

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS**

**PROYECTO DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**“MAGÍSTER EN CONTROL DE OPERACIONES Y GESTIÓN LOGÍSTICA”**

**TEMA**

**BAÑOS PORTÁTILES EMPRESA DE SERVICIO: OPTIMIZACIÓN DE RUTAS DE RECOLECCIÓN MEDIANTE MODELO MATEMÁTICO**

**AUTORES**

**BONILLA VILLALTA ABEL**

**TRÁVEZ ZAMBRANO KARLA**

**Guayaquil- Ecuador**

**AÑO**

**2016**

## **DEDICATORIA**

### **Ing. Abel Bonilla Villalta**

Mi agradecimiento perpetuo a Dios todo poderoso creador del cielo y de la tierra por derramar sus bendiciones y proveerme entendimiento durante todo el tiempo de mi carrera, a mi amada esposa Sandra Franco por su paciencia y apoyo incondicional en los momentos buenos y malos, a mi Padre Jorge Bonilla, por el cariño y la motivación que me ha dado siempre para superarme.

### **Ing. Karla Trávez Zambrano**

Agradezco principalmente a Dios por proveerme de sabiduría, salud y fuerzas para culminar mis estudios de esta ardua pero gratificante maestría, y luego a mis padres Ab. Carlos Trávez Borja y Lcda. Elizabeth Zambrano por su apoyo incondicional a lo largo de las diferentes etapas de mi vida.

## DECLARACION EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, nos corresponden exclusivamente a Bonilla Villalta Abel Francisco y Trávez Zambrano Karla Elizabeth; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



---

ING. ABEL BONILLA VILLALTA



---

ING. KARLA TRÁVEZ ZAMBRANO

## TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



David Matamoros Camposano, P.hD.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



M.Sc. Víctor Vega Chica

DIRECTOR DEL PROYECTO



Mg. Aníbal Suárez Hernández

VOCAL DEL TRIBUNAL

## AUTORES DEL PROYECTO DE GRADUACION



---

**ING. KARLA TRÁVEZ ZAMBRANO**



---

**ING. ABEL BONILLA VILLALTA**

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INDICE DE TABLAS	VIII
INDICE DE FIGURAS	X
CAPITULO I	
1. GENERALIDADES	11
1.1.    Justificación	11
1.2.    Problemática General	15
1.3.    Objetivo del Proyecto	16
1.3.1.  Objetivos Generales	16
1.3.2.  Objetivos Específicos	16
CAPITULO II	
2. MARCO TEÓRICO	17
2.1.    Definiciones Generales	17
2.2.    Especificaciones Técnicas de Camiones	19
2.2.1.  Camiones Succionadores	19
2.2.2.  Diseño y Material de Tanque	20
2.3    Problema de Ruteo Vehicular ( VRP )	22
CAPITULO III	
3. ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL	25
3.1.    Introducción	25
3.2.    Recursos de la empresa	25
3.3.    Análisis de Mercado	26
3.4.    Proceso de Gestión Comercial	31
3.5.    Proceso de Gestión Operativa - Asignación para el Mantenimiento de Baños Portátiles	33
3.6.    Análisis Financiero de Situación Actual	34
CAPITULO IV	
4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO	38
4.1.    Definición del Problema	38
4.2.    Programa Informático Gams	41
4.2.1.  Descripción del Programa Informático Gams	41
4.2.2.  Ejemplo de Programa Informático Gams	44
4.2.3.  Comprobación de Resultados de Ejemplo Obtenidos en Gams	49
4.3.    Datos de Entrada del Proyecto	50
4.3.1.  Tabla de distancias entre nodos	50
4.3.2.  Tabla de tiempos entre nodos	51

4.3.3. Asignación de Baños Portátiles en Nodos y Demanda de recolección	51
4.4. Índices del Modelo Matemático	54
4.5. Variables de Decisión del Modelo Matemático	54
4.6. Tablas y Parámetros del Modelo Matemático	55
4.7. Limitantes del Problema	55
4.8. Función Objetivo	56
4.9. Restricciones	56
4.10. Resultados Obtenidos de Ejecución del Modelo Matemático	58
4.11. Análisis de Resultados de Gams	62
CAPITULO V	
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
ANEXO 1	
ANEXO 2	77
	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1.1 Cantidad de BP requeridos según número de asistentes a un evento, tiempo de duración del mismo y venta de bebidas alcohólicas	14
Tabla 2.1 Dimensiones del tanque de succión	20
Tabla 2.2 Peso y equilibrio del camión en kg.	21
Tabla 3.1 Característica de los camiones que realizan mantenimiento de BP	25
Tabla 3.2 Característica de los tanques de limpieza	26
Tabla 3.3 Personal a cargo operación de mantenimiento BP	26
Tabla 3.4 Distribución de BP según tipo de mercado y tipo de BP	28
Tabla 3.5 Gastos variables promedio de operación	35
Tabla 3.6 Gastos Fijos y Variables camión T1	36
Tabla 3.7 Gastos Fijos y Variables camión T2	36
Tabla 3.8 Gastos Fijos y Variables camión T3	37
Tabla 3.9 Total Gastos Fijos y Variables de flota de camiones	37
Tabla 4.1 Zonificación por nodos de la ubicación de BP en obra	39
Tabla 4.2 Limitaciones de versión utilizada de Software Gams	42
Tabla 4.3 Bloques imprescindibles de Software Gams	43
Tabla 4.4 Bloques opcionales de Software Gams	43
Tabla 4.5 Análisis de resultados de ejemplo obtenido en software Gams	49
Tabla 4.6 Distancias entre nodos en kilómetros	50
Tabla 4.7 Tiempo en minutos entre nodos	51
Tabla 4.8 Cantidad de BP asignados y desechos generados por nodo	53
Tabla 4.9 Índices de modelo matemático	54
Tabla 4.10 Variables de decisión del modelo matemático	54
Tabla 4.11 Tablas y Parámetros de modelo matemático	55
Tabla 4.12 Validación de resultados arrojados por modelo matemático	61
Tabla 4.13 Total tiempo de servicio día Lunes camión T1	62
Tabla 4.14 Total tiempo de servicio día Lunes camión T2	63



Tabla 4.15 Total tiempo de servicio día Lunes camión T3	63
Tabla 4.16 Total tiempo de servicio día Martes camión T1	64
Tabla 4.17 Total tiempo de servicio día Martes camión T2	64
Tabla 4.18 Total tiempo de servicio día Martes camión T3	65
Tabla 4.19 Total tiempo de servicio día Miércoles camión T1	65
Tabla 4.20 Total tiempo de servicio día Miércoles camión T2	66
Tabla 4.21 Total tiempo de servicio día Miércoles camión T3	66
Tabla 4.22 Total tiempo de servicio día Jueves camión T1	67
Tabla 4.23 Total tiempo de servicio día Jueves camión T2	67
Tabla 4.24 Total tiempo de servicio día Jueves camión T3	68
Tabla 4.25 Total tiempo de servicio día Viernes camión T1	68
Tabla 4.26 Total tiempo de servicio día Viernes camión T2	69
Tabla 4.27 Total tiempo de servicio día Viernes camión T3	69
Tabla 4.28 Gastos Fijos y Variables camión T1 utilizando modelo matemático	70
Tabla 4.29 Gastos Fijos y Variables camión T2 utilizando modelo matemático	70
Tabla 4.30 Gastos Fijos y Variables camión T3 utilizando modelo matemático	71
Tabla 4.31 Total Gastos Fijos y Variables flota camiones: T1, T2, T3	71
Tabla 5.1 Cantidad de baños portátiles asignados y desechos generados por nodo	73
Tabla 5.2 Distancias entre nodos en kilómetros	74
Tabla 5.3 Tiempo en minutos entre nodos	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Número de baños portátiles (BP) requeridas según el número de obreros, considerando jornadas laborales de 8 horas	13
Figura 3.1 Cantidad de baños portátiles a la fecha de corte de empresa de estudio	27
Figura 3.2 Distribución de baños portátiles en Alquiler	27
Figura 3.3 Distribución en el mercado del total de baños portátiles	29
Figura 3.4 Distribución en el mercado de BP sencillos	30
Figura 3.5 Distribución en el mercado de BP VIP	30
Figura 3.6 Distribución en el mercado de BP discapacitados	31
Figura 3.7 Proceso comercial para alquiler de baños portátiles	32
Figura 3.8 Asignación de zonas para dar mantenimiento a BP	34
Figura 4.1 Ubicación geográfica de los nodos W	40
Figura 4.2 Ubicación geográfica de los nodos V	40
Figura 4.3 Codificación del ejemplo en software GAMS	48
Figura 4.4 Resultados de ejemplo obtenidos en software GAMS	48
Figura 4.5 Comprobación en Solver - Excel de resultados en software GAMS	49
Figura 4.6 Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Lunes	58
Figura 4.7 Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Martes	59
Figura 4.8 Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Miércoles	59
Figura 4.9 Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Jueves	60
Figura 4.10 Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Viernes	60
Figura 5.1 Cuadro comparativo de ahorro situación actual VS modelo matemático	75
Figura 5.2 Proyección de ahorro anual utilizando modelo matemático	76

## CAPITULO I

### 1. GENERALIDADES

#### 1.1. JUSTIFICACIÓN

Desde hace más de 60 años, los ciudadanos de EEUU y Europa vienen haciendo uso de baños portátiles (BP). La historia de estos equipos nace en la década de los años 40, en los Astilleros de San Diego California<sup>1</sup>. Los trabajadores de los barcos tenían que ir al muelle cada vez que debían hacer uso del baño y reconociendo que esto representaba un problema, se desarrolló una pequeña cabaña con un tanque de captación que resultó ser el prototipo de los baños portátiles (BP). Las primeras versiones hechas de madera y metal, eran demasiado pesadas para ser transportadas, a más de que absorbían los olores.

A principio de los 70, se desarrollaron modelos en fibra de vidrio, pesaban menos y eran fáciles de transportar, pero requerían demasiadas reparaciones por lo frágil de su estructura y porque absorbían los olores del tanque de captación; debido a ello rápidamente se discontinuó el uso de este material.

A mediados de los 70, se empezó a utilizar el polietileno, material que aportó un notable equilibrio entre reducción de peso, durabilidad y facilidad de limpieza por ser un material anti-absorbente. A partir de esta versión el uso de los baños portátiles (BP) se difundió ampliamente en la industria de la construcción y eventos.

---

<sup>1</sup> [https://www.diamondprovides.com/Portable\\_Toilet\\_History.htm](https://www.diamondprovides.com/Portable_Toilet_History.htm)

La importancia de poder contar con una infraestructura que permita la correcta deposición de sedimentos humanos, en un mundo cada vez más dinámico crea la necesidad de disponer de baños portátiles (BP).

En la actualidad, la industria de baños portátiles (BP) es de gran ayuda al medio ambiente, esto es debido a la pequeña cantidad de agua limpia que utilizan y su reducida generación de aguas negras, convirtiéndose en una de las soluciones más eficientes en lugares donde no existe la infraestructura adecuada o en su defecto está en proceso de construcción, lo que conlleva a ser un requerimiento temporal la instalación de baños portátiles (BP). Es así que las regulaciones de eventos deportivos, culturales, musicales, así como también en las grandes obras de construcción se establecen a través de una normativa internacional (ANSI Z4.3)<sup>2</sup> que exige el aprovisionamiento de estos equipos según el número de personas asistentes en dicho espacio.

