recibir instrucciones	Contributivo
9	Señalización	Contributivo
10	Buscar dirección	Contributivo
11	Cargue/descargue	Contributivo
12	Medida y fotografía	Contributivo
13	Desplazamiento	Contributivo
14	Hablar con cliente	Contributivo
15	Informar daño, reparación o cotización	Contributivo
16	Sacar agua de nicho	Contributivo
17	Controlar fuga	Contributivo
18	Limpieza de zona	Contributivo
19	Apoyo a otras cuadrillas	No-Contributivo
20	Confirmar dirección	Contributivo
21	Otro contributivo	Contributivo
22	Manejo de escombros	Contributivo
23	Cambio de acometida	Productivo
24	Excavación	Contributivo
25	Reparación de medidor	Productivo
26	Pausa activa	Contributivo
27	Buscar fuga	Contributivo
28	Lleno provisional	Contributivo
29	Reparación de acometida	Productivo
30	Reparación de tubería 1/2"	Productivo
EXCAVACIONES		
Código	Causa	Tipo
1	Espera	No-Contributivo
2	Descanso	No-Contributivo
3	Reproceso	No-Contributivo
4	Tiempo ocioso	No-Contributivo
5	Desplazamiento improductivo	No-Contributivo

6	Otro	No-Contributivo
7	Condiciones climáticas	No-Contributivo
8	Recibir instrucciones	Contributivo
9	Señalización	Contributivo
10	Buscar dirección	Contributivo
11	Cargue/descargue	Contributivo
12	Medida y fotografía	Contributivo
13	Desplazamiento	Contributivo
14	Hablar con cliente	Contributivo
15	Informar daño, reparación o cotización	Contributivo
16	Sacar agua de nicho	Contributivo
17	Controlar fuga	Contributivo
18	Limpieza de zona	Contributivo
19	Apoyo a otras cuadrillas	No-Contributivo
20	Confirmar dirección	Contributivo
21	Otro contributivo	Contributivo
22	Manejo de escombros	Contributivo
23	Reparación	Contributivo
24	Excavación	Productivo
25	Cambio de medidor	Contributivo
26	Pausa activa	Contributivo
27	Buscar fuga	Contributivo
28	Lleno provisional	Contributivo
29	Reparación de acometida	Contributivo
30	Reparación de tubería 1/2"	Contributivo

Posteriormente al trabajo de campo, se realizó la interpretación de los datos en oficina, con la ayuda de la herramienta Microsoft Excel, en la cual se traspasó la información física a formato virtual con la esperanza de encontrar el comportamiento de las cuadrillas de una manera precisa. Esto fue necesario para la obtención de los RMO de cada actividad y la distribución de tiempos de los contratos individuales y en conjunto, donde se generaron gráficos que evidencian que tan productivos al momento de realizar sus actividades y las falencias que se presentaron, esperando así generar recomendaciones asertivas para ejecutar de una mejor forma las actividades o resaltar si la forma de ejecución es la esperada según la base teórica adaptada.

Además del rendimiento de la mano de obra se quiso realizar un análisis de los desplazamientos a las direcciones donde se ejecutan las actividades de las cuadrillas, para ello se tomó toda la información de los recorridos realizados en las salidas de campo, separados por zona visitada, debido a que cada cuadrilla a la que se le hizo seguimiento contaba con una porción del Área metropolitana, con lo que al final del análisis se tuvo información suficiente para cubrir toda la zona de interés. Para esto fue necesario disponer de los tiempos de

desplazamientos, las distancias recorridas y la ubicación de las direcciones visitadas. Con lo cual se puede llegar a analizar el tiempo de desplazamiento promedio y las distancias recorridas en un día, como también la creación de un mapa que sirva para determinar según el centro de origen que se elija, una distribución del tiempo y distancia que sirva al momento de entregar una serie de direcciones a los trabajadores, se pueda conocer la duración aproximada.

La metodología que se usó para este análisis se basa en la construcción de radios desde un punto de origen y las distancias recorridas por los vehículos de los contratistas. Para poder estandarizarlo en forma radial fue necesario la creación de una regresión lineal de distancias horizontales de punto a punto y el recorrido real entre estos, posteriormente al contarse con la ecuación lineal del gráfico, se procede a efectuar los valores de los radios respectivos. Gracias al software Qgis se pudo realizar el buffer de distancia conveniente a cada zona, para la creación del mapa de desplazamiento total dividido por áreas recorridas. A su vez se realiza la entrega del tiempo de desplazamiento promedio y la cantidad de direcciones atendidas, asignadas a cada zona y en forma general del Área de estudio.

Se formuló una serie de recomendaciones al análisis de los resultados encontrados en campo, debido a que se tiene diferencias con el rendimiento óptimo esperado por la investigación, y el que se ejecuta actualmente. Estos presentaron gran variabilidad, debido a las dificultades y diferencias en la forma de ejecución de los contratistas, ya que la forma en la que esto influye es directamente por el tipo de administración con que se cuente.

Por último, se hizo la respectiva construcción de los APU con los datos encontrados en campo y las listas de precios actualizadas, a los ítems que se apliquen, debido a que, por el poco tiempo disponible para la realización del estudio, no fue posible abarcar todos los ítems que maneja actualmente la UOMPA, como ya fue mencionado. Adicionalmente, se dejó un formato para realizarlos.

7 Resultados y análisis

En las salidas de campo se logró identificar la forma de reparación que se efectúa por parte de los contratos, como también, el tipo de equipos y materiales usados, ya que, a pesar de no estar haciendo un trabajo de interventoría, se quiso tener presentes estos procesos y asegurar que los rendimientos provengan de actividades bien ejecutadas.

En este estudio no se tuvo en consideración el retiro de la hora del almuerzo, debido a que los contratos no cuentan con un espacio destinado netamente a esta actividad, sin embargo, esta es incluida en el tiempo no contributivo, para facilidad en el análisis. La metodología empleada requiere de una muestra de 67 horas, con una confiabilidad del 90% y un error muestral del 10% como fue definida en la sección 6. Se asume que ambos contratos presentan un proceso

constructivo similar, en los cuales usan un mismo tipo de herramientas, equipos, personal y vehículos, lo que no es del todo cierto, ya que en ocasiones se presentaban variaciones de estos campos.

7.1 Corte y rotura de pavimento

como la descripción de su ítem lo indica, es el corte y rotura de pavimento flexible en cualquier tipo de vía, que facilita el acceso a la excavación. Para la ejecución de esta actividad es necesario el uso de un compresor, martillo con su punta correspondiente, un vehículo de transporte de materiales y equipo, una cortadora de piso con su sierra circular, un cortador y un compresorista. La unidad de pago se efectúa en M3.

A continuación, se presentan los gráficos que indican los porcentajes en la distribución de tiempo para los contratos de forma individual y conjunta.

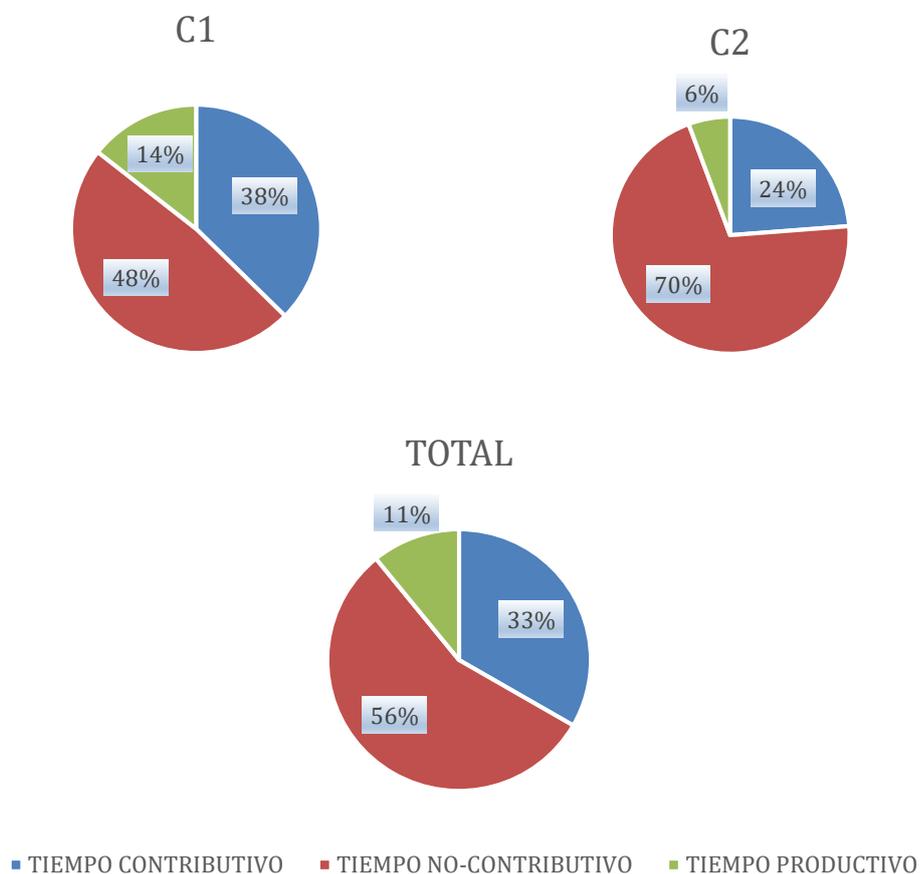


Gráfico 1 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de corte y rotura de pavimento.

Como se logra identificar en el gráfico 1, se tienen diferencias notables en los tiempos que presentan los contratos de forma individual, esto es debido a la forma de ejecución de las actividades, puesto que en el caso de C1 se cuenta directamente con una cuadrilla exclusiva para esta, lo cual aumenta el TC y TP y disminuye el TNC, sin embargo, no se encuentra entre

el tiempo permitido del 15%, que fue definido en la sección 5.10, ya que con este se espera que el rendimiento se encuentre en niveles aceptables para la ejecución de sus actividades. C2, no dispone de un camión exclusivo para la actividad, debido a que se debe transportar a personal de otros ítems, como los de reparaciones. Lo que provoca una interferencia directa al rendimiento. Esto induce disminuciones considerables de las que el TP es de apenas un 6%, el TC del 24%, y un aumento del TNC en 22% aproximado al compararlo con C1.

Para el total de contratos, se tiene un rendimiento conjunto entre ambos estudios, puesto que se busca realizar una estandarización de la actividad, ya que con esto es posible observar un comportamiento más general y amplio que se produce en este tipo de obras dinámicas. Donde para el ítem de corte y rotura de pavimento, se presenta que el tiempo productivo es del 11% aproximado, el cual necesita de un 33% de TC para poder lograr su ejecución, esto se debe a que se cuenta con un TNC del 56%, que es un consumo de tiempo bastante pronunciado, indicando que entre los parámetro elegidos anteriormente en la tabla 6, se estaría disponiendo de más de la mitad del tiempo de un día normal de trabajo como perdido, ya que en esta parte no indica avance de la obras analizada.

7.1.1 Tiempo No-Contributivo

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para el tiempo no contributivo de los contratos a los cuales se les hizo seguimiento en la actividad que se está estudiando. Este cuenta con tareas como “Aislamiento”, “sopletear” y “Barreno”, que para otro tipo de análisis se puede considerar como TC o TP, ya que son acciones que ayudan con el avance total del proyecto. Debido a que se opta por un estudio simplificado, en este caso se consideraron como actividades del TNC, puesto que no aportan rendimiento al caso de estudio.

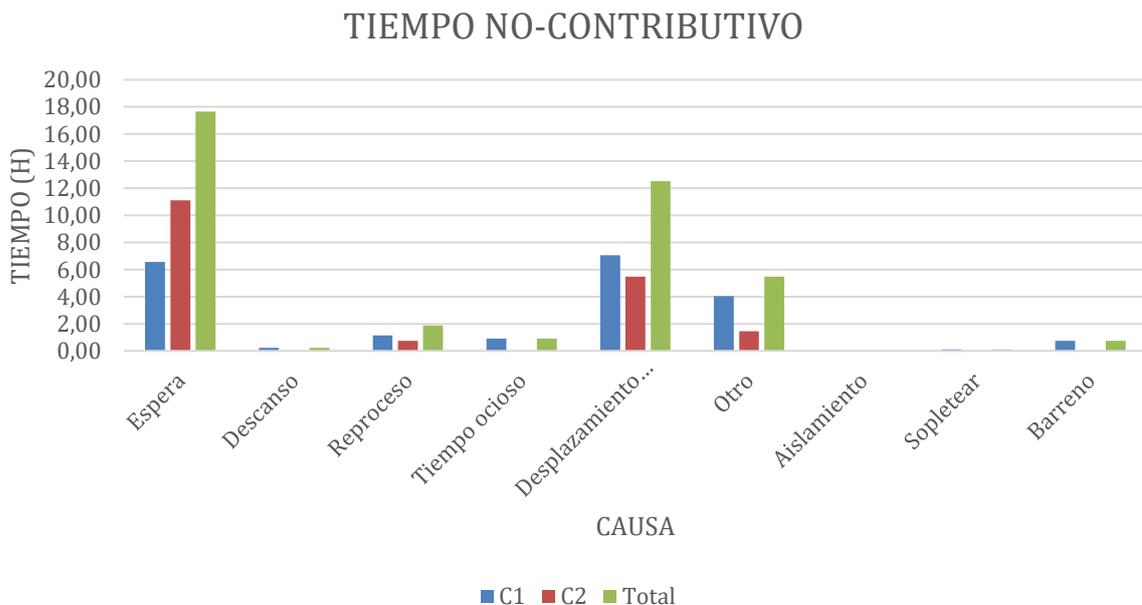


Gráfico 2 Tiempo no-contributivo, para la actividad de corte y rotura de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.

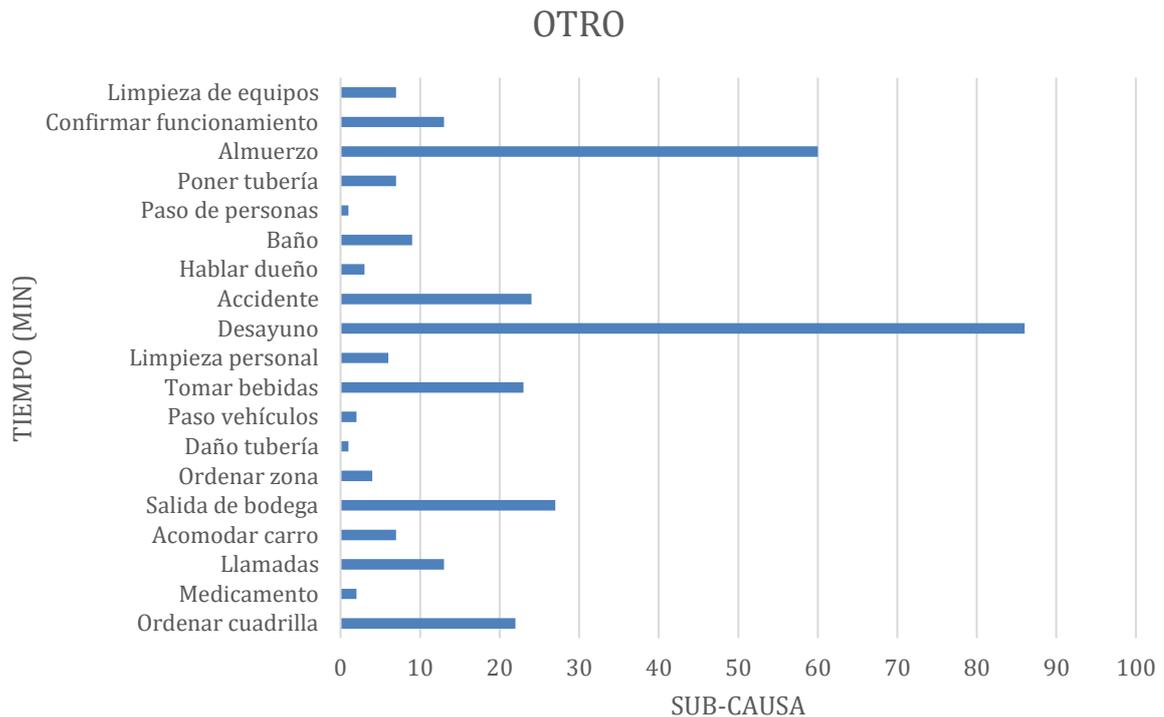


Gráfico 3 Sub-causas de la causa OTRO del tiempo no contributivo.

En el gráfico 2 se puede apreciar la distribución del TNC, en el que se presenta un consumo de más del 44% en “esperas”, siendo de esta manera el más representativo, donde C2 aporta un 27,7% más que C1. En un análisis general de la actividad se encuentra que esta causa tiene una incidencia del 25%, produciendo una pérdida aproximada de 2,7 horas diarias. La causa principal de que se produzcan estas pérdidas radica en: la falta de direcciones, mala coordinación de los encargados o ingenieros, daño de los equipos, falta insumos para la operación, y demoras en salida de la bodega, para esta última, se puede apreciar en la tabla 7 que existe una pérdida aproximada de 40 minutos y 1 hora y 9 minutos para salir de las bodegas de C1 y C2 respectivamente, según su horario de entrada.

El “desplazamiento improductivo”, es la segunda causa con mayor influencia, equivaliendo a más del 31% del TNC, y es producida por la falta de marcación de la fuga, puesto que en repetidas ocasiones se tenían direcciones que no se habían marcado previamente para hacer el corte y posteriormente la rotura, e inclusive se presentaron casos donde ya se había realizado el corte, pero por no descargar la información estas aún seguían activas en el sistema. También, por una mala interpretación de direcciones, se presentaban ocasiones que se llegaban a sitios inexistentes, o no era posible el acceso de los equipos. Lo que era producido por falta de una revisión previa de las direcciones en las que se indiquen detalles de lo que se encontrará en campo. también, se presentaron ocasiones en las que se realizaron desplazamientos a consultas personales, como compra de medicamentos o comida en horario laboral. Para esta causa, se presenta un aumento aproximado del 5% para el C1 con respecto al C2 (29%), indicando así que esta emplea mayor tiempo en lo explicado previamente.

La causa “otro” se refiere a la suma de todas las actividades pequeñas que no son significativas individualmente, pero de alto impacto si se analizan de forma colectiva. Como se evidencia en el gráfico 3, existen dos sub-causas principales, que son el “desayuno” y el “almuerzo” con una influencia del 46% de la causa, donde en promedio equivale a 23 minutos de alimentación al día. También, se logra identificar que, existen situaciones ajenas a las cuadrillas, como los accidentes o hablar con personas que no se presupuestan en el análisis.

Aunque se tienen causas que se podrían considerar como productivas en otras situaciones o ítems como lo son “Aislamiento”, “sopletear” y “Barreno”, ya que, no es tiempo perdido por los trabajadores, sino que son necesarias su ejecución en condiciones generales del contrato, sin embargo, estas no aportan en la realización del ítem que se analiza. Además, estas no representan un aumento importante al TNC, debido a que entre estas tres causas se aportan un 2,2%, llegando a ser así, las de menor influencia.

Tabla 7 Hora de salida de la bodega de las cuadrillas de corte y rotura de pavimento.

	Salida de bodega C1 (H)	Salida de bodega C2 (H)
Día 1	7:30	7:30
Día 2	7:41	7:48
Día 3	7:52	
Día 4	7:38	
Promedio	7:40	7:39
Ingreso	7:00	6:30
Demora en salida	0:40	1:09

7.1.2 Tiempo contributivo

Este tiempo está compuesto por actividades contributivas como, recibir instrucciones por parte de los encargados, pausa activa del personal de trabajo, señalización de obra a intervenir, recargue de combustible para los vehículos de transporte, cargue y descargue de herramientas, desplazamiento hacia las direcciones requeridas, y búsqueda de direcciones de difícil acceso, como se muestra a continuación.

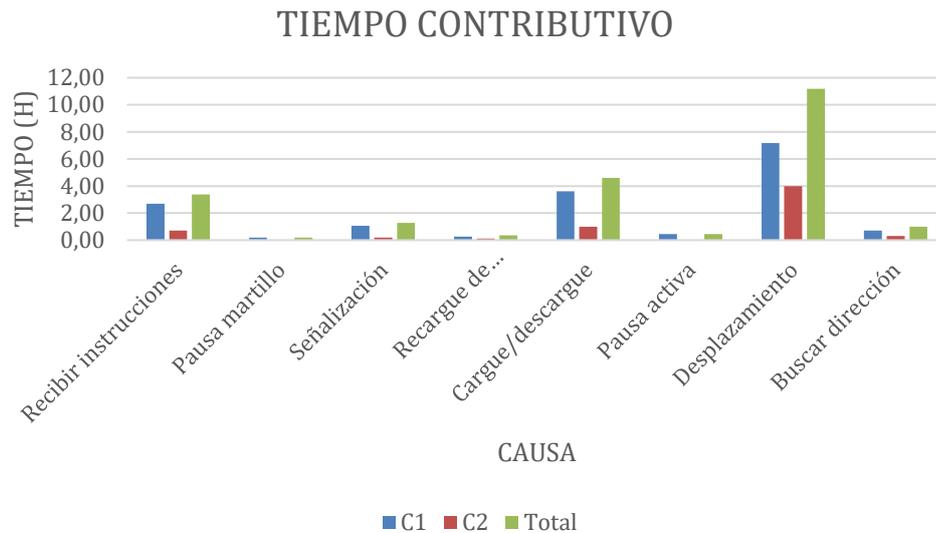


Gráfico 4 Tiempo contributivo, para la actividad de corte y rotura de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.

Del gráfico 4 se logra identificar que la causa principal del TC es el desplazamiento, que representa más del 49% en el total de los contratos, lo que lo sitúa como la causa principal. Se debe a que es una actividad indispensable al momento de poder cumplir con el objetivo de las actividades productivas, ya que estas se encuentran como obras dispersas por el Área Metropolitana y se debe destinar de aproximadamente de 1,74 horas al día promedio, para ambos contratos. Sin embargo, el C1 emplea un desplazamiento menor, respecto a C2, puesto que lo hace en 45% y 63% aproximado, respectivamente. Ya que si se tienen en consideración los valores dados por la gráfica se identifica un mayor tiempo empleado para C1 con 7,2 horas, sin embargo, el tiempo de la muestra también es más grande (16,2 horas), lo que reduce el nivel de incidencia, respecto al presentado por el otro contrato (4 con 6,3 horas de TC).

“Recibir instrucciones” y “cargue/descargue” son actividades de suma importancia y de alto impacto, debido a que juntas suman más del 35% en el análisis total del TC. Donde se consume 1,24 horas aproximadas en el día, Esto deja evidente que es importante para las cuadrillas confirmar de manera constante la actividad que van a realizar y los sitios que se van a cortar, para evitar reprocesos o cortes indebidos. También, se presenta que se consume tiempo significativo en el cargue y descargue de las herramientas, debido al tamaño de estas y dificultad en la maniobrabilidad.

Se cuenta con 5 actividades que no representan un alto impacto en el tiempo, que son: “pausa de martillo”, “Señalización”, “Recargue de combustible”, “Pausa activa” y “Búsqueda de dirección”. ya que, unidas llegan escasamente al 14% del TC, pero esto no les resta importancia, debido a que son necesarias para poder realizar un trabajo responsable y seguro, tanto para la sociedad, y el ambiente, como para los operarios.

El tiempo contributivo total empleado en un día laboral es de 3 horas y 34 minutos aproximados, teniendo presente todas las causas que lo componen, lo cual representa un 33% aproximado del análisis total para ambos contratos.

7.1.3 Tiempo productivo

Se continua con las actividades productivas producidas, compuestas básicamente del corte y la rotura de pavimento. Como se puede identificar a continuación.

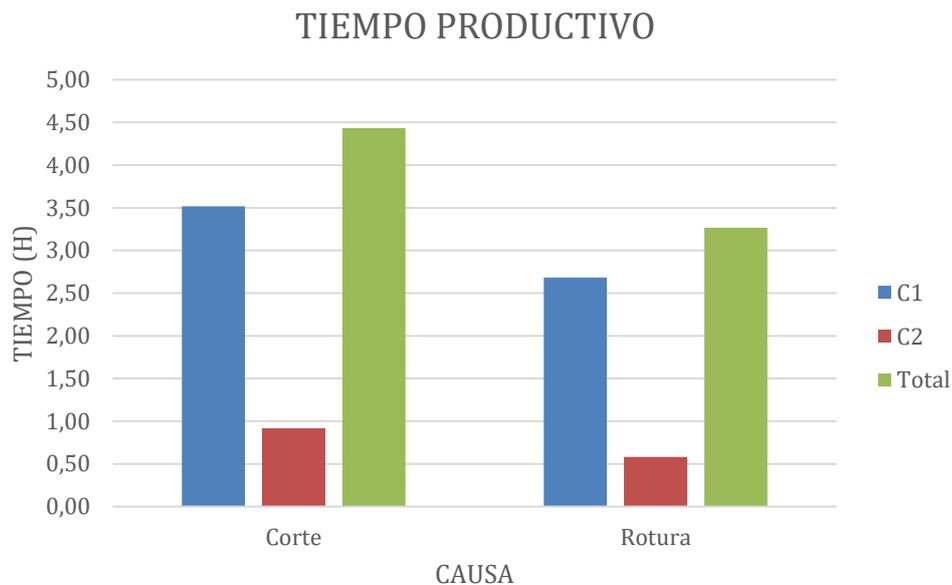


Gráfico 5 Tiempo productivo, para la actividad de corte y rotura de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.

En la gráfica 5 se tiene que el corte es quien demanda más tiempo, ya que en el tiempo total productivo tiene una incidencia del 57,6% frente el 42,4% que genera la rotura. Esta diferencia se presenta debido a que cada actividad demanda un tiempo diferente por los procesos de ejecución, ya que, el corte por lo general es la actividad que se realiza con mayor precaución debido a la exactitud requerida, mientras que la rotura no lo requiere. En el caso de C1 existe mayor cantidad de tiempo invertido en ambas tareas, debido a que como indica la tabla 8 se proporciona en promedio día una mayor producción de cortes y roturas con respecto a C2, aumentando así el tiempo de estas, ya que como indica la tabla 9 el tiempo promedio de la actividad en ambos contratos es similar.

Tabla 8 Cantidad de cortes y roturas efectuadas promedio día.

TIPO	CANTIDAD (UNIDAD)
Corte promedio total	5,7
Rotura promedio total	6,0
Cortes promedio C1	8,3
Rotura promedio C1	9,0

Corte promedio C2	2,3
Rotura promedio C2	2,0

Tabla 9 Tiempo de duración del corte y de la rotura.

	Tiempo (H)	Tiempo (min)
Duración de un corte C1	0,43	26
Duración de una rotura C1	0,30	18
Duración de un corte C2	0,39	24
Duración de una rotura C2	0,29	18

Tabla 10 Cantidad de pavimento triturado por día.

	Longitud de corte (m)	Área de rotura (m2)	Pavimento triturado (m3)
Cantidad producida real	28,23	5,81	0,73

La norma indica que cada que exista un corte, se debe continuar con una rotura, para garantizar acabados correctos en el nicho que se desea intervenir, pero se presenta una diferencia en la cantidad de ejecución de estos como se evidencia en la tabla 8 debido principalmente a que se presentaron situaciones en las que por el difícil acceso de la zona no se pudo intervenir con el equipo completo, también, por la necesidad del momento en ejecución de la actividad ya que no era necesario el uso del martillo, porque se deseaba ampliar el tamaño de un nicho o el pavimento no requería de trituración. Asimismo, se encuentra en la tabla 10 la cantidad de pavimento triturado promedio día, en que para su producción es necesario conocer que el promedio en corte y el área que se requiere triturar, si se desea calcular el desgaste promedio de equipos.