En Ecuador la cultura de uso de baños portátiles (BP) va en aumento, debido en gran manera al incremento de eventos musicales de fuerte envergadura los cuales traen requisitos de países desarrollados. Por otra parte, el auge de la construcción de obras civiles es otro motivo de incremento de uso de baños portátiles (BP), e inclusive se vuelve el mayor demandante al requerirse por periodos más largos. Aunque los entes reguladores y organizadores del país no controlan ni ejercen la normativa de manera adecuada, la cual se muestra en el grafico siguiente de la Norma ANSI:

---

<sup>2</sup>ANSI Z4.3 **American National Standard Institute, Inc.** Las disposiciones de esta norma son el resultado de un largo y cuidadoso examen de los conocimientos y experiencia disponibles sobre el tema del saneamiento industrial y están destinados a manifestar los requisitos mínimos recomendados para su aplicación por parte de trabajadores, propietarios de edificios y otros. Estas disposiciones son también adecuadas para poder ser adoptadas por autoridades administrativas gubernamentales.

<b>Número mínimo de instalaciones sanitarias</b>	
<u>Número de empleados</u>	<u>Cantidad mínima de instalaciones sanitarias</u>
	<u>En caso de recibir servicio de mantenimiento una vez por semana*</u>
1-10	1
11-20	2
21-30	3
31-40	4
Más de 40	1 instalación sanitaria adicional por cada 10 empleados adicionales
	<u>En caso de recibir servicio de mantenimiento más de una vez por semana*</u>
1-15	1
16-35	2
36-55	3
56-75	4
76-95	5
Más de 95	1 instalación sanitaria adicional por cada 20 empleados adicionales

\*\*"Servicio de mantenimiento" se refiere a vaciar los desechos y limpiar las instalaciones sanitarias. Un campamento equipado con inodoros con descarga de agua deberá cumplir con la norma respectiva a la "cantidad mínima de instalaciones sanitarias si tienen servicio de mantenimiento más de una vez por semana".

Figura 1.1 Número de baños portátiles (BP) requeridos según el número de obreros, considerando jornadas laborales de 8 horas (Fuente Norma ANSI Z4.3).

NÚMERO DE PERSONAS	# de HORAS Y SI HAY CONSUMO DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS (BA)																				USP
	1	1 con BA	2	2 con BA	3	3 con BA	4	4 con BA	5	5 con BA	6	6 con BA	7	7 con BA	8	8 con BA	9	9 con BA	10	10 con BA	
250	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	USP
500	1	1	3	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	USP
1000	2	3	4	4	5	5	5	6	6	6	6	7	6	7	7	7	7	8	7	8	USP
2000	5	5	8	9	10	11	11	12	12	13	12	14	13	14	13	15	13	15	14	15	USP
3000	7	8	12	13	14	16	16	18	17	19	19	21	19	21	20	22	20	23	20	23	USP
4000	10	11	15	17	19	21	21	24	23	26	25	28	25	29	26	30	27	30	27	31	USP
5000	12	14	19	22	24	27	27	30	29	32	31	35	32	36	33	37	33	38	34	38	USP
6000	14	16	23	26	29	32	32	36	35	39	37	41	38	43	39	44	40	45	41	46	USP
7000	17	19	27	30	33	37	37	42	41	45	43	49	44	50	46	52	47	53	48	54	USP
8000	19	22	31	35	38	43	43	48	46	52	50	56	51	57	52	59	53	60	54	61	USP
10000	24	27	39	44	48	54	54	60	58	65	62	70	64	72	66	74	67	75	68	77	USP
12500	30	34	47	55	59	67	68	76	73	82	78	88	80	90	81	91	82	92	85	96	USP
17500	42	47	68	76	84	94	95	107	100	112	110	124	111	125	113	127	116	131	116	133	USP
20000	48	54	77	87	95	107	107	120	115	129	120	135	127	143	131	148	133	150	136	153	USP
40000	96	108	154	174	190	214	214	240	230	258	243	274	254	286	262	296	266	300	272	306	USP
50000	120	135	193	218	238	268	268	300	288	323	310	350	318	358	328	370	333	375	340	383	USP
75000	180	203	289	326	356	401	401	450	431	484	461	520	476	536	491	555	499	563	510	574	USP
100000	240	270	385	435	475	535	535	600	575	645	620	700	635	715	655	740	665	750	680	765	USP

Tabla 1.1 Cantidad de baños portátiles (BP) requeridos según número de asistentes a un evento, tiempo de duración del mismo y venta de bebidas alcohólicas.  
(Fuente: Pagina Web Empresa Bamocol, www.bamocol.com)

Actualmente existen pocas empresas conocidas en la ciudad de Guayaquil que brindan este tipo de servicio (no más de 6), de acuerdo a investigación de mercado desarrollada por la empresa que se tomó como caso de estudio para la elaboración de este proyecto.

Por otra parte existen reconocidos entes internacionales como la Organización de Seguridad Industrial y Salud Ambiental (OSHA) donde dispone el uso de unidades sanitarias portátiles en todo tipo de construcciones definido en su normativa OSHA (1.926,51)<sup>3</sup>.

<sup>3</sup>OSHA (**Administración de Seguridad y Salud Ocupacional OSHA**) Organización creada en 1970 a fin de garantizar condiciones de trabajo seguras y salubres para hombres y mujeres trabajadores mediante el establecimiento y la aplicación de normas y el suministro de capacitación, inclusión, instrucción y asistencia.

Durante el Gobierno ecuatoriano del 2008, se emitió un decreto donde se establece la obligatoriedad del constructor de proveer de baños portátiles (BP) en lugares donde por infraestructura estos no existen (Reglamento de Seguridad y Salud para la Construcción y Obra Pública, Título IV, Art. 24, Enero 10, 2008).

## **1.2. PROBLEMÁTICA GENERAL**

La falta de control y regulación en la normativa del Ecuador respecto a la importancia y uso de baños portátiles ha generado por una parte, descontrol sobre los ofertantes del servicio y por otra la sobre-utilización de los baños portátiles cuando la normativa podría exigir un cierto número por usuarios.

Ante esta falta de control, los organizadores de eventos deciden en base a su criterio cuantos baños portátiles y por cuánto tiempo alquilarlos. Por otra parte, los constructores en obras dependiendo del costo y sin considerar normas legales solicitan la cantidad de estos equipos que muchas veces se vuelven insuficientes.

Si la cantidad de baños portátiles no es la adecuada, la probabilidad de que las personas realicen sus necesidades en lugares no apropiados es muy alta, generando un impacto difícilmente cuantificable al ambiente, de conocimiento general pero sin acciones que controlen esta mala práctica. Así mismo, se ocasiona pérdida de tiempo de los obreros al buscar un lugar para realizar sus necesidades fisiológicas que siempre se traducirán en términos monetarios y sin menospreciar la exposición indecente para con la sociedad.

La norma ANSI también determina la responsabilidad de asegurar el debido servicio de mantenimiento de los baños portátiles, entendiéndose por servicio de mantenimiento a vaciar los desechos y limpiar las instalaciones sanitarias para que estos se mantengan en

condiciones de limpieza y sanidad. Es por esto, que se vuelve de vital importancia el correcto manejo y servicios de mantenimiento de baños portátiles.

En Guayaquil la empresa objeto de este estudio tiene a su vez la problemática de los tiempos de atención, restricciones de circulación, ventanas horarias que generan pago de tiempos extraordinarios a trabajadores y una flota aparentemente insuficiente para brindar el servicio de mantenimiento de baños portátiles de manera oportuna, por lo que se busca optimizarlo a través de un modelo matemático.

### **1.3. OBJETIVO DEL PROYECTO**

#### **1.3.1. Objetivos Generales**

- Diseñar un modelo matemático que permita optimizar el servicio de recolección de desechos de los baños portátiles en la ciudad de Guayaquil.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Desarrollar localizaciones (clúster) para los clientes, de tal manera que permita la ubicación geográfica específica de su demanda.
- Desarrollar algoritmos matemáticos que permitan cumplir con el objetivo general.
- Analizar panorama actual versus los resultados que se logran a través de la utilización de los modelos matemáticos.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEORICO

#### 2.1. DEFINICIONES GENERALES

- **Inodoros de flujo y descarga** Un inodoro de flujo y descarga es un dispositivo que utiliza fluidos que pueden ser agua para su funcionamiento, estos fluidos pueden estar depositados en un contenedor o receptáculo, o pueden recircular en un sistema cerrado con el objetivo de limpieza mediante lavado. Este tipo de dispositivos se pueden instalar en una estructura portátil o fija.
- **Inodoros de descarga por flujo de agua:** Un inodoro de descarga por flujo de agua es un dispositivo donde los desechos son eliminados desde la taza, la cual se limpia con agua, y la combinación de agua con residuos se deposita dentro de un contenedor o receptáculo, o recircula a través de un sistema cerrado con la finalidad de limpiar estos dispositivos mediante el enjuague; estos dispositivos incluyen pero no se limitan a los dispositivos de inodoro al vacío.
- **Inodoros de flujo y descarga que no hacen uso de agua:** Una instalación de inodoro sin descarga de agua es en un dispositivo donde los desechos se evacuan desde la taza y esta taza se limpia mediante un líquido distinto al agua; dicho líquido es almacenado en un contenedor o recipiente, o puede ser tratado para su recirculación.
- **Instalación de inodoro sin descarga:** Una inodoro sin descarga es un dispositivo donde los desechos se depositan directamente en un recipiente sin descargar agua para enjuague.

- **Inodoro químico:** Un inodoro químico es un dispositivo donde los desechos se depositan directamente en un contenedor que contiene una solución de agua y químicos. Este dispositivo puede instalarse en una estructura portátil o fija.
- **Inodoro biológico:** Un inodoro biológico es un dispositivo sanitario donde los desechos son depositados, con o sin enjuague por descarga, dentro de un contenedor de desechos que es parte integral del dispositivo sanitario, donde a su vez se tratan por medio de agentes biológicos o procesos que incluyen aire.
- **Unidad sanitaria:** Una unidad sanitaria es un compartimiento que contiene uno o más inodoros. La unidad sanitaria puede ser portátil o fija.
- **Asiento de inodoro:** Un asiento de inodoro es un dispositivo que se mantiene dentro del cuarto de la unidad sanitaria con la finalidad de defecar y orinar.
- **Urinal:** Un urinal es servicio higiénico instalado dentro de una unidad sanitaria con el único propósito de orinar.
- **Lavabo:** Un lavabo es una palangana o vasija similar que se utiliza para lavarse las manos, brazos, cara y cabeza.
- **Aguas residuales:** Aguas residuales son aguas sucias que provienen de actividades culinarias, aseo personal y de instalaciones de limpieza y de lavado de ropa.
- **Número de empleados:** El término “número de empleados” denota el número máximo de empleados presentes en cualquier momento en una jornada regular.