De forma análoga se realiza un análisis para las 4 actividades restantes, como son, excavaciones, reparaciones de daños, llenos con arenilla y material granular y pavimentos. Se presentan los resultados obtenidos del análisis de campo para cada una en la distribución de tiempo.

7.2 Excavaciones

La excavación es una actividad que consiste en remover material en un área de intervención de obra, para permitir el acceso a la fuga o daño que se produjo con anterioridad. Para realizar esta actividad es necesario del uso de una volqueta, herramienta menor, planta eléctrica, bomba sumergible, gasolina para la planta eléctrica, un oficial y un ayudante. Su unidad de medida es el M3.

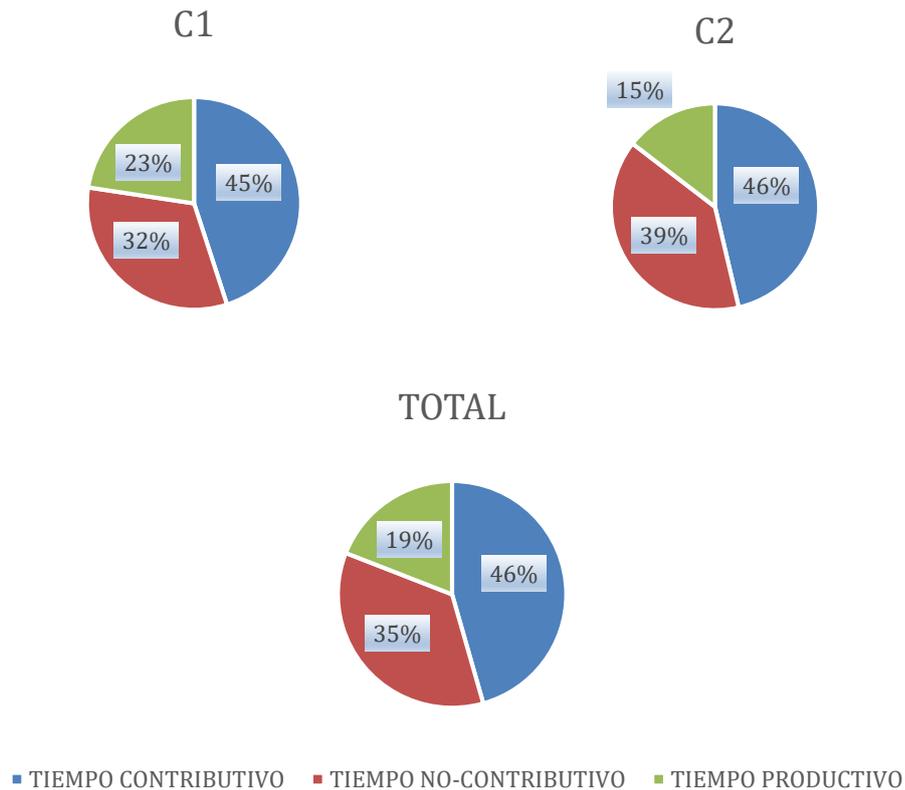


Gráfico 6 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de excavaciones.

las reparaciones, se presenta un aumento del TP en excavaciones para el contrato de C1, con un TC menor, ya que se produce un 22% con un 46%, mientras que C2 realiza 14% con 48%. Donde, de forma similar se crea un balance entre ambos contratos para llegar a que las actividades productivas promedio sean del 19%. Donde para ambos contratos se presentó un TNC del 35% que en comparación con lo presentado por la teoría se tiene un aumento del 20%.

Los resultados detallados del análisis para la distribución de tiempos (TP, TC y TNC) en la actividad de excavaciones, se encuentra en la sección de anexos 11.2.

7.3 reparaciones de daños

La reparación de daño, como su nombre lo indica, es una actividad que se realiza para reparar los daños o fugas que se encuentran al ejecutar la excavación, sin embargo, también es necesario realizar reparaciones a los daños que se presentan en la superficie, es decir, a los ocasionados en la caja de medidor, como la reparación de acometida en la caja de este, ya que estas no se encuentran en el subsuelo. EPM suministra todos los materiales en esta actividad, con lo que se requiere únicamente de un camión para el transporte, herramienta menor, un oficial y un ayudante. Su unidad de medida es la unidad.

La reparación de daños se divide en 34 ítems, como se manifiesta en la tabla 11, de las cuales a la pareja que se le hizo seguimiento puede realizar cualquiera de estos en su día a día. Sin embargo, el tamaño de la muestra no fue suficiente para abarcarlas todas, lo que dejó un

análisis limitado a de 3 ítems. Dicho esto, se debería tener en consideración otro estudio a mayor profundidad, en el que se pueda analizar la población con otra unidad de medida, como pueden ser días, reparaciones completas, meses o inclusive aumentar en nivel de confianza y disminuir el error muestral. Con lo anterior, se indica que los rendimientos encontrados para esta actividad no presentan una buena confiabilidad y por ende no se recomienda utilizarlos para cálculo del RMO o dar juicio del comportamiento general de las parejas en campo. Sin embargo, se realiza un análisis del estudio encontrado para así tener una percepción amplia de lo ejecutado por los contratos.

Tabla 11 Ítems ejecutados por una cuadrilla de reparación de daños.

5,1 REPARACIÓN DAÑOS Y ACCESORIOS EN RED HASTA 2" 1/2"
5,2 REPARACIÓN DAÑOS Y ACCESORIOS EN RED HASTA 3"
5,3 REPARACIÓN DAÑOS Y ACCESORIOS EN RED HASTA 4"
5,4 REPARACIÓN DAÑOS Y ACCESORIOS EN RED HASTA 6"
5,5 REPARACIÓN DAÑOS Y ACCESORIOS EN RED HASTA 8"
5,6 REPARACIÓN DAÑOS Y ACCESORIOS EN RED HASTA 10"
5,7 REPARACIÓN DAÑOS Y ACCESORIOS EN RED HASTA 12"
5,8 REPARACIONES EN RED CON COLLAR Y TAPÓN SIN IMPORTAR EL DIÁMETRO
6,01 REPARACIÓN ACOMETIDA EN LA TOMA 1/2"
6,2 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA TOMA 3/4 Y 1"
6,3 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA TOMA DE 1 1/2" Y 2"
6,4 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN TUBERIA 1/2"
6,5 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA TUBERIA 3/4" O 1"
6,6 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA TUBERIA 1 1/2" Y 2"
6,7 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA TUBERIA 2 1/2" Y 3"
6,8 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA CAJA DE MEDIDOR DE 1/2"
6,9 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA CAJA DE MEDIDOR DE 3/4"Y 1"
6,10 EN LA CAJA POR MEDIDOR HURTADO 1/2"
6,11 EN LA CAJA POR MEDIDOR HURTADO 3/4" Y 1"
7,1 REPARACIÓN ACOMETIDAS EN COBRE RIGIDO DENTRO DE LA CAJA DE MEDIDOR DE 3/4" Y 1" CON USO DE SOLDADURA
7,2 REPARACIÓN ACOMETIDAS EN COBRE RIGIDO DENTRO DE LA CAJA DE MEDIDOR DE 1 1/2" Y 2" CON USO DE SOLDADURA
7,3 REPARACIÓN ACOMETIDAS EN COBRE RIGIDO DENTRO DE LA CAJA DE MEDIDOR DE 2 1/2" Y 3" CON USO DE SOLDADURA
8,1 TAPONADA EN LA TOMA HASTA 1"
8,2 TAPONADA DENTRO DE LA CAJA DEL MEDIDOR HASTA 1"
11,1 REPARACIÓN DE CAJA PARA MEDIDOR DE ACUEDUCTO DE 13 Y 19 MM (1/2" Y 3/4")
11,3 REPARACIÓN DE CAJA PARA MEDIDOR DE ACUEDUCTO DE 25MM (1")
48,1 CAMBIO DE ACOMETIDAS DE ACUEDUCTO DE 1/2" CON PAVIMENTO
48,2 CAMBIO DE ACOMETIDAS DE ACUEDUCTO DE 1/2" SIN PAVIMENTO
48,3 CAMBIO DE ACOMETIDAS DE ACUEDUCTO DE 3/4" A 1" CON PAVIMENTO
48,4 CAMBIO DE ACOMETIDAS DE ACUEDUCTO DE 3/4" A 1" SIN PAVIMENTO
48,5 CAMBIO DE ACOMETIDAS DE ACUEDUCTO DE 1 1/2" A 2" CON PAVIMENTO
48,6 CAMBIO DE ACOMETIDAS DE ACUEDUCTO DE 1 1/2" A 2" SIN PAVIMENTO

68 REPARACIÓN DE ACOMETIDA EN LA CAJA DEL MEDIDOR DE 1 1/2" Y 2" INCLUYENDO CAMBIO DE MEDIDOR CUANDO SE REQUIERA
71 REPARACIÓN EN la CAJA, POR MEDIDOR HURTADO 1 1/2" A 2" (INCLUYE MORTERO DE EMPOTRAMIENTO)

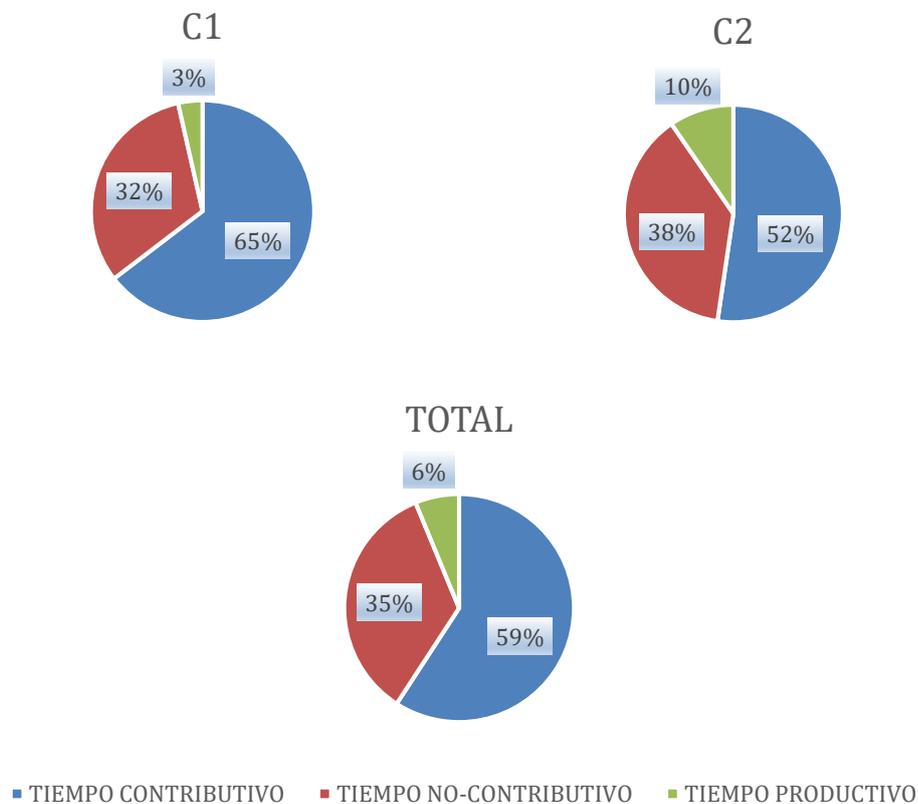


Gráfico 7 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de reparación de daños.

Del grafico 7 se evidencia que las reparaciones de daños tienen un tiempo TP bastante reducido, y necesita de una gran cantidad de actividades contributivas, Lo que deja una relación de 6/59 para el total de los contratos, dicho de otra forma, se produce un 6% del TP con un 59% del TC. ya que, de manera individual, C1 realiza únicamente un 3% del TP, mientras que C2 genera un 10% de TP con un 13% menos del TC. Esto indica que, de la muestra tomada para el análisis, se ejecutaron una mayor cantidad de reparaciones en C2, y se necesitó, de menos desplazamientos y excavaciones que el otro contrato. El TNC presenta la misma distribución que se presentó en excavaciones, debido a que en la investigación se tiene que los obreros que realizan las reparaciones son los mismos que ejecutan las excavaciones.

Los resultados detallados del análisis para la distribución de tiempos (TP, TC y TNC) en la actividad de reparaciones de daños, se encuentra en la sección de anexos 11.3.

7.4 Llenos con arenilla y base granular

Esta es una actividad que, consiste en realizar llenos de arenilla y base granular en nichos realizados por investigación o efectivos a reparaciones de daños para las obras dispersas de la ciudad, que contribuyen en la continuación con el proceso finalización de la intervención. Para

la ejecución de esta actividad es necesario el uso de una volqueta con su respectivo conductor, un apisonador tipo “canguro”, herramienta menor, un oficial, un ayudante, arenilla y base granular. La unidad de medida es el M3.