- **Portátil:** El término “portátil” significa que puede ser reubicado rápido o fácilmente.
- **Baño Portátil:** Es un compartimiento que puede reubicarse fácilmente fabricados principalmente en polietileno de alta resistencia, poseen un tanque receptor acondicionado con productos químicos, un respiradero para evitar malos olores, urinal, asiento de inodoro, papel sanitario y dependiendo el tipo de baño portátil pueden tener también un lavabo, los cuales van a permitir defecar y/u orinar, sin que las aguas residuales tengan conexión directo con el alcantarillado público.
- **Baño Portátil Sencillo:** Es la unidad que solo tiene inodoro, urinario.
- **Baño Portátil VIP:** Es la unidad que tiene lo de un baño portátil sencillo y adicional un lavabo.
- **Baño Portátil Discapacitado:** Esta unidad está diseñada para permitir el ingreso de personas con discapacidad.

## 2.2. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CAMIONES

### 2.2.1. Camiones succionadores

Cada camión viene equipado con su respectivo equipo de succión, los cuales están conformados por:

- Manguera de acondicionamiento de 30” (otras opcionales)
- Sistema electrónico automático de relantí acelerado

- Sistema de engrase con bomba
- Válvula primaria de rebose (en el tanque)
- Válvula secundaria de retención (en la línea)
- Silenciador de escape
- Indicador de succión
- Bomba estándar conde SDS12
- Accionamiento estándar de la bomba
- Y propiamente el tanque de succión

### 2.2.2. Diseño y Material del Tanque

- **Compartimiento delantero para desechos:**

Volumen de 646 galones, estructura de 3/16" cabezales dos de espesor 7" (diámetros de 54" con borde de 1 1/2") deflectores de espesor 12" con una separación de 2" cada cabezal.

- **Compartimiento Trasero de agua limpia:**

Volumen de 300 galones, estructura 3/16" con un cabezal de espesor 7", deflectores laterales de espesor 12" en toda la longitud de la estructura.

Dimensiones del Tanque de Succión	
Descripción	Dimensión
Longitud (módulo) Mt.	3.68
Ancho (general) sin abrazadera de espejo Mt.	2.49
Altura general (montado) Mt.	2.54
Altura del módulo (sin montar) Mt.	1.47
Peso del módulo kg	1,383.45

Tabla 2.1 Dimensiones del tanque de succión.

- **Montaje:**

El tanque se apoya en la estructura de la carrocería sobre 6 tiras cautivas de roble de 1"x3" y de 18" de longitud, el montaje delantero está compuesto por varillas roscadas templadas de 7/8" y tuercas de seguridad utilizadas con un soporte de barra de 1/2" a la derecha y a la izquierda. El montaje trasero está compuesto de 3/8" y 1/4". Los soportes están atornillados a la estructura del camión con pernos enchapados grado 8 de 1" y 1/2" de diámetro, tuercas y arandelas de seguridad.

- **Puntos de descarga:**

Desechos: descarga de 3" exactamente delante de la rueda trasera, del lado del conductor.

Agua limpia: descarga de 2" exactamente detrás de la rueda trasera, del lado del conductor.

Peso y equilibrio			
Eje delantero (kg)	Peso de los ejes	Eje Trasero (kg)	Total (kg)
2,943.35	Vacío	2,944.25	5,887.60
2,648.97	Lleno de agua limpia	4,780.39	7,429.35
3,624.18	Lleno de desechos	5,733.38	9,357.56
3,592.43	Camión lleno*	6,073.57	9,666.00

\*Camión lleno = lleno de desechos, carga de agua limpia al 20% , 2 USP y el conductor.

Tabla 2.2 Peso y equilibrio del camión en kg.

### 2.3. PROBLEMA DE RUTEO VEHICULAR (VRP)

Dentro de la cadena logística de las empresas el transporte es uno de los principales rubros y más representativos (económicamente), constituyendo entre uno y dos tercios del costo logístico total<sup>4</sup>. Por lo que se convierte relevante la elaboración de óptimos diseños de rutas para tratar de disminuir este rubro, dando lugar a los problemas de optimización combinatoria conocidos como Problemas de Ruteo Vehicular (en inglés conocido por sus siglas VRP Vehicule Routing Problem).

En 1956, Flood introdujo el primer problema clásico de este tipo conocido como el agente viajero (siglas en inglés TSP Travelling Salesman Problem), donde un agente vendedor parte de una ciudad y debe determinar la ruta para visitar cierta cantidad de ciudades una sola vez y regresar a la ciudad de origen, todo esto con el objetivo de que la distancia total recorrida sea mínima.

Después de la introducción de Flood, en 1959 Dantzing y Ramser plantean un problema de determinar el mejor conjunto de rutas que minimicen el costo total al despachar de combustible desde una terminal hacia diferentes estaciones de servicios a través de una flota de camiones. Convirtiéndose en la base para una gran cantidad de variantes de este problema, de acuerdo a las características de cada variable involucradas en el problema. Entre los que podemos destacar:

Lugares de despacho: En el caso de ser un solo lugar, la ruta empieza y termina en el mismo punto. Mientras que otro escenario pueden empezar en un lugar y terminar en otro. Para el presente caso de estudio se cuenta con dos variables, primero un punto de partida llamado "INICIAL" que representa la ubicación de la empresa donde el chofer

---

<sup>4</sup>Ronald H. Ballou. Logística, administración de la cadena de suministro, Pearson Educación, México 2004.

retira el camión y también existe el punto de descarga donde debe entregarse los desechos recolectados por cada camión en ruta, y a este variable la denominamos "FINAL".

Número de vendedores: Puede ser un parámetro establecido o puede ser la variable que resulte de la solución del problema de ruteo. Para el presente caso de estudio es un parámetro establecido y se le denomina T1, T2,T3 representando los tres camiones con los que cuenta la empresa y deben seguir una ruta para atender con el mantenimiento de limpieza de los baños portátiles asignadas a cada nodo.

Ventanas de tiempo: Se determina que nodo debe ser visitados en periodos específicos de tiempo. En el presente caso esta variable se denomina TI y representa 540 minutos diarios que posee cada camión para culminar su ruta de mantenimiento de los baños portátiles.

Capacidad: La flota de transporte posee una capacidad de almacenamiento de desechos restringida, así como los clientes que atiende poseen una demanda y localización conocida.

En este caso se denomina CAP y corresponde a 646 galones capacidad individual de acopio de desechos de cada camión.

El problema de estudio del presente proyecto se clasifica dentro de los problemas conocidos como encaminamiento o ruteo de vehículos (VRP) o de planificación de vehículos (VSP). El ruteo de vehículos diverge en una buena cantidad de especificaciones, pero todos conservan ciertas características principales, como la de ruteo con cierta capacidad definida para todo el proceso de planificación e igual para todos los vehículos involucrados, un deposito desde donde parten todos los vehículos de flete, una cierta cantidad de clientes (que permanece igual durante toda la planificación), a los cuales se les debe proveer un servicio de entrega o retiro de un bien

y un costo asociado a la ejecución de un servicio . El tipo de problema que tiene estas características es el más básico de los VRP y se llama problema de ruteo vehicular capacitado ó CVRP.

El CVRP puede ser descrito de la siguiente manera: Sea  $G= (V,A)$ , un grafo completo donde  $V=(0,....n)$  es el conjunto de vértices del grafo y  $A$  el conjunto de arcos que unen estos vértices . Los vértices  $i$  que van desde  $1$  hasta  $n$ , es decir  $i=1,....n$ , son los representativos de los clientes, y el vértice  $0$  corresponde al depósito. Algunas veces el depósito es asociado también con el vértice  $n+1$ .

Un costo no negativo asociado a los arcos  $(i,j) \in A$  producidos entre los vértices del grafo denotado como  $c_{ij}$  que representa ir desde el vértice  $i$  al vértice  $j$  pudiendo ser representativo del tiempo. Si el costo de ir a  $(c,j)$  es diferente al costo de  $(j,i)$ , entonces se entiende como un grafo dirigido y por lo tanto los costos serán asimétricos  $(c_{ij} \neq c_{ji})$ , y esto se lo indica en los VRP a través de un prefijo, si es asimétrico se denomina ACVRP, caso contrario si  $(c_{ij} = c_{ji})$ , se denomina SCVRP.

En resumen el CVRP tiene como objetivo encontrar un conjunto de rutas (para cada vehículo) con un costo mínimo, que se define como la suma de los costos de los arcos pertenecientes a los circuitos, donde se cumpla que:

- Cada ruta visite el vértice del depósito.
- Cada vértice de los clientes es visitado una sola vez.
- La suma de las demandas de los vértices visitados no puede ser mayor a la capacidad de los vehículos.



## CAPITULO III

### 3. ANALISIS DE LA SITUACION ACTUAL

#### 3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se expondrá la capacidad actual de mantenimiento de baños portátiles mostrado en número de camiones como de personal asignado a los mismos, la cantidad de baños portátiles alquilados por tipo de mercado, el análisis porcentual de cada mercado en relación al alquiler, la participación de los baños portátiles por mercado, como también se explicará el proceso de gestión comercial para el alquiler y la gestión operativa de asignación para el mantenimiento de los baños portátiles.

#### 3.2. RECURSOS DE LA EMPRESA

La empresa cuenta con tres camiones para realizar el mantenimiento de los baños portátiles según lo muestra la tabla 3.1:

Marca	Modelo	Año	Capacidad/TM	LARGO TOTAL (MTS)
HINO	FB	2011	6	8
HINO	FC	2011	6	10
HINO	FB	2011	6	12
<b>Total</b>	<b>3</b>		<b>18</b>	

Tabla 3.1 Característica de los camiones que realizan mantenimiento de BP

Así mismo cada camión tiene un tanque de limpieza cuyas características están expresadas en la siguiente tabla 3.2:

Modelo	Cant.	Cap. Recolección (g) x Modelo	Cap. Recolección (g)/día
MD950	2	646	1.292
<b>Total</b>	<b>2</b>		<b>1.292</b>

Tabla 3.2 Característica de los tanques de limpieza

Los recursos en personal se describen a continuación en la tabla 3.3:

Recurso Humano	
Función	Cantidad
Conductor	3
Ayudante	3
	<b>6</b>

Tabla 3.3 Personal que maneja operación para mantenimiento de BP

### 3.3. ANÁLISIS DEL MERCADO

A continuación en la figura 3.1 se muestra la cantidad de baños portátiles con corte a la fecha de este estudio, y su composición respecto al tipo de mercado donde está ubicada y también respecto al tipo de baños portátiles:

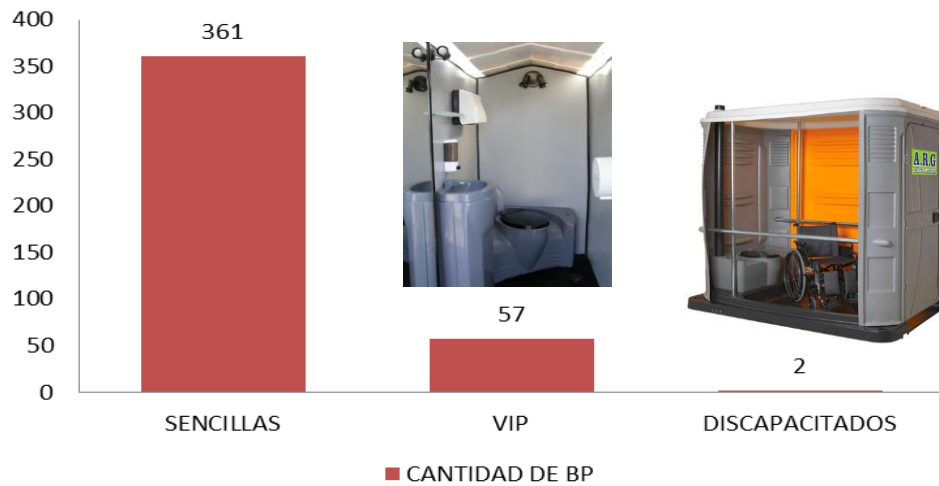


Figura 3.1 Cantidad de baños portátiles a la fecha de corte de empresa de estudio

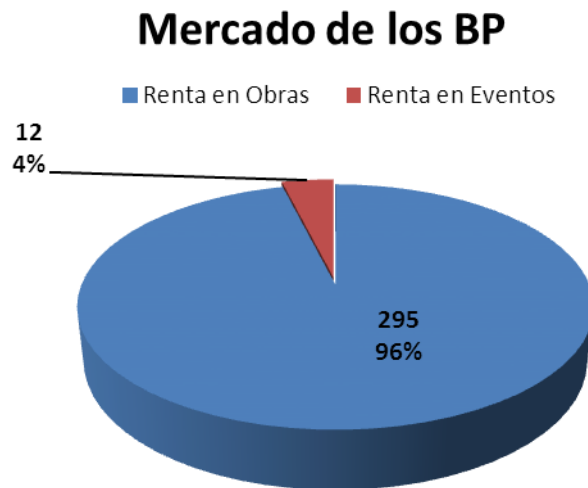


Figura 3.2 Distribución de BP en el mercado

A continuación en la tabla 3.4, podemos observar que se distribuye los baños portátiles por tipos de mercados y según el tipo de baño portátil, los cuales son:

### Alquiler por tipo de BP y mercado

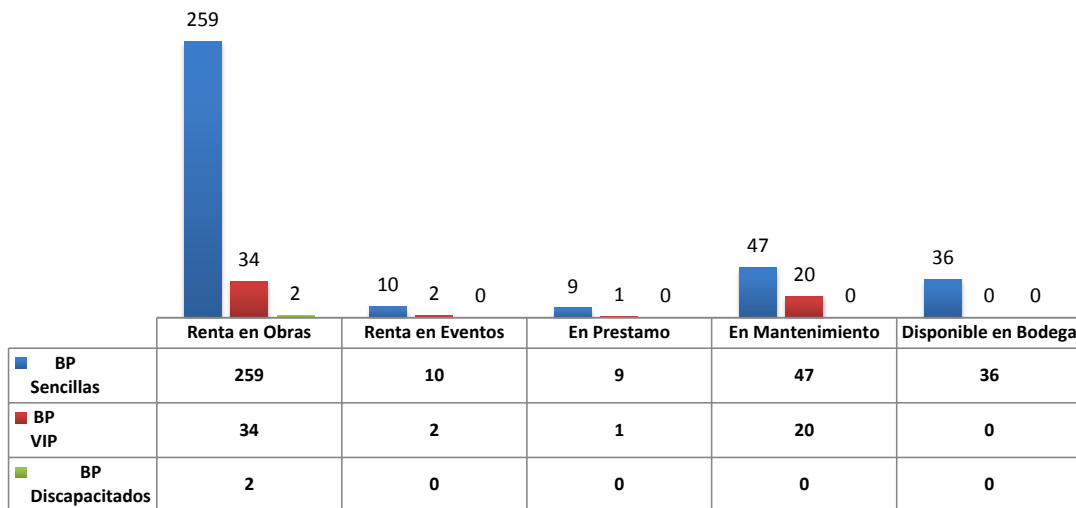


Tabla 3.4 Distribución de baños portátiles según tipo de mercado y tipo de baños portátiles

Renta en Obras: Se refiere a la cantidad de baños portátiles que se alquilan a obras en construcción, por ejemplo urbanizaciones nuevas, edificios, obras de infraestructura, etc.

Renta en Eventos: Se refiere a la cantidad de baños portátiles que se alquilan para conciertos, eventos deportivos, culturales, sociales, o cualquier otro de carácter evento especial no recurrente por lo general el tiempo de alquiler en este mercado no es mayor a 10 días.

En Préstamo: Se refiere a los baños portátiles que son requeridos por la propia empresa en alguna obra o evento que esté realizando.

En Mantenimiento: Se refiere a los baños portátiles que han regresado de algunos de los mercados de alquiler y deben someterse a un proceso de limpieza antes de poder estar disponibles para volverlos a alquilar.

Disponible en Bodega: Se refiere a los baños portátiles que están disponibles para alquilar ya sean estos nuevos o usados pero que ya han recibido el mantenimiento correspondiente.

A continuación se detalla porcentualmente la segmentación del total de baños portátiles al momento de realizar el corte en la empresa objeto de estudio.

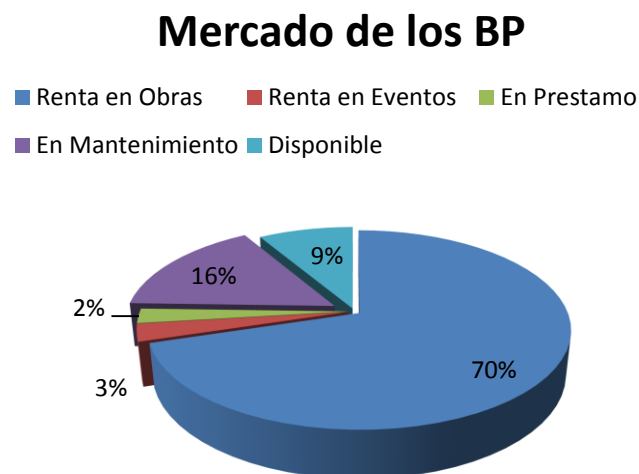


Figura 3.3. Distribución en el mercado del total de baños portátiles

### Mercado de los BP sencillas

■ Renta en Obras ■ Renta en Eventos ■ En Prestamo  
■ En Mantenimiento ■ Disponible

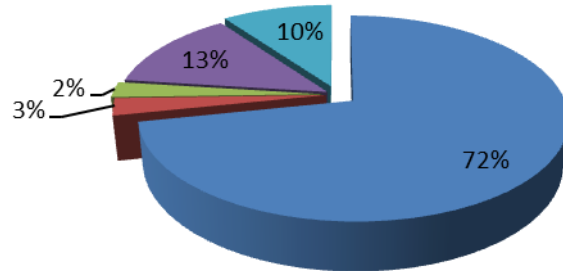


Figura 3.4. Distribución en el mercado de los baños portátiles sencillos

### Mercado de los BP VIP

■ Renta en Obras ■ Renta en Eventos ■ En Prestamo  
■ En Mantenimiento ■ Disponible

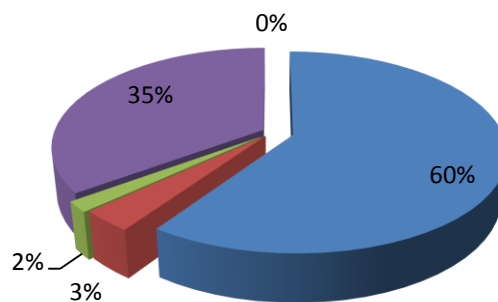


Figura 3.5. Distribución en el mercado de los baños portátiles VIP

## Mercado de los BP Discapacitados

■ Renta en Obras ■ Renta en Eventos ■ En Prestamo  
■ En Mantenimiento ■ Disponible

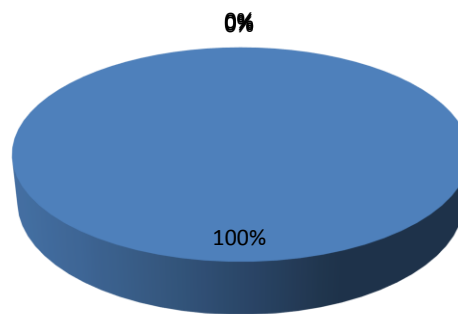


Figura 3.6. Distribución en el mercado de los baños portátiles discapacitados

### 3.4 PROCESO DE GESTIÓN COMERCIAL

La empresa objeto de estudio, cuenta con un departamento comercial cuyo enfoque principal es el alquiler de equipos de apuntalamiento, entiéndase marcos y puntales para la construcción. Como parte del portafolio de productos se encuentran los baños portátiles que son requeridos normalmente en las obras de construcción, por lo que la negociación se basa en:

- Cantidad de personas en la obra
- Tiempo de ejecución de la obra
- Horas de trabajo por día

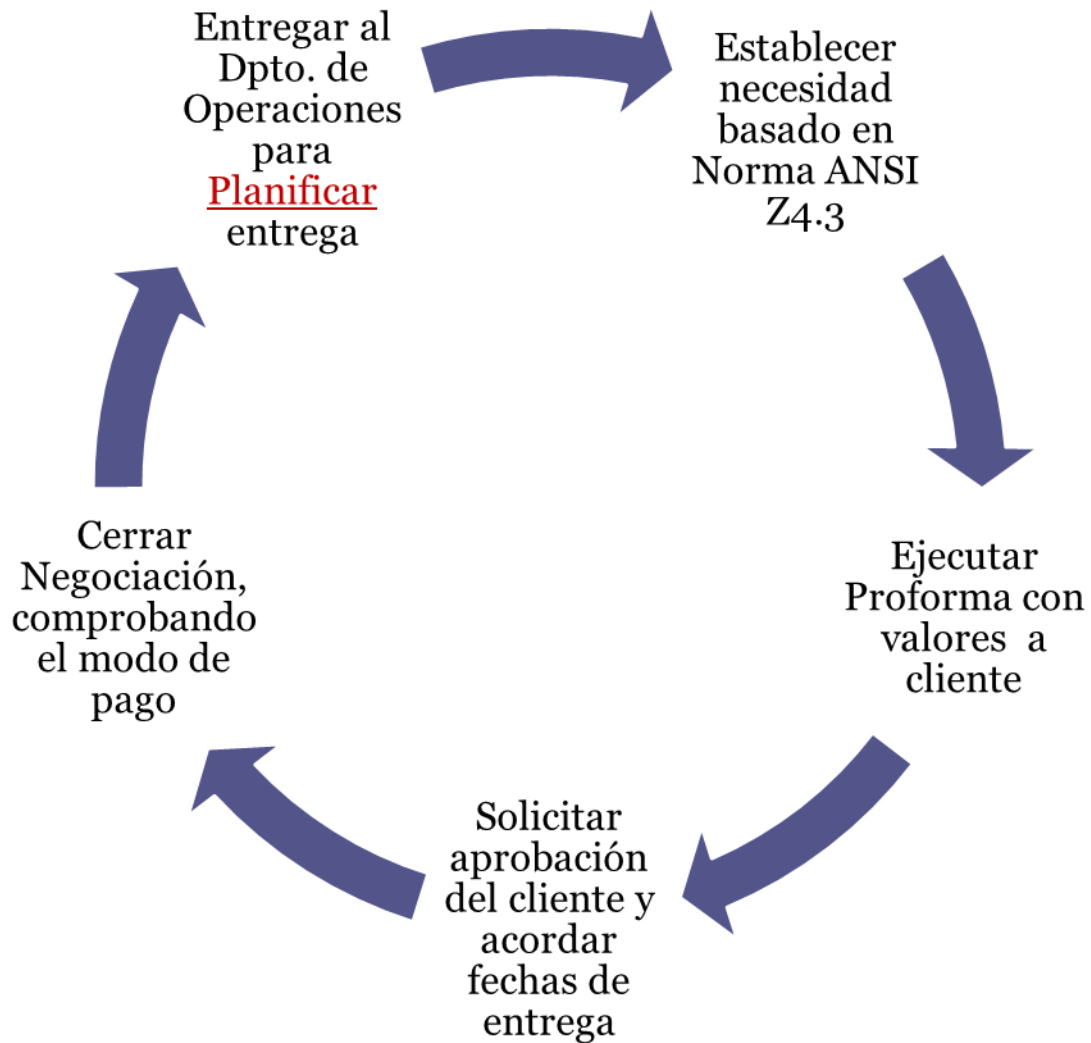


Figura 3.7. Proceso comercial para alquiler de baños portátiles

Definido dichos parámetros, se realiza un contrato de alquiler dentro del cual se incluye el servicio de limpieza semanal de los baños portátiles.