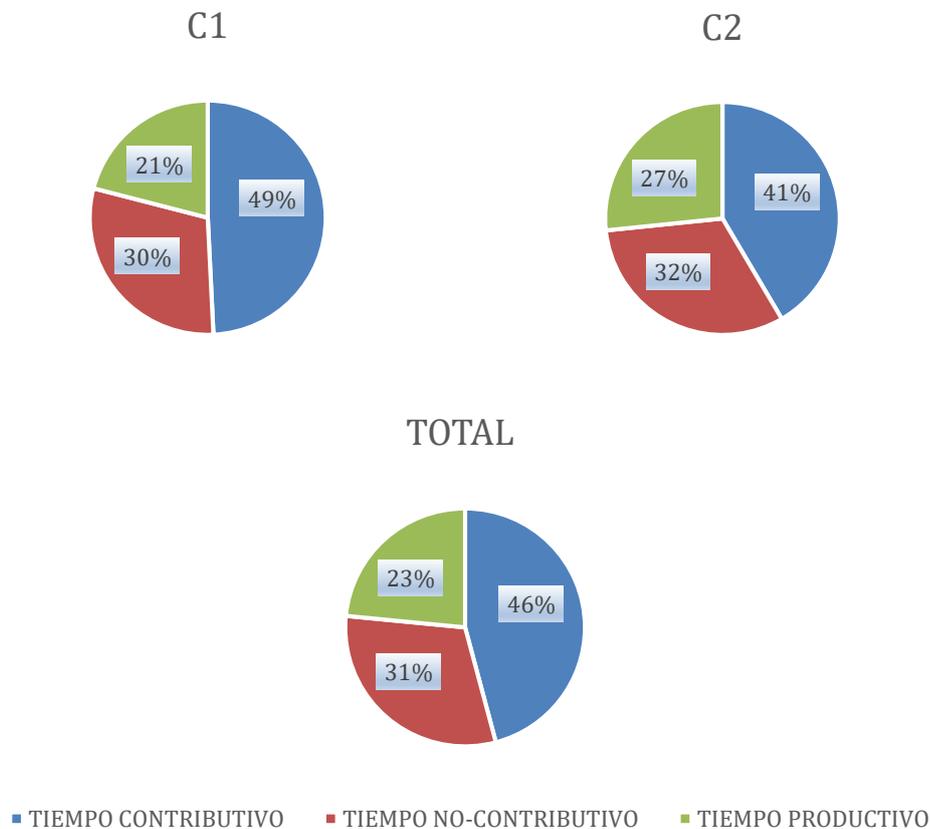


Gráfico 8 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad de llenos con arenilla y base granular.

La forma en cómo se distribuye el tiempo en los contratos se encuentra en el gráfico 8, donde se evidencia que de manera individual ambos presentan un comportamiento similar, como también, se presenta en el uso de equipos y personal empleado, sin embargo, la metodología en construcción es diferente, debido a que en el C1 se presenta una actividad más en el análisis, que es el cargue de escombros, lo que provoca un aumento en el TNC del contrato, haciendo de esta manera un poco más efectivo al C2. Se cuenta con que el contrato, en este ítem realiza una mayor cantidad de tiempo productivo (27%) con un menor tiempo contributivo (41%) en comparación con C1 (TP del 21% y TC de 49%), con lo que se produce una mejor eficiencia en la realización del lleno, pero esto no lo exime de ser el que contiene un TNC mayor. Este ítem presenta una mayor cantidad de TP, al compararlo con la actividad de corte y rotura de pavimento. El total de contratos enseña un equilibrio entre ambos produciendo un indicativo más acertado a la realidad de este tipo de obras, sin embargo, se observa que este aun no llega a el nivel del 15% del TNC, con el que se llegaría a producir el RMO esperado.

Con lo anterior se sabe que en un análisis exclusivo de la actividad el C2 presenta un mayor rendimiento en el lleno de material, debido a que se dedica únicamente a esta actividad como

lo hace C1 en el ítem de corte y rotura, pero si se realiza un análisis global en la manera de ejecución de los contratos, se encuentra que C1 presenta una mayor eficiencia general, porque en su proceso constructivo las cuadrillas de llenos realizan una actividad adicional que es recoger escombros, (para su ejecución es necesario el uso de una volqueta), es decir, si tenemos dos volquetas disponibles para los contratos, realizar esta actividad en el caso del C1 se destinan ambos vehículos a realizar los llenos y recogida de escombros con un rendimiento aceptable en comparación con C2. Mientras que este último tendría la obligación de destinar únicamente una volqueta para llenos, y otra para recoger escombros, dividiendo así el rendimiento a la mitad aproximadamente.

Los resultados detallados del análisis para la distribución de tiempos (TP, TC y TNC) en la actividad de llenos con arenilla y base granular, se encuentra en la sección de anexos 11.4.

7.5 Pavimentos

Esta actividad consiste en realizar un parche asfáltico en las vías intervenidas con nichos que se usaron para la reparación de las acometidas, daños en la red o los declarados como fallidos. Es una de las actividades más importantes debido a que culmina la obra que se está realizando. Para la ejecución de esta actividad es necesario contar con el uso de una volqueta, material asfáltico previamente aprobado por la interventoría, emulsión asfáltica, una motocicleta para transporte de personal, una placa vibratoria comúnmente nombrada “rana”, herramienta menor, un oficial y tres ayudantes. La unidad de medida de esta actividad es el M3.

Se observa a continuación, la distribución de tiempo para cada uno de los contratos en la ejecución de actividades de pavimento.

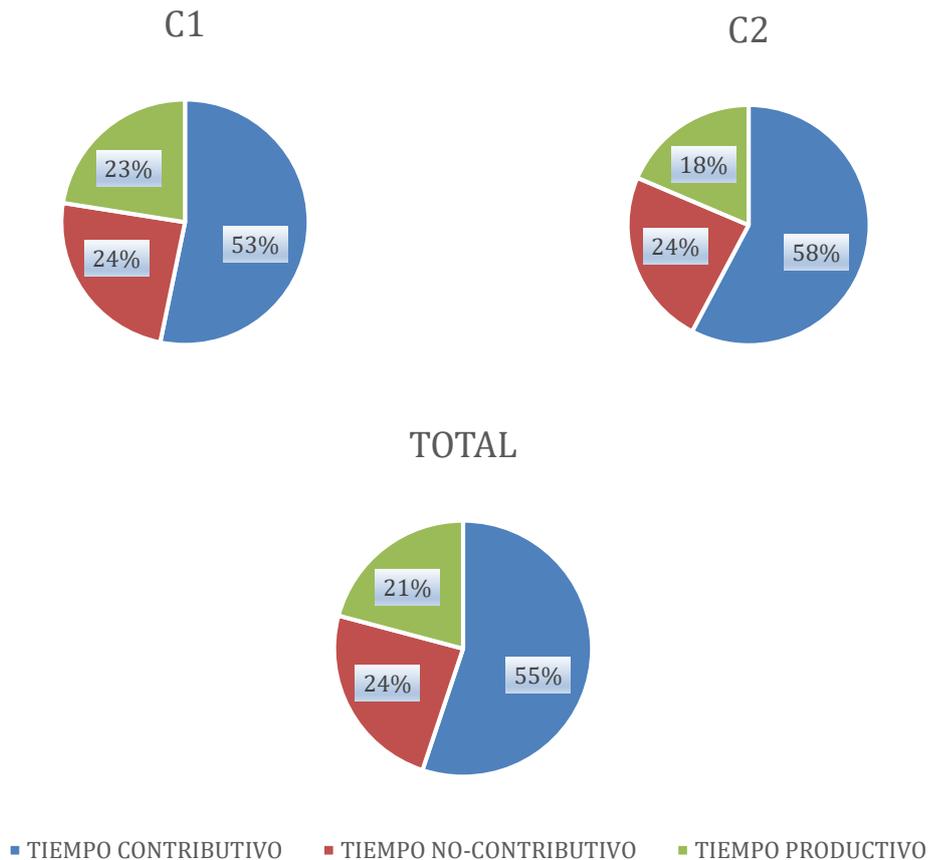


Gráfico 9 Distribución de tiempo de los contratos C1 y C2 analizados de forma individual y colectiva para la actividad pavimento.

En la distribución de tiempos presentada en el gráfico 9 evidencia el comportamiento en líneas generales de los contratos y el total producido por estos. En C1 se exhibe un tiempo productivo del 23% que en comparación con C2, es un 5% mayor, sin embargo, se presenta una disminución inversamente proporcional de este valor para el tiempo contributivo, lo que lo hace a C1 más productivo con menos tiempo contributivo. Este aumento en la productividad del contrato puede ser porque C1 desarrolla un consumo aproximado de 1,48 m³ de pavimento por día, mientras que el otro contrato realiza únicamente 1,23 m³ promedio, esto presenta una diferencia de 0,25 m³, lo que podría ser un parcheo de un nicho con dimensiones similares a 1.5mx1x0.15m. Esto, es dentro del parámetro del caso de estudio que fueron las horas laborales sin contar horas extras, puesto que la cantidad de pavimento con la que salen los contratos podría ser mayor. El TNC para ambos contratos es el mismo, lo indica que se producen pérdidas similares de las causas evaluadas. Sin embargo, a pesar de que esto sucede, no se encuentra en los niveles aceptables por la teoría (15%), dejándolos un 9% encima de esta.

Los resultados detallados del análisis para la distribución de tiempos (TP, TC y TNC) en la actividad de pavimentos, se encuentra en la sección de anexos 11.5.

7.6 Desplazamientos

Al disponer de información de desplazamientos para el caso de estudio, se desarrollaron tres tipos de mapas los cuales contienen un aproximado de la distancia que se recorre y por ende el tiempo final del recorrido por las cuadrillas, lo que sirve para determinar el gasto de tiempo invertido en desplazamientos a las direcciones que se deseen, según el punto de origen adoptado.

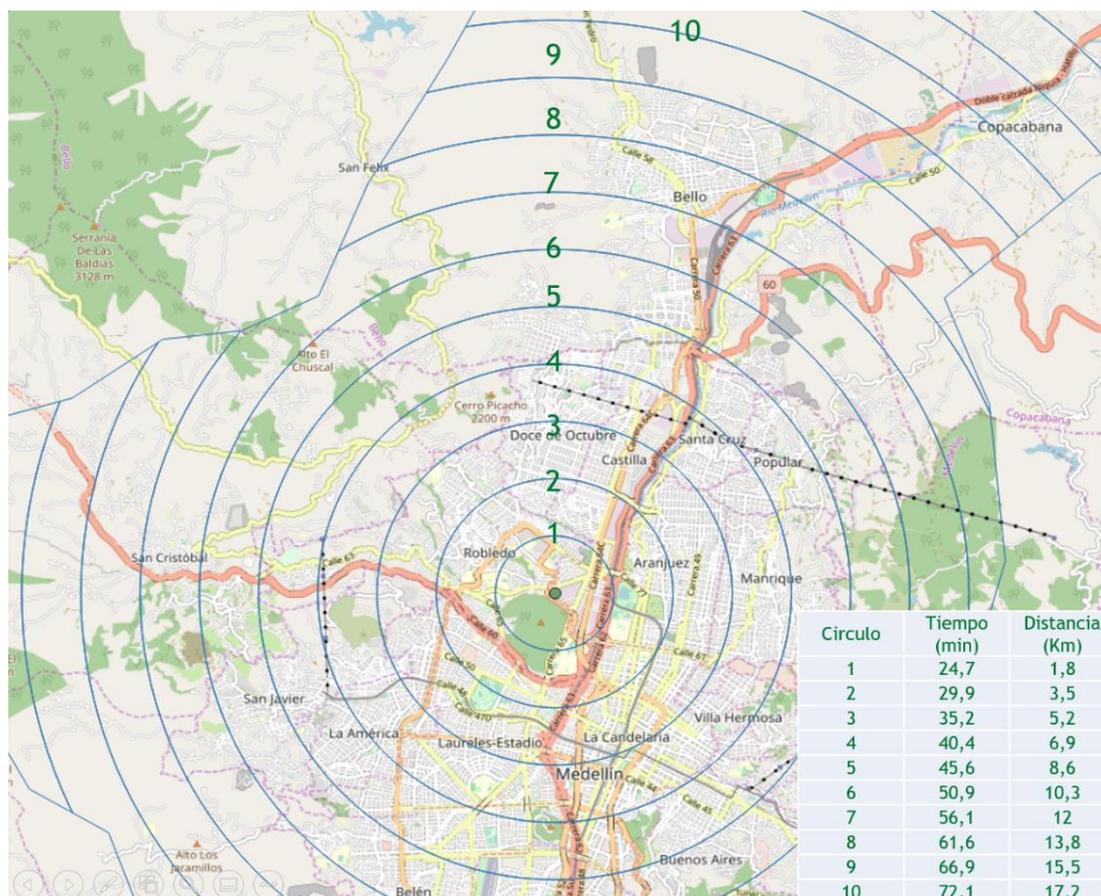


Ilustración 2 Buffer de distancia y tiempo promedio de recorrido con origen en Robledo. Fuente. (Autor, 2020).

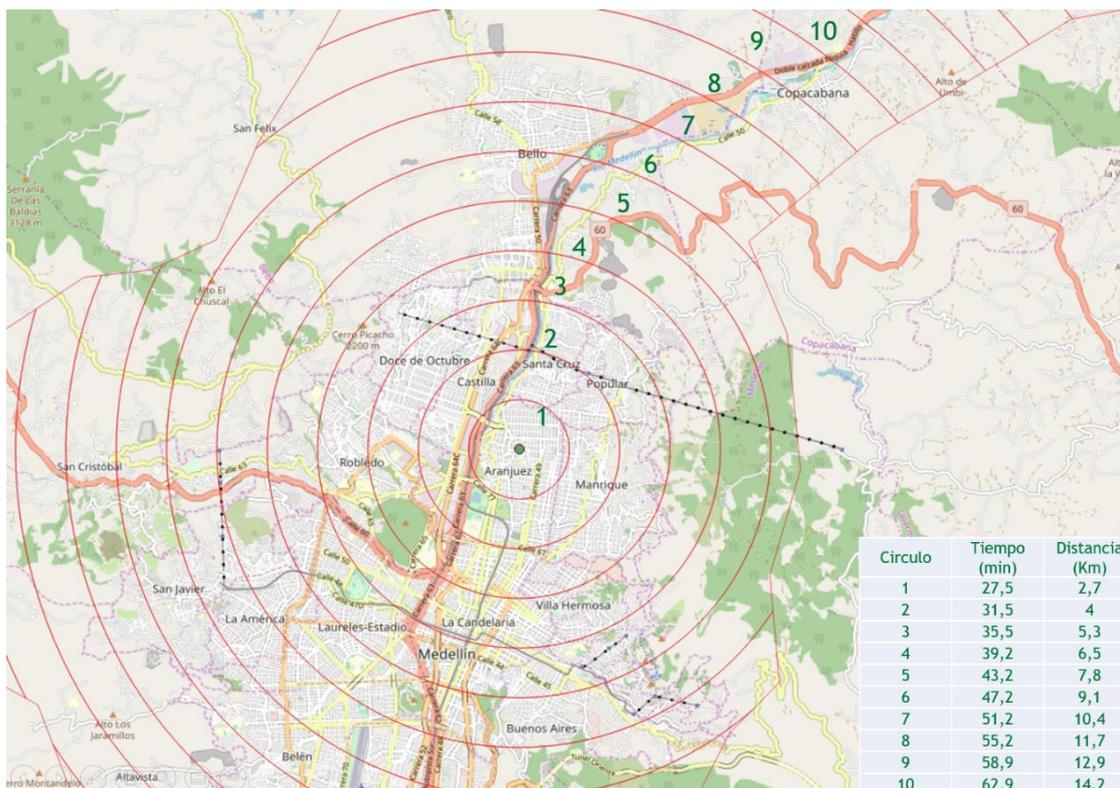


Ilustración 3 Buffer de distancia y tiempo promedio de recorrido con origen en Aranjuez. Fuente. (Autor, 2020).

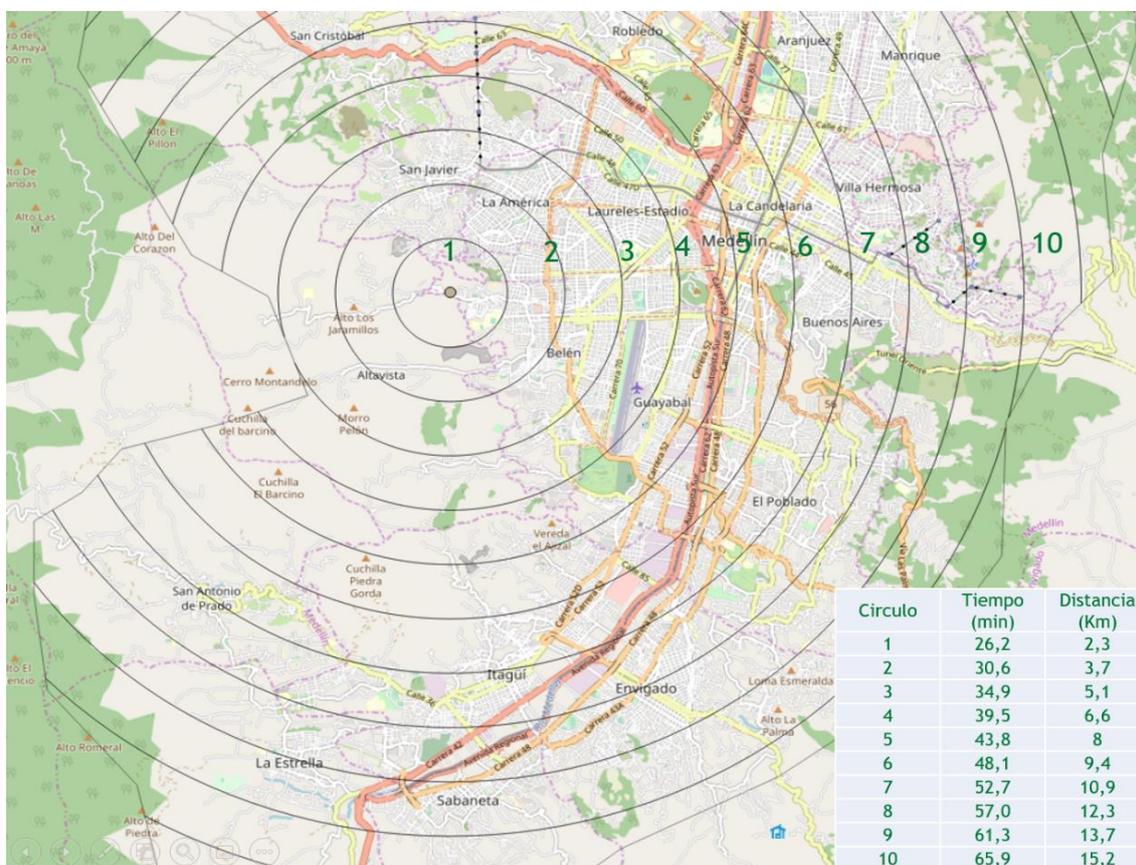


Ilustración 4 Buffer de distancia y tiempo promedio de recorrido con origen en Belén. Fuente. (Autor, 2020).

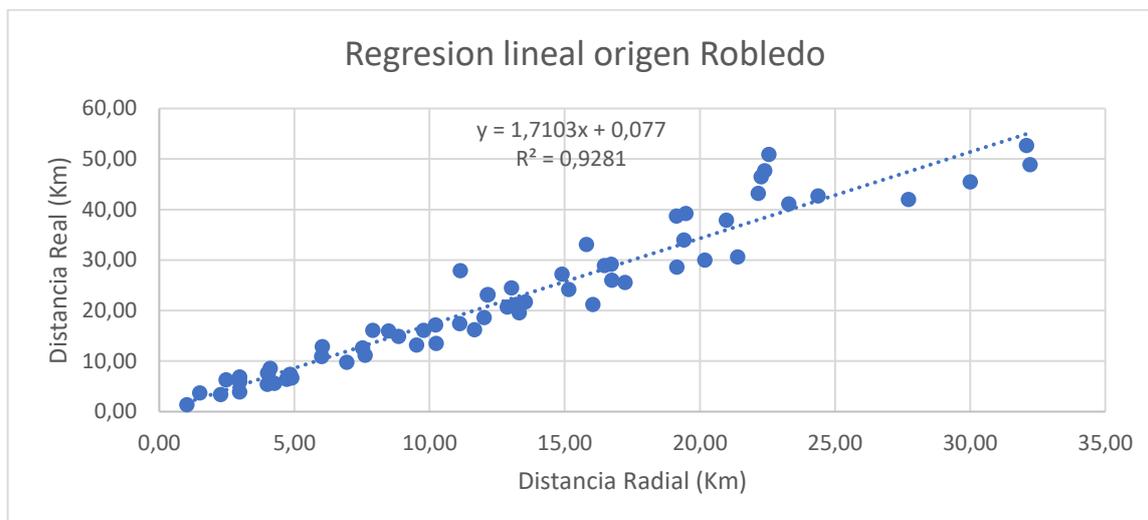


Gráfico 10 Regresión lineal con origen en Robledo.

Para realizar este tipo de análisis, fue necesario disponer de los desplazamientos realizados desde los diferentes orígenes establecidos por la ciudad de Medellín como se indica en las ilustraciones 2, 3 y 4, de los cuales fue preciso el uso de una regresión lineal como se puede observar en el gráfico 10, entre los desplazamientos reales y los radiales desde los orígenes. Se crea una ecuación lineal, la cual se usa para encontrar los desplazamientos reales, según la distancia radial adoptada. a continuación, se presentan las ecuaciones encontradas para cada uno de los orígenes.

Robledo:

$$Y = 1,7103X + 0,077 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,9281$$

Aranjuez:

$$Y = 1,2831X + 1,401 \quad (5)$$

$$R^2 = 0,9865$$

Belén:

$$Y = 1,4309X + 0,855 \quad (6)$$

$$R^2 = 0,9633$$

Las ecuaciones 4, 5 y 6 son posibles para su utilización cuando se tenga una distancia radial desde un punto cercano a los orígenes presentados, debido a que como indica el valor R², presentan altos niveles de confianza, ya que si se tienen una regresión lineal con un valor R² cercano a 1 se presentan altos niveles de confianza, lo cual sucede en este caso de estudio. De forma análoga, se realiza la ecuación 7, que indica la duración de cada desplazamiento según distancia, a la que se efectuó también con una regresión lineal con todos los datos de distancias y duración de los recorridos para ambos contratos, como se indica a continuación.

Ecuación de duración (min) según distancia (Km).

$$Y = 3,0773X + 19,172 \quad (7)$$

$$R^2 = 0,7623$$

Se procede a graficar en los resultados obtenidos por el software Qgis, haciendo uso de las ecuaciones 4, 5, y 6, según origen con una distancia entre anillos de 1 Km, arrojando la distancia real aproximando y la duración de esta. Este tipo de análisis se realizó con el objeto de encontrar de forma directa y confiable una aproximación del desplazamiento y duración, cuando se entreguen las direcciones de la zona.

Adicionalmente, se calcula la duración de los desplazamientos promedio de las actividades analizadas previamente, como se observa en la tabla 11, indicando de forma general que de un día normal de trabajo se debe disponer de aproximadamente 1 hora y 33 minutos, para esta causa.

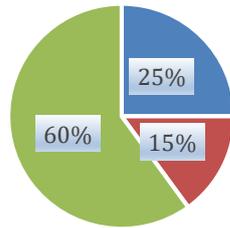
Tabla 11 Desplazamiento promedio día por las actividades estudiadas.

ITEM	DESPLAZAMIENTO (H)
CORTE Y ROTURA DE PAVIMENTO	1,74
LLENOS	1,48
PAVIMENTOS	2,42
EXCAVACIONES	1,03
REPARACIONES DE DAÑOS	1,03
PROMEDIO	1,54

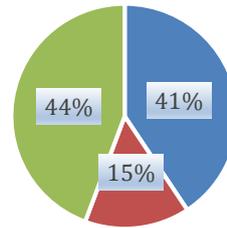
7.7 Resultado general

Al combinar los resultados arrojados por la investigación, se obtiene balance general del comportamiento en campo de las actividades, el cual da un indicativo en la forma de ejecución de los contratos. A continuación, se presentan los gráficos que contienen el valor real en campo, el teórico esperado y el teórico modificado.

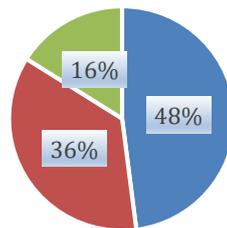
ESPERADO TEORICO



ESPERADO MODIFICADO



TOTAL ENCONTRADO



■ TIEMPO CONTRIBUTIVO ■ TIEMPO NO CONTRIBUTIVO ■ TIEMPO PRODUCTIVO

Gráfico 11 Distribución de tiempo según el total esperado teórico, modificado y encontrado del total de actividades.

Del gráfico 11 se aprecian los resultados encontrados de forma general en la ejecución de las 5 actividades. Como también, se encuentra el gráfico pertinente al comportamiento general del contrato en la ejecución de las actividades según la teoría, la cual se presentó en la sección 5.10, que define el tiempo productivo en el 60%, el tiempo contributivo en el 25% y el tiempo no contributivo en el 15%. Adaptando esta metodología al presente estudio, se realiza una modificación en la que se debe contar con tiempo para desplazamientos y señalización. Por lo anterior, se encuentra la necesidad de aumentar el tiempo contributivo de forma tal que al tiempo productivo teórico se le disminuya la cantidad de horas que son necesarias para las actividades mencionadas. En la que se deja fijo el TNC, puesto que se toma la decisión de que este no debería sufrir un aumento ni una disminución, para mantener una proporción constante de los tiempos muertos.

Después de realizar esta modificación y al analizar lo encontrado en campo, se presentan diferencias notables de lo que se está ejecutando con lo que se debería realizar según la teoría, ya que el TP es de únicamente del 16% frente al 44% que se debería laborar, mientras que el TC real, presenta un aumento del 7% frente al teórico. Adicionalmente el TNC se encuentra con un 21% más de lo permitido, con lo que se concluyen pérdidas económicas y malas prácticas que conllevan problemas a la empresa.

8 Recomendaciones

8.1 Recomendaciones generales.

De forma general, se recomienda contar con 5 grandes cualidades para obtener una mejor productividad en la forma de ejecución con las actividades, ya que, como se estudió anteriormente existe desperdicio de tiempo en la forma en cómo se ejecutan estas, llegando desde un 24% hasta un 57% de tiempo no contributivo de las diferentes actividades.

8.1.1 Liderazgo y clima laboral,

Contar con un liderazgo y un clima laboral es de suma importancia, para poder aumentar el RMO, lo que conlleva a una mejor aceptación por las necesidades del otro, provocando así empatía, amor por la empresa y correcta ejecución de las actividades. Se debe tener presente la forma en cómo se digan las indicaciones, y no tomar medidas aceleradas cuando ocurran incidentes, sino seguir un protocolo en el que ambas partes tengan garantías.

8.1.2 Cambio de horario

Se presenta en ocasiones por los altos niveles de flujo de personal retrasos en los horarios de salida de las bodegas, ya que, como no se cuenta con trabajos de producción en planta o en sitio definido, los trabajadores deben salir en vehículo a cumplir con sus deberes. Existe acumulación excesiva de personal, con lo que es recomendable poder contar con diferentes horarios en la llegada de los trabajadores, que podría ser desde las 6 am hasta las 8 am, ya que como fue mencionado anteriormente el horario habitual es de 11 horas diarias aproximadamente, lo que evita en gran medida contar con recargos nocturnos, favoreciendo así mejoras en: el flujo del personal, la acumulación de vehículos, aumento del rendimiento y pérdidas económicas por horas no laboradas.