### **3.5. PROCESO DE GESTIÓN OPERATIVA - ASIGNACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE BAÑOS PORTÁTILES**

Una vez que el Departamento de Operaciones recibe el pedido del Departamento Comercial, gestiona la entrega de los baños portátiles en la dirección especificada en el contrato de alquiler y en lo posterior debe realizar el mantenimiento de los mismos.

Actualmente, estas actividades son coordinadas manualmente por un asistente del Departamento de Operaciones hacia el cliente a través de llamadas telefónicas, correos electrónicos, o mensajes de texto vía celular. Sí bien es cierto la empresa objeto de estudio cuentan con un sistema informático de planificación de recursos ERP, todavía no logra explotar la herramienta para poder fijar los requerimientos de sus clientes de manera automática por lo que no existe un proceso formal para dichas actividades.

Es importante considerar que de acuerdo a lo estipulado en contrato de alquiler el mantenimiento de limpieza de los baños portátiles debe realizarse al quinto día laborable después de ser entregados en el sitio de alquiler y así sucesivamente hasta la terminación del contrato. En la actualidad esto no se cumple, puesto que como se mencionó anteriormente el proceso es muy informal y el único criterio de asignación de ruta para dar mantenimiento a los baños portátiles que la empresa utiliza son los puntos que el chofer considere visitar día a día, ya que son ellos los que conocen los destinos y si bien es cierto la experiencia de estos conductores es un buen criterio para cumplir con la operación, esta podría mejorar utilizando un modelo matemático.

Se pudo comprobar que la empresa cuenta con dos zonas de ubicación preestablecidas, las cuales se muestran en el siguiente mapa figura 3.8:

- Zona # 1: Vía a la Costa
- Zona #2: Vía a la Puntilla Samborondón

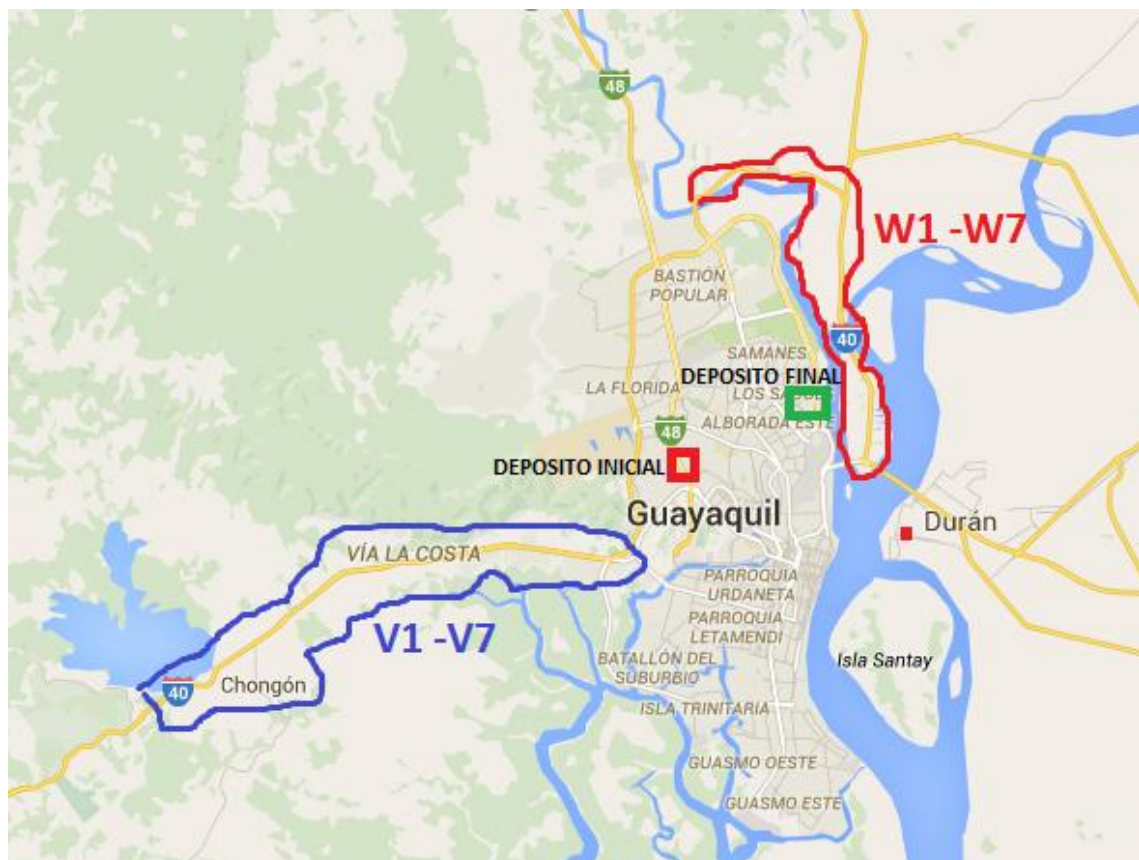


Figura 3.8. Asignación de zonas para dar mantenimiento a baños portátiles

### 3.6. ANALISIS FINANCIERO DE OPERACIÓN ACTUAL

A continuación se presenta detalle de gastos fijos y variables considerando el panorama actual de cómo se lleva a cabo la operación de alquiler y mantenimiento de baños portátiles de la empresa objetivo con el fin de poder comparar en los capítulos siguientes dicho resultado versus el sugerido por el modelo matemático y comprobar numéricamente si existen beneficios.

Se consideró como gastos variables el consumo de combustible por kilómetro, vida útil neumáticos y mantenimiento anual detallados en Tabla 3.5.

Así mismo, los sueldos mensuales de chofer y ayudante para cada camión se consideraron como gastos fijos puesto que los mismos no se afectan si existe mayor o menor kilometraje durante el recorrido en la ruta de cada camión y se detallan en Tabla 3.6, 3.7 y 3.8.

<b>COMBUSTIBLE</b>	
Rendimiento x Km	20
Costo del Galon de Diesel	\$ 1,02
Costo x Km	\$ 0,05

<b>NEUMATICOS</b>	
Cantidad Medida /750x16	6
Precio Llanta x unid	\$ 245
Vida útil km	50.000
Costo x Km	\$ 0,029

<b>MANTENIMIENTO</b>	
Costo Anual	\$ 14.000
Costo Mensual	\$ 1.167
Km/Promedio recorrido	5.000
Costo x Km	\$ 0,233

Tabla 3.5. Gastos Variables Promedio de operación

DETALLE DE GASTOS T1				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 950
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 400
<b>TOTAL GASTOS FIJOS (A)</b>				<b>\$ 1.350</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	\$ 0,051	820	3.280	\$ 167
NEUMATICOS	\$ 0,029	820	3.280	\$ 96
MANTENIMIENTO	\$ 0,233	820	3.280	\$ 765
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES(B)</b>				<b>\$ 1.029</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 2.379</b>

Tabla 3.6. Gastos Fijos y Variables camión T1

DETALLE DE GASTOS T2				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 950
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 400
<b>TOTAL GASTOS FIJOS (A)</b>				<b>\$ 1.350</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	\$ 0,051	1.093	4.372	\$ 223
NEUMATICOS	\$ 0,029	1.093	4.372	\$ 129
MANTENIMIENTO	\$ 0,233	1.093	4.372	\$ 1.020
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES (B)</b>				<b>\$ 1.372</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 2.722</b>

Tabla 3.7. Gastos Fijos y Variables camión T2

DETALLE DE GASTOS T3				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 950
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 400
<b>TOTAL GASTOS FIJOS (A)</b>				<b>\$ 1.350</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	\$ 0,051	1.036	4.144	\$ 211
NEUMATICOS	\$ 0,029	1.036	4.144	\$ 122
MANTENIMIENTO	\$ 0,233	1.036	4.144	\$ 967
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES (B)</b>				<b>\$ 1.300</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 2.650</b>

Tabla 3.8. Gastos Fijos y Variables camión T3

Finalmente la tabla 3.9 a continuación totaliza los gastos fijos y variables de toda la flota.

DETALLE DE GASTOS TOTAL FLOTA				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 2.850
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 1.200
<b>TOTAL GASTOS FIJOS (A)</b>				<b>\$ 4.050</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	\$ 0,051	2.949	11.796	\$ 602
NEUMATICOS	\$ 0,029	2.949	11.796	\$ 347
MANTENIMIENTO	\$ 0,233	2.949	11.796	\$ 2.752
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES (B)</b>				<b>\$ 3.701</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 7.751</b>

Tabla 3.9. Total Gastos Fijos y Variables de flota de camiones

## CAPITULO IV

### 4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO

#### 4.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El presente caso de estudio se busca optimizar la ruta asignada para dar mantenimiento a los baños portátiles asignados a la zona 1 que comprende Vía a la Costa y zona 2 vía Samborondón, ambas correspondientes a la ciudad de Guayaquil.

Con la finalidad de cumplir el objetivo de este proyecto, se realizó una zonificación respecto a la ubicación geográfica de los baños portátiles que se encontraban en alquiler, contando así con 14 nodos distribuidos tal como se detalla en la Tabla 4.1.

A estos 14 nodos se añaden dos nodos, el nodo inicial que corresponde a la locación de la empresa donde los camiones T1, T2 y T3 son retirados por el chofer para iniciar la ruta de mantenimiento de baños portátiles y el nodo final correspondiente al depósito final donde deben descargar los desechos recolectados en el tanque una vez que han culminado la ruta de mantenimiento de los baños portátiles en un día de labor.