8.1.3 Optimización de recursos

Se debe conocer y efectuar de forma correcta los cálculos correspondientes, teniendo presente la duración de cada una de las actividades que se van a ejecutar, ya que se presentan situaciones donde el personal queda sin material suficiente para cumplir con más actividades. Como lo es para el caso de llenos y pavimentos, los cuales pueden tener cálculos previos del volumen con el que salen y el que se va a utilizar, y así mismo velar con que se cumpla con la cantidad inicial de salida. También, se debe tener certeza y disposición de equipos disponibles para efectuar las actividades, como puede ser las excavaciones, ya que se presenta alta dificultad y por consiguiente consumo de tiempo si se realizan sin el equipamiento adecuado, en condiciones aptas para su utilización.

8.1.4 Uso de tecnologías

Al tratarse de obras dispersas por todo el Valle de Aburrá, se dificulta conocer y controlar a todo el personal de trabajo, lo que provoca atrasos y malas prácticas en algunas de las actividades realizadas, por lo que se recomienda contar con un control digital de ubicación de cada uno de los trabajadores, en las que se presenten reportes constantes de lo que se está

ejecutando y las necesidades que tengan. Así los encargados, puedan tener un control más amplio y efectivo al momento de solicitar apoyo de alguno de ellos, ya que, se evidenciaron situaciones donde había acumulación de personal realizando una actividad, puesto que al momento de solicitar un vehículo de apoyo, como puede ser el de corte y rotura de pavimento, (por la necesidad de usar el compresor) no sea necesario llamar a todos para confirmar ubicación, sino que ya se sabría cuál es el más cercano y que disponibilidad presenta. Otra mejora, puede ocurrir es en la entrega de las direcciones virtuales, ya que ocurren circunstancias en las que la lista puede ser confusa y mal organizada, provocando desplazamientos repetitivos de las obras a ejecutar. Con lo que, si se tiene un mapa digital con un orden preestablecido de lo que se va a elaborar, el personal no presentaría pérdidas ni tiempo adicional de localización del área de trabajo.

8.1.5 Incentivos

La sana implementación de incentivos de las actividades que se deben realizar proporcional al mejoramiento de la productividad, en la cual las condiciones para efectuarlos son, la de no disminuir la calidad y el sentido de responsabilidad de las tareas que se deben ejecutar. Debido a que se podría contribuir con un aumento de la cantidad realizada, pero que podría acarrear problemas futuros por la calidad. Ya que la idea es darle a entender a los trabajadores, que la tendencia es evitar en la medida de lo posible que existan pérdidas de tiempo y exigirle a sus superiores a mantener control de las direcciones que se deban ejecutar.

8.2 Recomendaciones particulares

Es necesario analizar de forma individual cada actividad y contrato para poder dar una serie de recomendaciones efectivas y particulares, según la necesidad que se tengan, sin embargo, se presenta un patrón en las actividades, donde los contratos consumen tiempo no contributivo en esperas, desplazamientos improductivos y tiempo ocioso.

8.2.1 Recomendaciones Corte y Rotura de Pavimento.

- El ítem de corte y rotura de pavimento necesita disminución en los desplazamientos improductivos, esto puede lograrse mediante revisiones previas a las direcciones que se requiere atender, debido a que es de suma importancia tener veracidad de lo que se va a ejecutar y las condiciones iniciales a las que se van a enfrentar.
- Las direcciones se pueden enviar de forma digital al oficial encargado, con el fin de evitar pérdidas al momento de dirigirse a estas.
- Al cambiar la hora de entrada de algunos obreros, se puede lograr una mejor maniobrabilidad al interior de la bodega, como también un mejor acompañamiento por parte de las personas a cargo.
- Como son obras dinámicas, es prácticamente imposible no poder contar con un acompañamiento total a todas las cuadrillas, lo que provoca esperas y permiten el aumento del tiempo ocioso. Para lo cual, se recomienda tener todas las obras digitalizadas, donde se dé a conocer la ubicación y actividad que ejecuta cada cuadrilla. Lo que ayuda además a tener en consideración la disponibilidad de atención a direcciones urgentes.

- Es indispensable contar con la cuadrilla de corte y rotura separada de las otras actividades del contrato, debido a la alta demanda de estos.

8.2.2 Recomendaciones de excavaciones y reparaciones de daños.

- Se necesitan herramientas adecuadas y en buenas condiciones para poder ejecutar la actividad, debido a que se presentan gran cantidad de equipos en mal estado, e inclusive no se presentan equipos, los cuales producen atrasos y gran consumo de tiempo en la actividad, puesto que se encuentran situación en escenarios donde se extrae material húmedo sin bombas. También, se presentan nichos con grandes secciones de rocas que impiden el acceso al daño y el personal no cuenta con herramientas necesarias para poder triturar o disminuir tamaño de las estas para continuar con la otra actividad.
- Combinar de forma asertiva a las actividades que se van a ejecutar, donde se tenga presupuestado el tiempo estimado de cada reparación, es decir, organizar cuadrillas que tengan que hacer reparaciones con excavación, con otras que no dispongan excavaciones. Lo que logra un equilibrio entre el uso del vehículo de los trabajadores.

8.2.3 Recomendaciones de llenos con arenilla y base granular

- En llenos se presenta dificultad al momento de salir del lugar de trabajo, debido al cargue del material necesario para poder ejecutar su actividad. Es recomendable disponer de tiempo preciso para el cargue del material, el cual se puede realizar al final de la jornada, o con tiempo de anticipación (antes de que lleguen los trabajadores), debido a que no es indispensable tener el personal en el lugar de trabajo mientras se cargan las volquetas.
- Es ideal que la cuadrilla encargada de llenos produzca también el cargue de escombros, debido a que aumenta la cantidad de llenos que se producen de forma general y según el estudio, no se produce atrasos para la utilización total del material.
- Verificar antes de que una volqueta salga del lugar de trabajo, que, si tenga la cantidad promedio necesario de la arenilla y base, respecto al volumen de nichos que se tienen presupuestados.

8.2.4 Recomendaciones de pavimentos.

- Es necesario contar con el tiempo de demora en llegada de la volqueta a la bodega, debido a que se producen tiempo de esperas amplios. Ya que por condiciones ajenas al personal se tienen retrasos.
- Se presentan de nuevo direcciones erróneas y mala distribución de tiempo, debido errores externos al entregar la dirección. Por ende, es indispensable contar con una ruta digital a las direcciones que se deben pavimentar.
- Conocer las direcciones antes de su visita, e informar a los trabajadores las dificultades a las que se enfrentan, como también, capacitar al personal del tipo de pavimento que se va a encontrar en campo, debido a que se presentan situaciones con confusiones en si es pavimento rígido o flexible.

9 Conclusiones

- Se presentaron resultados satisfactorios en la actualización de las bases de datos, puesto que estas cuentan con proveedores confiables a las necesidades, como para el caso de las maquinarias y los equipos. Se encuentran valores tanto para alquiler como para la venta con un tiempo de depreciación establecido según las necesidades. Sin embargo, los materiales presentaron algunas dificultades, debido a la falta de especificación técnica de algunos, provocando dificultades en la búsqueda del proveedor, a pesar de esto, se trató de tener similitudes según criterio propio, debido a que por falta de experiencia en este tipo de contratos no se tenía certeza absoluta de la necesidad requerida.
- La metodología desarrollada presenta resultados al menos en la mayoría de las actividades evaluadas, debido a que al encontrarse basada en la definición del RMO, se evidencian rendimientos aceptables. Adicionalmente, la toma de datos se encontró soportada estadísticamente, lo cual presenta orden y confiabilidad al momento de usar los datos, puesto que se sabe con exactitud qué tan factibles son para la aplicación según sea la necesidad o la similitud de la obra a ejecutar, ya que como se ha venido planteando, este es una de las primeras investigaciones que se realiza a obras dispersas. Sin embargo, se debe tener presente las recomendaciones presentadas para la actividad reparación de daños, ya que esta requiere de un análisis con un nivel de profundidad mayor.
- La medición en campo se realizó de manera aceptable, gracias a la cooperación y disposición de las directivas de los contratos, permitiendo evaluar de forma acertada cada una de las actividades. sin embargo, se presentaron percances los cuales se resolvieron rápidamente para mantener así los niveles de confiabilidad en el rango estipulado. Los APU suministrados, son de ayuda y utilidad para la UOMPA, permitiendo de este modo una mejor relación entre ellos y los contratistas.
- Los resultados en la realización de los porcentajes de los tiempos productivos, contributivos y no contributivos para el presente caso de estudio revelan variaciones frente a los esperados teóricamente, puesto que se encontraron valores de 16% para TP, 48% de Tc y 36% de TNC, frente al 44%, 41% y 15% que se debería ejecutar respectivamente. Lo anterior, deja malas prácticas a nivel empresarial, las cuales deberían seguir la serie de recomendaciones dadas, con el fin de mejorar los resultados obtenidos en campo, que puede verse evidenciado como mejoría en la economía.

10 Referencias Bibliográficas

Mejía, G. & Hernández, T. C. (2007). SEGUIMIENTO DE LA PRODUCTIVIDAD EN OBRA: TÉCNICAS DE MEDICION DE RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA. *UIS INGENIERÍAS*, 6 (2), 45-59.

Arboleda, S. A. (2014). ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD, RENDIMIENTOS Y CONSUMO DE MANO DE OBRA EN PROCESOS CONSTRUCTIVOS, ELEMENTO FUNDAMENTAL EN LA FASE DE PLANEACION. Tesis de maestría. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.

Gómez, A. (2015). Análisis de la Productividad en la Construcción de Vivienda basada en Rendimientos de Mano de Obra. *INGE CUC*, 12 (1), 21-31.

Polanco, L. M. (2009). ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS DE MANO DE OBRA PARA ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN – ESTUDIO DE CASO EDIFICIO J UPB-. Proyecto de grado. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.

Botero, L. F. (2002) Análisis de Rendimientos y consumos de mano de obra en actividades de construcción. *REVISTA Universidad EAFIT*, 128.

Álvarez, M. E. (2007). Aplicación de Lean Construction en la toma de datos. *REVISTA Universidad EAFIT*, 43 (148), 62-77.

García, W. (2017). IDENTIFICACION DE VARIABLES INCIDENTES EN EL PRESUPUESTO DE LAS LABORES DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO EN LA INFRAESTRUCTURA DE DISTRIBUCIÓN ACUEDUCTO EN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Trabajo de grado de maestría. UNIVERSIDAD EAFIT.

Martínez, C. (2012). Estadística y muestreo. 13ª ed. Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.

Herrera, D. (2015). MATEMATICA FINANCIERA. Recuperado de <http://cedicap.aiilosabe.com/PDF/MATEM%C3%81TICA%20FINANCIERA.pdf>

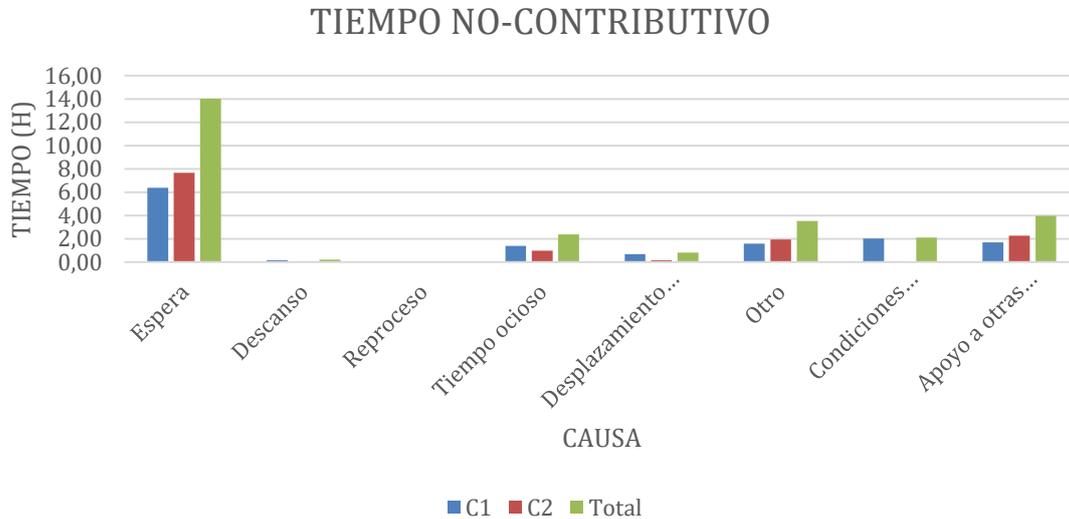
Congreso de Colombia. (27 de diciembre de 2016) Artículo 137 [Titulo V]. *LIMITACIÓN A LA DEDUCCIÓN POR DEPRECIACIÓN*. [ley 178 de 2016 (CÁMARA) y ley 163 de 2016 (SENADO)].