<b>CODIGO NODO</b>	<b>LIMITES DEL NODO</b>
<b>V1</b>	VIA A LA COSTA: KM1- KM4
<b>V2</b>	VIA A LA COSTA: KM4- KM8
<b>V3</b>	VIA A LA COSTA: KM8- KM12
<b>V4</b>	VIA A LA COSTA: KM12- KM16
<b>V5</b>	VIA A LA COSTA: KM16- KM20
<b>V6</b>	VIA A LA COSTA: KM20- KM24
<b>V7</b>	VIA A LA COSTA: KM24- KM28
<b>W1</b>	VIA A SAMBORONDON : KM14-KM12
<b>W2</b>	VIA A SAMBORONDON : KM12-KM10
<b>W3</b>	VIA A SAMBORONDON : KM10-KM8
<b>W4</b>	VIA A SAMBORONDON : KM8-KM6
<b>W5</b>	VIA A SAMBORONDON : ISLA MOCOLI
<b>W6</b>	VIA A SAMBORONDON : KM6-KM3
<b>W7</b>	VIA A SAMBORONDON : KM3-KM1
<b>INICIAL</b>	KM. 5.5 VIA A DUALE
<b>FINAL</b>	KM. 1 AUTOPISTA TERMINAL T.PASCUALES

Tabla 4.1 Zonificación por nodos de la ubicación de BP en obra

Para una mejor comprensión de la zonificación que se propone para este caso de estudio, se utilizó la herramienta de Google Maps y de una manera más grafica detallar ubicación geográfica que abarcaría los nodos V y W que se muestran a continuación en la figura 4.1 y 4.2

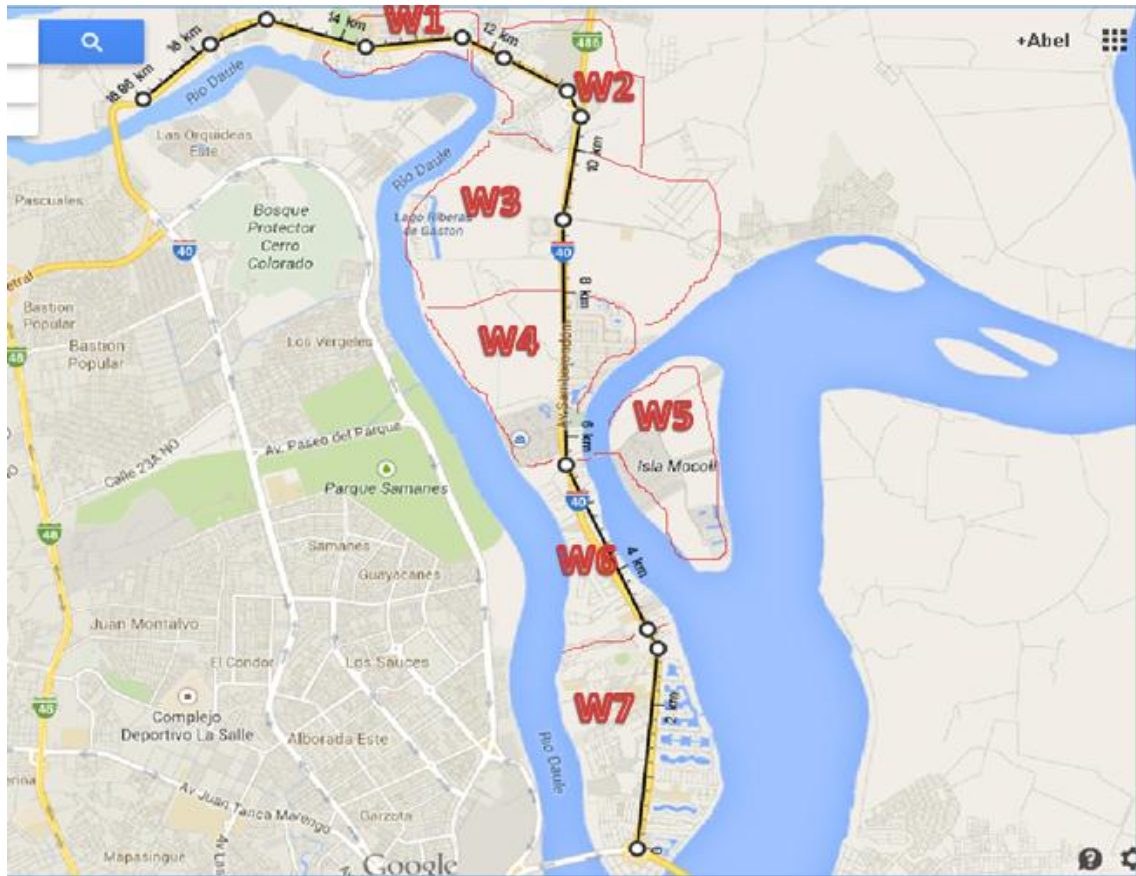


Figura 4.1 Ubicación geográfica de los nodos W



Figura 4.2 Ubicación geográfica de los nodos V



## **4.2 PROGRAMA INFORMÁTICO GAMS**

### **4.2.1 DESCRIPCION DEL PROGRAMA INFORMATICO GAMS**

Para la optimización de la ruta se ha utilizado un modelo matemático de ruteo vehicular y su resolución se la realiza en el programa informático GAMS (General Algebraic Model System) desarrollado por A. Brooke, D Kendrick y A. Meeraus a finales de la década de los años 80.

GAMS es un sistema de modelado de programación matemática donde se puede resolver problemas lineales, no lineales y de optimización utilizando un lenguaje de modelización donde el usuario a través de un editor puede ingresar y manipular la formulación del modelo matemático, y aplicando un solver resolver el modelo.

El programa se encarga de realizar las operaciones matemáticas e iteraciones necesarias para resolver el problema, mientras que el usuario se encarga de desarrollar la parte conceptual del modelo.

El software informático GAMS maneja un lenguaje básico y muy simplificado. Así mismo, su interfaz, proporciona informes detallando resultados de las ecuaciones y las variables utilizadas en el modelo.

Para el presente caso se utilizó la versión de demostración que tiene las siguientes limitaciones:

Máximo número de filas:	300
Máximo número de columnas:	300
Máximo número de elementos distintos de cero:	2000
Máximo número de elementos no lineales:	1000
Máximo número de variables discretas:	50

Tabla 4.2 Limitaciones de versión utilizada de Software Gams

Para trabajar la programación en GAMS es necesario considerar las siguientes reglas del programa:

1. El uso de mayúsculas y minúsculas es indiferente.
2. Todos los comandos deben ser culminados con un punto y coma (;).
3. GAMS compromete un conjunto de palabras para caracterizar sus valores, por lo que los identificadores únicos declarados por el programador deben ser diferentes a dicho conjunto de palabras reservadas.
4. No se permite uso de caracteres especiales como la letra ñ, tildes o acentos para especificar los identificadores únicos declarados (nombres de variables, parámetros, modelos...), éstos deben comenzar por una letra y puede contener hasta 10 símbolos alfanuméricos en total.
5. Los espacios en blanco consecutivos se entienden por GAMS como un único espacio.
6. Es obligatorio declarar previamente valores y datos para poder insertar bloques y parámetros.

Los bloques imprescindibles que deben declararse son:

Bloque	Nombre del bloque
VARIABLES	VARIABLE(S)
EQUATION(S)	EQUATION(S)
MODEL	MODEL
SOLVE	SOLVE

Tabla 4.3 Bloques imprescindibles de Software Gams

Existen bloques opcionales que suele ser bastante utilizados tales como:

Bloque	Nombre del bloque
SET(S)	SET(S)
DATA	DATA
DISPLAY	DISPLAY
PARAMETERS	PARAMETERS

Tabla 4.4 Bloques opcionales de Software Gams

Adicional a esto se puede agregar líneas de comentarios para explicar el modelo o algún dato relevante. Existen dos maneras de introducir un comentario:

- Iniciar el comentario con un asterisco (\*).
- Utilizar el comando *\$ontext* al iniciar un párrafo de texto y finalizar el mismo con el comando *\$offtext*

#### 4.2.2 EJEMPLO DEL PROGRAMA INFORMÁTICO GAMS

A continuación se detalla un problema de optimización lineal y su codificación en GAMS. Sean  $i$  fábricas de producción de zapatos y  $j$  demanda de clientes. Cada fábrica tiene una capacidad máxima de producción en cajas  $a_i$  y cada cliente demanda una cantidad  $b_j$ . Se asume un costo de transporte por cada caja  $c_{ij}$  entre cada fábrica  $i$  y cada cliente. El objetivo es satisfacer la demanda de cada cliente al mínimo coste. La variable de decisión del problema será  $x_{ij}$  correspondiente a las cajas transportadas entre cada fabrica  $i$  y cada cliente  $j$ .

Algebraicamente la representación del problema sería:

- Límite de la capacidad máxima de producción.

$$\sum_j x_{ij} \leq a_i \text{ para cada fabrica } i$$

- Satisfacción de la demanda de cada mercado.

$$\sum_i x_{ij} \geq b_j \text{ para cada mercado } j$$

- Función objetivo minimización de costes totales de transporte.

$$\sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij}$$

La codificación en lenguaje GAMS a continuación sería:

```
$TITLE MODELO DE TRANSPORTE

SETS
I Fabricas de envasado/VIGO,ALGECIRAS/
J Mercados de Consumo/MADRID,BARCELONA,VALENCIA/

PARAMETERS
A(I) capacidad de producción de la fabrica i (cajas)
/VIGO 350
ALGECIRAS 700/
B (J) Demanda de mercado j (cajas)
/MADRID 400
BARCELONA 450
VALENCIA 150/
TABLE C(I,J) coste unitrio entre i y j (miles de euros por caja)
      MADRID    BARCELONA    VALENCIA
VIGO      0.06      0.12      0.09
ALGECIRAS 0.05      0.15      0.11

VARIABLES
X (I,J) cajas transportadas entre fabrica i y mercado j (cajas)
CT CostO de transporte (miles de euros)

POSITIVE VARIABLE X

EQUATIONS

COSTO Costo de transporte
CAPACIDAD (I) Capacidad maxima de Fabrica I
DEMANDA (J) Satisfaccion de demanda de cada mercado;

COSTO..      CT =E= SUM((I,J), C(I,J) * X(I,J)) ;
CAPACIDAD(I) ..SUM (J,X (I, J))=L=A (I) ;
DEMANDA (J) ..SUM (I,X (I, J))=G=B (J) ;
MODEL TRANSPORTE /COSTO , CAPACIDAD,DEMANDA/

SOLVE TRANSPORTE USING LP MINIMIZING CT
```