Rodríguez, S. (2008). Como determinar el tamaño de una muestra aplicada a la investigación archivística. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos60/tamano-muestra-archivistica/tamano-muestra-archivistica2.shtml>

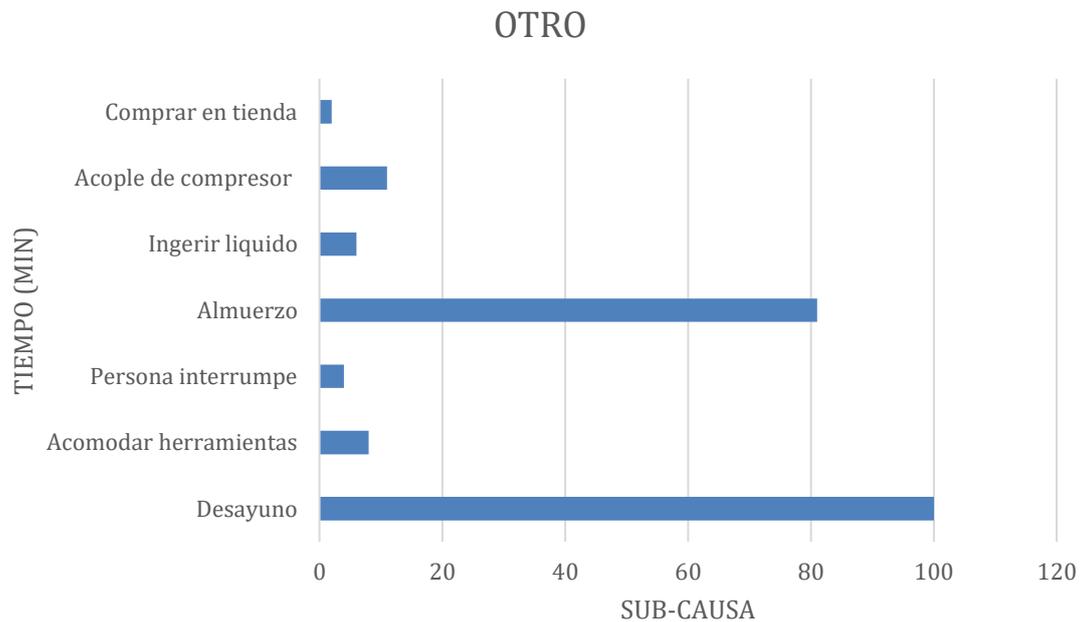
Empresas Publicas de Medellín. (2020). Historia. Recuperado de <https://www.epm.com.co/site/home/nuestra-empresa/historia>

PAHO. (1997). Análisis del sector de agua potable y saneamiento en Colombia. Recuperado de https://www.paho.org/col/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=documentos-nacionales&alias=1392-analisis-sectorial-de-agua-y-saneamiento-en-colombia&Itemid=688

11.2 Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de excavaciones

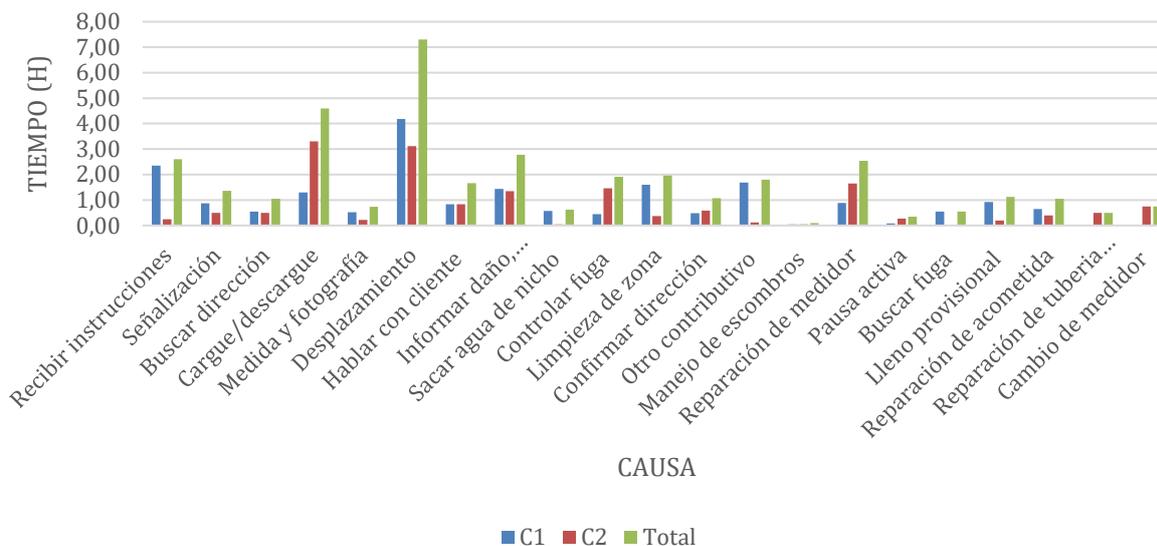


Anexo 3 Tiempo no-contributivo, para las actividades de excavaciones y reparación de daños en los contratos C1, C2 y el total.



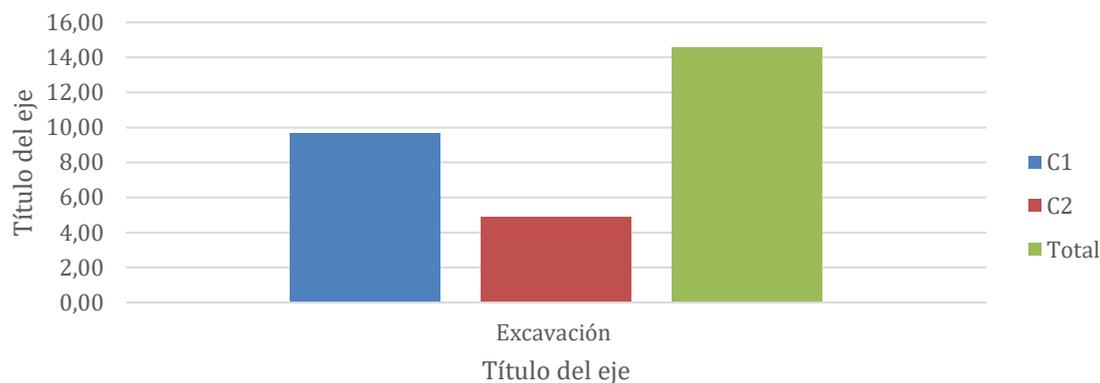
Anexo 4 Sub-causas de la causa OTRO del tiempo no contributivo.

TIEMPO CONTRIBUTIVO



Anexo 5 Tiempo contributivo, para la actividad de excavación en los contratos C1, C2 y el total.

TIEMPO PRODUCTIVO

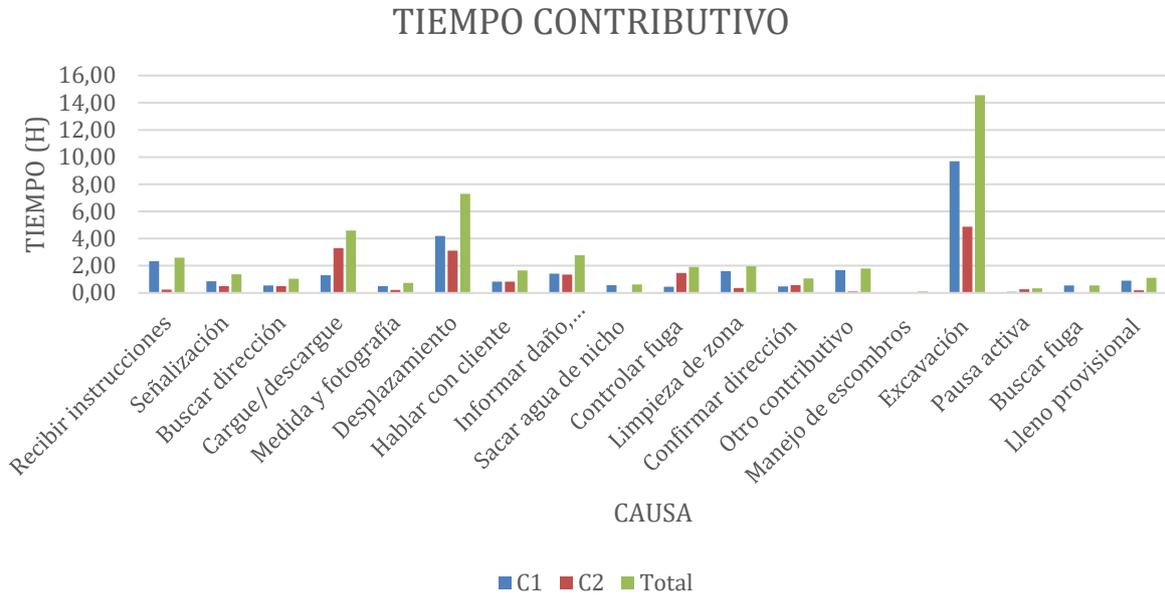


Anexo 6 Tiempo productivo, la actividad de excavaciones en los contratos C1, C2 y el total.

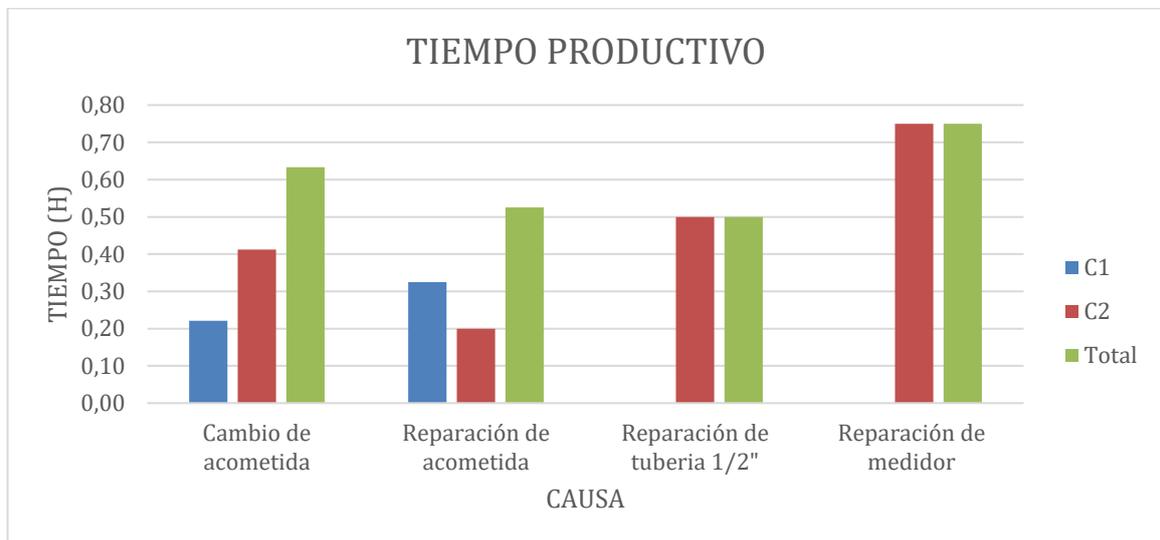
	C1	C2	TOTAL
Direcciones excavadas promedio (un)	2,0	1,7	1,9
Direcciones visitadas promedio (un)	3,8	3,7	3,7
Volumen excavado por día (m3)	1,4	1,8	1,58

Anexo 7 Direcciones visitadas y excavadas promedio día.

11.3 Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de reparación de daños



Anexo 8 Tiempo contributivo, para la actividad de reparación de daños en los contratos C1, C2 y el total.



Anexo 9 Tiempo productivo, para la actividad de reparación de daños en los contratos C1, C2 y el total.

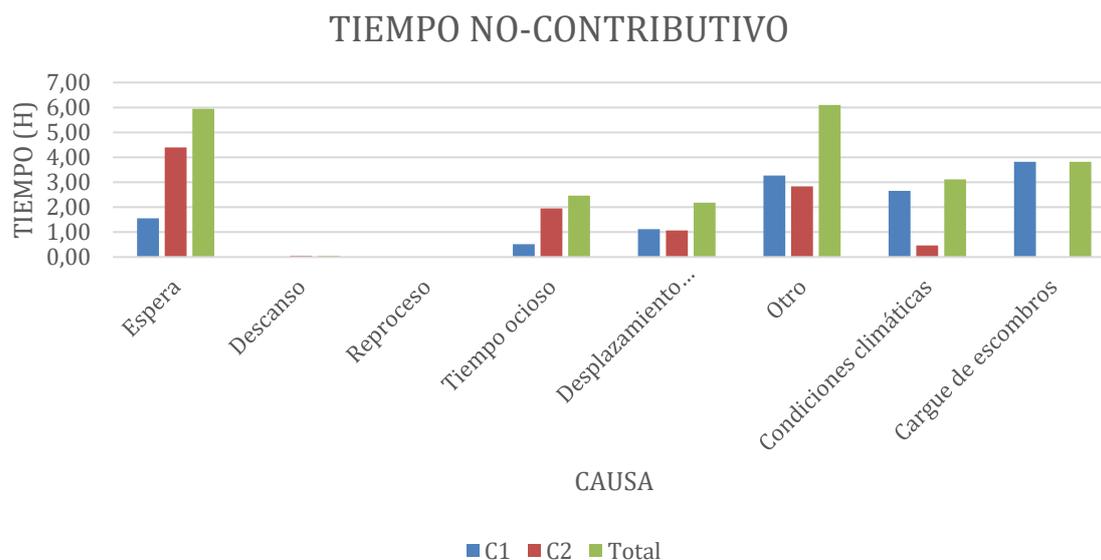
Tipo	Cantidad
Cambio de acometida	4
Reparación de acometida en toma	2
Fuga mal marcada	6
Esperan cuadrilla o la recogen	5
Ya estaba hecha	2
Orden publico	1
Controlar fuga	1
Cliente no permite	1
Reparación del medidor	1
Reparación de tubería 1/2"	1
TOTAL	24

Anexo 10 Tipos de situaciones encontradas en las direcciones visitadas.