Figura 4.3 Codificación del ejemplo en Software Gams

```

COMPILATION TIME      =          0.000 SECONDS      3 Mb  WIN238-238 Apr  3, 2012
GAMS Rev 238  WEX-VS8 23.8.2 x86/MS Windows      11/10/15 16:35:14 Page 3
MODELO DE TRANSPORTE
Equation Listing      SOLVE TRANSPORTE Using LP From line 39

---- COSTO  =E=  Costo de transporte

COSTO..  - 0.06*X(VIGO,MADRID) - 0.12*X(VIGO,BARCELONA) - 0.09*X(VIGO,VALENCIA)
        - 0.05*X(ALGECIRAS,MADRID) - 0.15*X(ALGECIRAS,BARCELONA)
        - 0.11*X(ALGECIRAS,VALENCIA) + CT =E= 0 ; (LHS = 0)

---- CAPACIDAD  =L=  Capacidad maxima de Fabrica I

CAPACIDAD(VIGO)..  X(VIGO,MADRID) + X(VIGO,BARCELONA) + X(VIGO,VALENCIA) =L= 350
                ; (LHS = 0)

CAPACIDAD(ALGECIRAS)..  X(ALGECIRAS,MADRID) + X(ALGECIRAS,BARCELONA)
                + X(ALGECIRAS,VALENCIA) =L= 700 ; (LHS = 0)

---- DEMANDA  =G=  Satisfaccion de demanda de cada mercado

DEMANDA(MADRID)..  X(VIGO,MADRID) + X(ALGECIRAS,MADRID) =G= 400 ;

                (LHS = 0, INFES = 400 ****)

DEMANDA(BARCELONA)..  X(VIGO,BARCELONA) + X(ALGECIRAS,BARCELONA) =G= 450 ;

                (LHS = 0, INFES = 450 ****)

DEMANDA(VALENCIA)..  X(VIGO,VALENCIA) + X(ALGECIRAS,VALENCIA) =G= 150 ;

                (LHS = 0, INFES = 150 ****)

GAMS Rev 238  WEX-VS8 23.8.2 x86/MS Windows      11/10/15 16:35:14 Page 4
MODELO DE TRANSPORTE
Column Listing      SOLVE TRANSPORTE Using LP From line 39

---- X  cajas transportadas entre fabrica i  y mercado j (cajas)

X(VIGO,MADRID)
        (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-0.06  COSTO
        1  CAPACIDAD(VIGO)
        1  DEMANDA(MADRID)

X(VIGO,BARCELONA)
        (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-0.12  COSTO
        1  CAPACIDAD(VIGO)
        1  DEMANDA(BARCELONA)

```

```

X(VIGO,VALENCIA)
      (.LO, .L, .UP, .M = 0, 0, +INF, 0)
-0.09 COSTO
      1 CAPACIDAD(VIGO)
      1 DEMANDA(VALENCIA)

REMAINING 3 ENTRIES SKIPPED

---- CT CostO de transporte (miles de euros)

CT
      (.LO, .L, .UP, .M = -INF, 0, +INF, 0)
      1 COSTO

GAMS Rev 238 WEX-VS8 23.8.2 x86/MS Windows      11/10/15 16:35:14 Page 5
MODELO DE TRANSPORTE
Model Statistics SOLVE TRANSPORTE Using LP From line 39

MODEL STATISTICS

BLOCKS OF EQUATIONS      3      SINGLE EQUATIONS      6
BLOCKS OF VARIABLES      2      SINGLE VARIABLES      7
NON ZERO ELEMENTS      19

GENERATION TIME      =      0.156 SECONDS      4 Mb WIN238-238 Apr  3, 2012

GAMS Rev 238 WEX-VS8 23.8.2 x86/MS Windows      11/10/15 16:35:14 Page 6
MODELO DE TRANSPORTE
Solution Report SOLVE TRANSPORTE Using LP From line 39

          S O L V E      S U M M A R Y

MODEL  TRANSPORTE      OBJECTIVE  CT
TYPE   LP              DIRECTION  MINIMIZE
SOLVER CPLEX          FROM LINE  39

**** SOLVER STATUS      1 Normal Completion
**** MODEL STATUS      1 Optimal
**** OBJECTIVE VALUE          93.5000

RESOURCE USAGE, LIMIT      0.359      1000.000
ITERATION COUNT, LIMIT      5      2000000000

IBM ILOG CPLEX Mar 17, 2012 23.8.2 WIN 31442.32372 VS8 x86/MS Windows
Cplex 12.4.0.0

LP status(1): optimal
Optimal solution found.
Objective :          93.500000

          LOWER      LEVEL      UPPER      MARGINAL
    
```

```

---- EQU COSTO          .          .          .          1.000

    COSTO Costo de transporte

---- EQU CAPACIDAD  Capacidad maxima de Fabrica I

                LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL
VIGO            -INF     350.000  350.000  -0.030
ALGECIRAS      -INF     650.000  700.000    .

---- EQU DEMANDA  Satisfaccion de demanda de cada mercado

                LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL
MADRID         400.000  400.000   +INF     0.050
BARCELONA     450.000  450.000   +INF     0.150
VALENCIA      150.000  150.000   +INF     0.110

---- VAR X  cajas transportadas entre fabrica i y mercado j (cajas)

                LOWER    LEVEL    UPPER    MARGINAL
VIGO .MADRID    .          .          +INF     0.040
VIGO .BARCELONA .          350.000  +INF     .
VIGO .VALENCIA .          .          +INF     0.010
ALGECIRAS.MADRID .          400.000  +INF     .
ALGECIRAS.BARCELONA .          100.000  +INF     .

```

Figura 4.4 Resultados de ejemplo obtenidos en software Gams



### 4.2.3 COMPROBACION DE RESULTADOS DE EJEMPLO OBTENIDOS EN PROGRAMA INFORMATICO GAMS

En este ejercicio GAMS calcula el menor costo posible de envío desde las fábricas a los mercados de demanda, encontrando que la Función Objetivo (el algoritmo que nos da el menor costo) es de \$93.50 como se muestra en tabla 4.5 a continuación:

	MADRID			BARCELONA			VALENCIA			DEMANDA TOTAL	
	CT	Envío	Costo	CT	Envío	Costo	CT	Envío	Costo	Envío	CT
Vigo	0.06	0	0	0.12	350	42	0.09	0	0	350	42
Algeciras	0.05	400	20	0.15	100	15	0.11	150	16.5	650	51.5
<b>TOTAL</b>		<b>400</b>	<b>20</b>		<b>450</b>	<b>57</b>		<b>150</b>	<b>16.5</b>	1,000	<b>93.5</b>

Tabla. 4.5. Análisis de resultado de ejemplo obtenido por software Gams

Resultado que también ha sido corroborado usando el SOLVER de EXCEL:

The screenshot shows the Excel Solver interface. The formula bar displays the objective function:  $=+SUMAPRODUCTO(B3:D4,B9:D10)$ . The spreadsheet contains the following data:

Cuadro de costos, Oferta y Demanda				
	Madrid	Barcelona	Valencia	Oferta
Vigo	0.06	0.12	0.09	350
Algeciras	0.05	0.15	0.11	700
<b>Demanda</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>150</b>	

Solución usando el Solver de Excel				
	Madrid	Barcelona	Valencia	Oferta
Vigo	0	350	0	350
Algeciras	400	100	150	650
<b>Demanda</b>	<b>400</b>	<b>450</b>	<b>150</b>	
				<b>FO</b>
				93.5

Figura 4.5. Comprobación en Solver – Excel de resultado obtenido en software GAMS

### 4.3 DATOS DE ENTRADA DEL PROYECTO

Una vez explicado en el subcapítulo 4.2 acerca del funcionamiento del programa informático Gams, mismo que será utilizado para el presente proyecto.

Se define los siguientes datos de entrada que deben ser proporcionados para poder resolver el problema:

- Distancias en kilómetros entre los diferentes nodos
- Tiempo en minutos entre los diferentes nodos
- Cantidad de baños portátiles asignados a cada nodo
- Demanda de recolección de cada nodo

#### 4.3.1 Tabla de distancias entre nodos

La tabla 4.6 considera la distancia en kilómetros que existe entre cada nodo y los depósitos inicial (empresa) y final (lugar donde se deposita los desechos). Se asumen como una matriz simétrica, es decir, la distancia del punto V a W es igual a la distancia W a V. Estas distancias se las obtuvo utilizando el programa Google Maps y se muestran a continuación:

	INICIAL	FINAL	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
INICIAL	0	26	11	15	19	23	27	31	35	18	20	22	24	26	28	30
FINAL	26	0	37	41	45	49	53	57	61	18	20	22	24	27	28	30
V1	11	37	0	4	8	12	16	20	24	29	31	33	35	38	40	42
V2	15	41	4	0	4	8	12	16	20	33	35	37	39	42	44	46
V3	19	45	8	4	0	4	8	12	16	37	39	41	43	46	48	50
V4	23	49	12	8	4	0	4	8	12	41	43	45	47	50	52	54
V5	27	53	16	12	8	4	0	4	8	45	47	49	51	54	56	58
V6	31	57	20	16	12	8	4	0	4	49	51	53	55	58	60	62
V7	35	61	24	20	16	12	8	4	0	53	55	57	59	62	64	66
W1	18	18	29	33	37	41	45	49	53	0	2	4	6	9	11	13
W2	20	20	31	35	39	43	47	51	55	2	0	2	4	7	9	11
W3	22	22	33	37	41	45	49	53	57	4	2	0	2	5	7	9
W4	24	24	35	39	43	47	51	55	59	6	4	2	0	3	5	7
W5	26	27	38	42	46	50	54	58	62	9	7	5	3	0	2	4
W6	28	28	40	44	48	52	56	60	64	11	9	7	5	2	0	2
W7	30	30	42	46	50	54	58	62	66	13	11	9	7	4	2	0

Tabla 4.6. Distancias entre nodos en kilómetros

### 4.3.2 Tabla de tiempos entre nodos

La tabla 4.7 considera el tiempo expresado en minutos que existe entre cada nodo y los depósitos inicial (empresa) y final (lugar donde se deposita los desechos). El tiempo se los relaciona con la distancia recorrida usando la siguiente relación: 35Km/Hora es el promedio de velocidad permitido para la movilización de este tipo de vehículos dentro del distrito metropolitano en la ciudad de Guayaquil, entonces se supone que el vehículo recorre 1 Km en 1,71 minutos aproximadamente.