Direcciones Reparadas total (unidad)	7
Direcciones totales visitadas (unidad)	24
Direcciones promedio visitadas (unidad)	3
Direcciones reparadas promedio (unidad)	1
Porcentaje Reparado	29%
Porcentaje bien marcado	50%

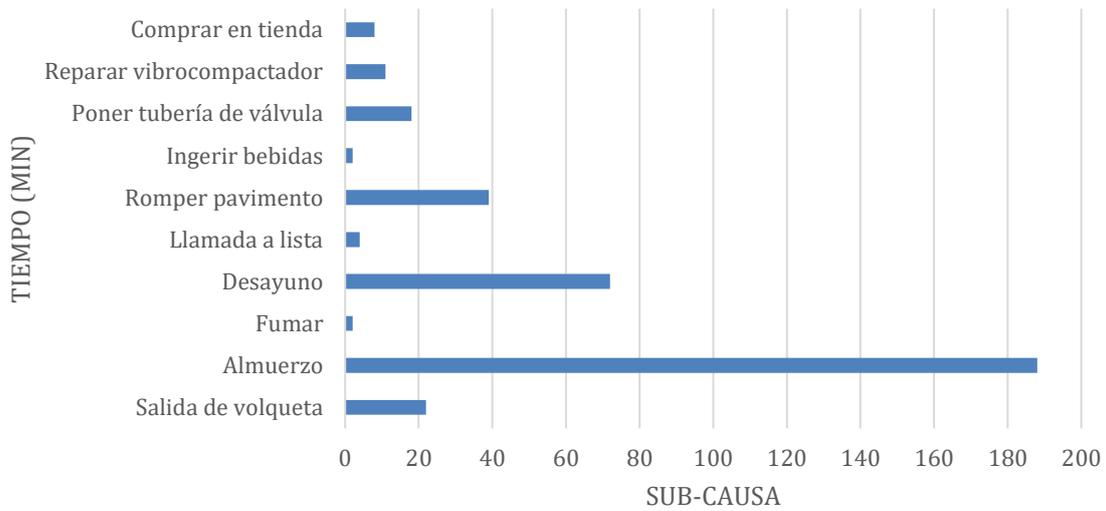
Anexo 11 Direcciones y porcentajes reparados en el análisis total.

11.4 Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de llenos con arenilla y base granular



Anexo 12 Tiempo no-contributivo, para la actividad de llenos con arenilla y base granular en los contratos C1, C2 y el total.

OTRO

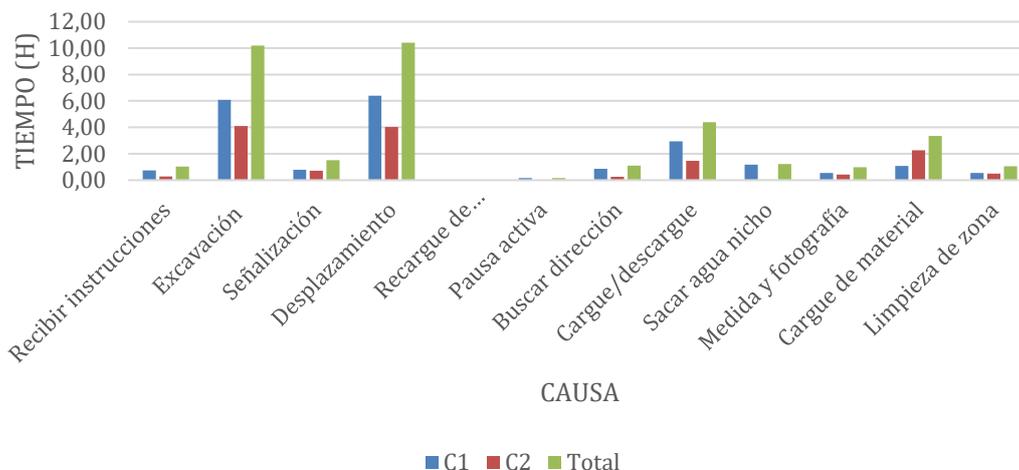


Anexo 13 Sub-causas de la causa OTRO del tiempo no contributivo.

	Salida de bodega C1 (H)	Salida de bodega C2 (H)	Regreso a la bodega C1 (H)	Regreso a la bodega C2 (H)
Día 1	8:16	9:10	16:11	15:36
Día 2	8:09	7:44	16:47	16:28
Día 3	7:30	7:44	16:34	
Día 4	7:48		17:30	
Promedio:	7:55	8:12	16:30	16:02
Ingreso/Salida	7:00	6:30	17:30	17:30
Demora en salida/ingreso	0:55	1:42	0:59	1:28
Perdida C1 (H)	1,92	Perdida C2 (H)	3,18	

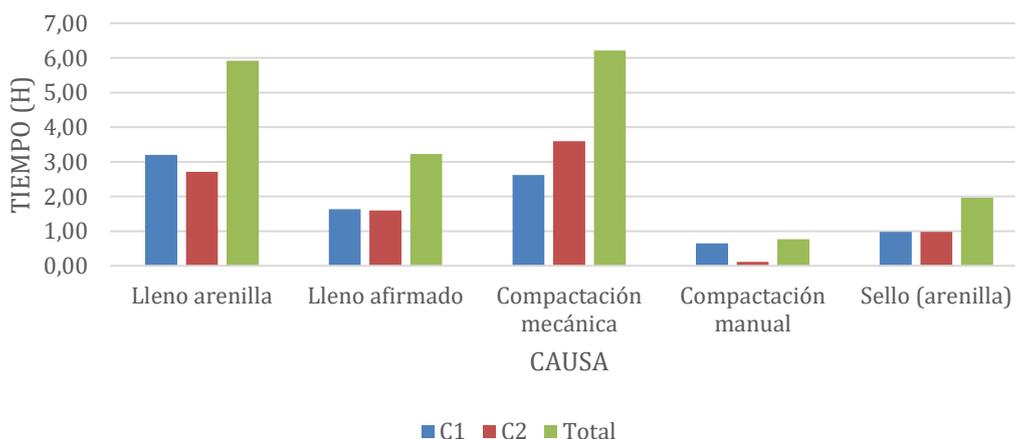
Anexo 14 Hora de salida y regreso de la bodega de las cuadrillas de llenos.

TIEMPO CONTRIBUTIVO



Anexo 15 Tiempo contributivo, para la actividad de llenos con arenilla y base granular en los contratos C1, C2 y el total.

TIEMPO PRODUCTIVO

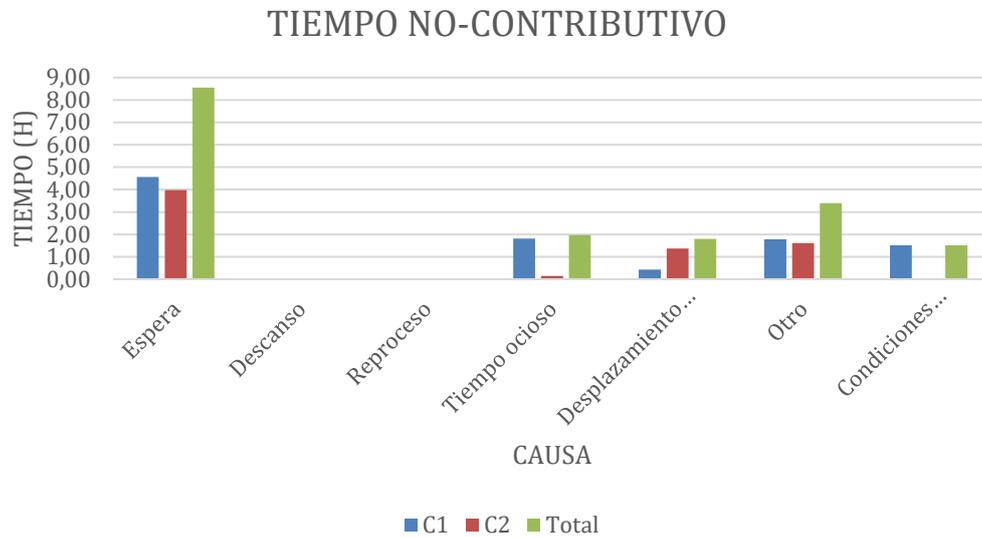


Anexo 16 Tiempo productivo, para la actividad de llenos con arenilla y base granular en los contratos C1, C2 y el total.

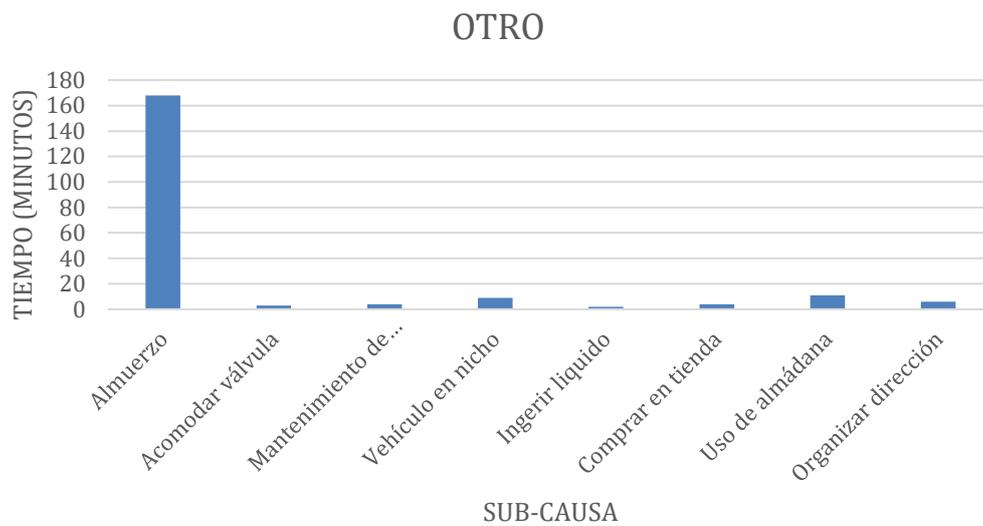
	Volumen compacto (m3)	Volumen suelto (m3)	Llenos promedio C1 (un)	Llenos promedio C2 (un)	Llenos promedio total (un)
Arenilla	2,47	3,21	4,3	5,0	4,6
Afirmado o base granular	1,38	1,80			
Sello	0,46	0,60			
Total	4,31	5,61			

Anexo 17 Volumen y llenos promedio ejecutados por día.

11.5 Anexos correspondientes a la distribución de tiempos y tablas respectivas de la actividad de pavimentos



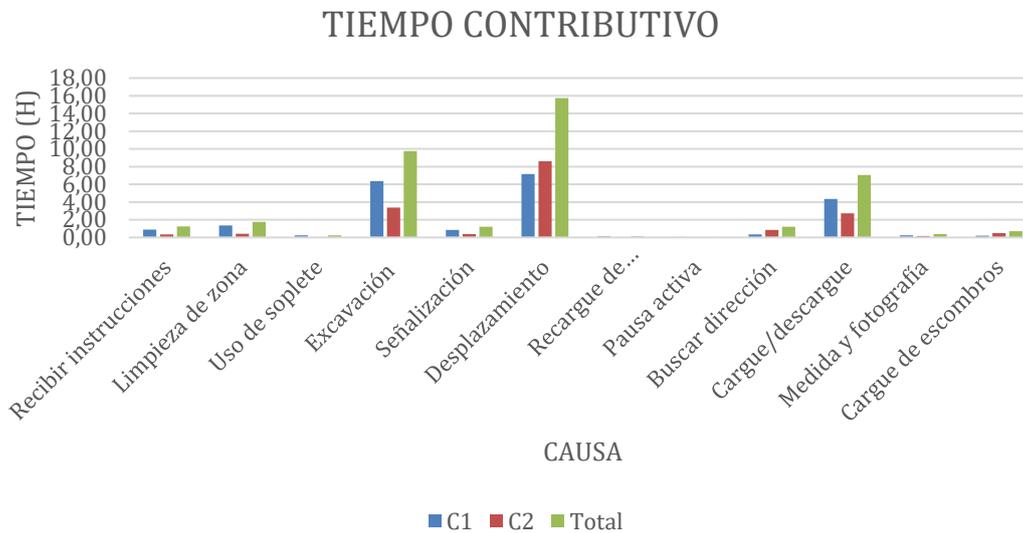
Anexo 18 Tiempo no-contributivo, para la actividad de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.



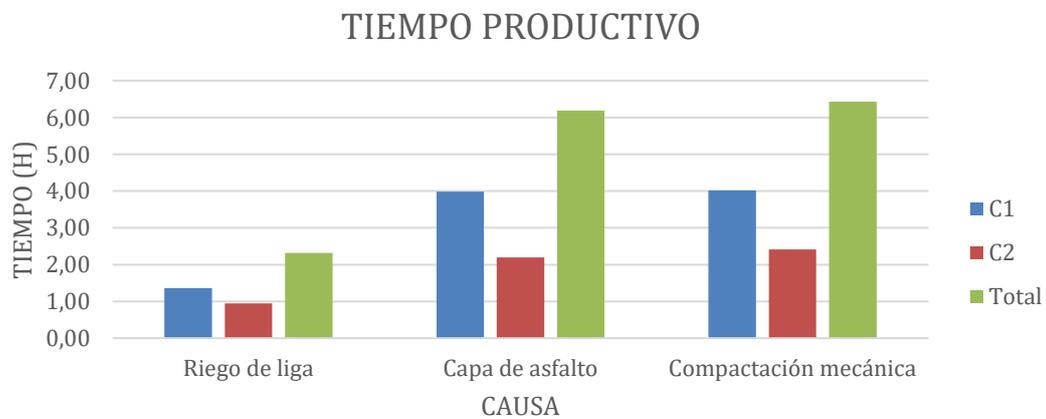
Anexo 19 Sub-causas de la causa OTRO del tiempo no contributivo.

	Salida de bodega C1 (H)	Salida de bodega C2 (H)
Día 1	8:16	10:13
Día 2	8:33	8:58
Día 3	8:43	9:48
Día 4	8:54	
Promedio	8:36	9:39
Ingreso	7:00	8:00
Demora en salida	1:36	1:39

Anexo 20 Hora de salida de la bodega de las cuadrillas de pavimentos.



Anexo 21 Tiempo contributivo, para la actividad de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.



Anexo 22 Tiempo productivo, para la actividad de pavimento en los contratos C1, C2 y el total.

	Encontrado	Direcciones efectivas C1	Direcciones visitadas C1	Direcciones efectivas C2	Direcciones visitadas C2
Asfalto (Ton)	3,18	5,3	6,3	4,3	5,3
Área de Compactación (m2)	27,70				
Liga (L)	45,56				

Anexo 23 Cantidad de asfalto y direcciones efectuadas por día.