TEIMPO EN MINUTOS

	INICIAL	FINAL	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
INICIAL	0.00	44.57	18.86	25.71	32.57	39.43	46.29	53.14	60.00	30.86	34.29	37.71	41.14	44.57	48.00	51.43
FINAL	44.57	0.00	63.43	70.29	77.14	84.00	90.86	97.71	104.57	30.86	34.29	37.71	41.14	46.29	48.00	51.43
V1	18.86	63.43	0.00	6.86	13.71	20.57	27.43	34.29	41.14	49.71	53.14	56.57	60.00	65.14	68.57	72.00
V2	25.71	70.29	6.86	0.00	6.86	13.71	20.57	27.43	34.29	56.57	60.00	63.43	66.86	72.00	75.43	78.86
V3	32.57	77.14	13.71	6.86	0.00	6.86	13.71	20.57	27.43	63.43	66.86	70.29	73.71	78.86	82.29	85.71
V4	39.43	84.00	20.57	13.71	6.86	0.00	6.86	13.71	20.57	70.29	73.71	77.14	80.57	85.71	89.14	92.57
V5	46.29	90.86	27.43	20.57	13.71	6.86	0.00	6.86	13.71	77.14	80.57	84.00	87.43	92.57	96.00	99.43
V6	53.14	97.71	34.29	27.43	20.57	13.71	6.86	0.00	6.86	84.00	87.43	90.86	94.29	99.43	102.86	106.29
V7	60.00	104.57	41.14	34.29	27.43	20.57	13.71	6.86	0.00	90.86	94.29	97.71	101.14	106.29	109.71	113.14
W1	30.86	30.86	49.71	56.57	63.43	70.29	77.14	84.00	90.86	0.00	3.43	6.86	10.29	15.43	18.86	22.29
W2	34.29	34.29	53.14	60.00	66.86	73.71	80.57	87.43	94.29	3.43	0.00	3.43	6.86	12.00	15.43	18.86
W3	37.71	37.71	56.57	63.43	70.29	77.14	84.00	90.86	97.71	6.86	3.43	0.00	3.43	8.57	12.00	15.43
W4	41.14	41.14	60.00	66.86	73.71	80.57	87.43	94.29	101.14	10.29	6.86	3.43	0.00	5.14	8.57	12.00
W5	44.57	46.29	65.14	72.00	78.86	85.71	92.57	99.43	106.29	15.43	12.00	8.57	5.14	0.00	3.43	6.86
W6	48.00	48.00	68.57	75.43	82.29	89.14	96.00	102.86	109.71	18.86	15.43	12.00	8.57	3.43	0.00	3.43
W7	51.43	51.43	72.00	78.86	85.71	92.57	99.43	106.29	113.14	22.29	18.86	15.43	12.00	6.86	3.43	0.00

Tabla 4.7. Tiempo en minutos entre nodos

### 4.3.3 Asignación de baños portátiles en nodos y demanda de recolección

Se realizó una base de datos (Ver Anexo 1) en el programa Excel donde se ingresa información relevante respecto a todos los clientes a ser atendidos con el mantenimiento de baños portátiles y la información a ingresar es la siguiente:

- **ID CLIENTE:** Ingresar ID de cliente
- **SECTOR:** Ingresar sector de alquiler de BP que puede ser Zona 1 vía a la Costa o Zona 2 vía a la Costa Samborondón.
- **QUSP:** Ingresar cantidad de baños portátiles asignados en alquiler a cliente
- **DIA LIMPIEZA:** Ingresar día que se debe realizar la limpieza del BP
- **NODO:** Detallar el nodo en el que se encuentra ubicado el BP a ser alquilado de acuerdo a la zonificación previamente detallada en Tabla 4.1.

Esta información está vinculada otros cinco archivos (Ver Anexo 2) uno para cada día laborable (Lunes, Martes, Miércoles Jueves, Viernes), que mediante el uso de fórmulas condicionales cada archivo contendrá únicamente información de los nodos que requieran limpieza en dicho día, esto de acuerdo a la información detallada en base de datos inicial

A continuación se explica la información que contendrá cada archivo y que es necesaria para que el programa GAMS pueda arrojarlos la mejor ruta posible y pueden ser observados en Tabla 4.8:

**N:** Nodo en el que se encuentra situado los baños portátiles que deben recibir mantenimiento.

**CUSP:** Capacidad de acopio de desechos de cada baños portátiles en galones.

**QUSP:** Cantidad de baños portátiles que se encuentran alquiladas en cada nodo.

**FM:** Frecuencia de mantenimiento de los baños portátiles en días (de acuerdo a contrato será siempre al quinto día).

**PDL %:** Porcentaje diario de acumulación de desechos por cada baño portátil basado en el siguiente cálculo confirmado: Para una obra de 8 horas diarias al quinto día de haberse entregado en sitio de alquiler e baño portátil, el tanque estará lleno a un 66%, es decir a un ritmo de 13.2% al día.

**QDR.-** Con la información detallada anteriormente podemos estimar la cantidad en galones de desechos contenidos en cada nodo y a esta variable la denominamos QDR. Esto se obtiene del producto de la capacidad en galones de cada baño portátil (CUSP) x

la cantidad de baños portátiles asignados en cada nodo (QUSP) x la frecuencia de mantenimiento (FM) x % de limpieza PDL.

**LUNES**

N	CUSP	QUSP	FM	PDL %	QDR
Nodos	Capacidad x USP	Cantidad USP asignada a nodo	Frecuencia del mantenimiento x día	% de desecho diario	Total Galones desecho x nodo
V1	45	6	5	13,2%	178,20
V2	45	4	5	13,2%	118,80
V3	45	3	5	13,2%	89,10
V4	45	3	5	13,2%	89,10
V5	45	5	5	13,2%	148,50
V6	45	4	5	13,2%	118,80
V7	45	4	5	13,2%	118,80
W1	45	3	5	13,2%	89,10
W2	45	6	5	13,2%	178,20
W3	45	4	5	13,2%	118,80
W4	45	3	5	13,2%	89,10
W5	45	6	5	13,2%	178,20
W6	45	6	5	13,2%	178,20
W7	45	4	5	13,2%	118,80
		<b>61</b>			<b>1.811,70</b>

Tabla 4.8 Cantidad de BP asignados y desechos generados por nodo.

#### 4.4. ÍNDICES DEL MODELO MATEMÁTICO

Los índices que agrupan el conjunto de datos se encuentran detallados en la siguiente Tabla 4.9:

Índice	Entidad
	Conjunto de Nodos $i, j$ que van desde: $V_1, V_2, \dots, V_7, W_1, W_2 \dots W_7$
U	Depósitos (Inicial y Final)
T	Conjunto de Camiones ( $t_1, t_2, t_3$ )

Tabla 4.9 Índices de modelo matemático

#### 4.5. VARIABLES DE DECISIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO

La variable de decisión se muestran a continuación en al Tabla 4.10:

VARIABLES	DESCRIPCIÓN
Z	Función objetivo
$x(i, j, t)$	Variable binaria
$L(i, t)$	Cantidad de desechos recogidos
$w(i, t)$	Tiempo total de trabajo

Tabla 4.10 Variables de decisión del modelo matemático

#### 4.6. TABLAS Y PARÁMETROS DEL MODELO MATEMÁTICO

Las tablas y parámetros que se utilizaron para la modelización del sistema se detallan a continuación en la Tabla 4.11:

Tabla/Parámetro	Descripción
COSTO (i,j,t)	Tabla: Costo de transportarse desde el nodo i, j en el camión T
DEM (i)	Tabla: Cantidad de galones de desechos en cada nodo
NU (i)	Tabla: Cantidad de baños portátiles asignados en cada nodo
CAP (t)	Parámetro: Capacidad de recolección en galones de cada camión
TI (t)	Parámetro: Ventana horaria diaria para realizar limpieza de baños portátiles por cada camión

Tabla 4.11. Tablas y Parámetros de modelo matemático

#### 4.7. LIMITANTES DEL PROBLEMA

Las limitantes del caso de estudio son las siguientes:

- Capacidad de recolección de desecho de los camiones: 646 galones
- Ventana horaria diaria de labor por cada camión: 540 minutos

#### 4.8. FUNCIÓN OBJETIVO

El objetivo principal del modelo es minimizar la cantidad de kilómetros en la ruta trazada para la recolección de desechos en los baños portátiles alquilados, lo que se traduce en reducción de costos:

$$\min \sum_{(i,j,t) \in U} C_{(i,j,t)} X_{(i,j,t)}$$

#### 4.9. RESTRICCIONES

Esta función objetivo está sujeta a las siguientes restricciones:

1. Un nodo puede ser visitado solo por un camión.

$$\sum_{(j,t), j \neq i} X_{(j,i,t)} = 1 ; \forall i \in V \setminus \{0\}$$

2. Conservación de flujo, todo lo que entra es igual a todo lo que sale en el camión.

$$\sum_{j \neq i} X_{(i,j,t)} = \sum_{j \neq i} X_{(j,i,t)} ; \forall i \in V, t \in T$$



3. Capacidad de la recolección de la demanda en los puntos.

$$X_{(i,j,t)}(L_{(i,t)} + Dem_{(j)} - L_{(j,t)}) = 0; \forall (i, j, t) \in U \quad i \neq 0$$

4. Asegurar que los depósitos inicial y final no tienen demanda.

$$X_{(0,j,t)}(L_{(j,t)} - Dem_{(j)}) = 0; \forall j, t$$

5. Cantidad de desechos recogidos en los nodos es menor a la capacidad de recolección del camión

$$L_{(i,t)} \leq Cap_{(t)}; \forall (i, t) \in U$$

6. Tiempo de servicio acumulado no puede ser mayor al tiempo diario asignado para cada camión.

$$\sum_{(i,j)} X_{(i,j,t)} TrabajoNU_{(i)} + \sum_{(i,j) \in U} X_{(i,j,t)} C_{(i,j,t)} \leq W_{(t)}; \forall t$$

#### 4.10. RESULTADOS OBTENIDOS EN EJECUCIÓN DE MODELO MATEMÁTICO

De acuerdo a los datos de entrada y restricciones ingresadas, el modelo matemático arroja como resultado la ruta más óptima para realizar el mantenimiento de recolección de desechos de los baños portátiles y dichos resultados se muestran a continuación considerando que se generó cinco panoramas distintos uno por cada día laborable. Y se detallan en las siguientes figuras:

- Ruta día Lunes:

	T1	T2	T3
INICIAL.V1			1.000
INICIAL.V2		1.000	
INICIAL.V4	1.000		
W1 .W2			1.000
W2 .W6			1.000
W3 .W4		1.000	
W4 .W5		1.000	
W5 .FINAL		1.000	
W6 .FINAL			1.000
W7 .FINAL	1.000		
V1 .W1			1.000
V2 .V3		1.000	
V3 .W3		1.000	
V4 .V5	1.000		
V5 .V6	1.000		
V6 .V7	1.000		
V7 .W7	1.000		

Fig. 4.6. Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Lunes

- Ruta día Martes:

	T1	T2	T3
INICIAL.W1	1.000		
INICIAL.V1			1.000
INICIAL.V4		1.000	
W1 .W2	1.000		
W2 .W4	1.000		
W3 .W6			1.000
W4 .W5	1.000		
W5 .FINAL	1.000		
W6 .FINAL			1.000
W7 .FINAL		1.000	
V1 .V2			1.000
V2 .V3			1.000
V3 .W3			1.000
V4 .V5		1.000	
V5 .V6		1.000	
V6 .V7		1.000	
V7 .W7		1.000	

Fig. 4.7. Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Martes

- Ruta día Miércoles:

	T1	T2	T3
INICIAL.V1		1.000	
INICIAL.V2	1.000		
INICIAL.V3			1.000
W1 .W3		1.000	
W2 .W4	1.000		
W3 .W6		1.000	
W4 .W5	1.000		
W5 .FINAL	1.000		
W6 .FINAL		1.000	
W7 .FINAL			1.000
V1 .W1		1.000	
V2 .W2	1.000		
V3 .V4			1.000
V4 .V5			1.000
V5 .V6			1.000
V6 .V7			1.000
V7 .W7			1.000

Fig. 4.8. Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Miércoles

- Ruta día Jueves:

	T1	T2	T3
INICIAL.W2	1.000		
INICIAL.V1		1.000	
INICIAL.V2			1.000
W1 .W3		1.000	
W2 .V5	1.000		
W3 .W6		1.000	
W4 .W5			1.000
W5 .FINAL			1.000
W6 .FINAL		1.000	
W7 .FINAL	1.000		
V1 .W1		1.000	
V2 .V3			1.000
V3 .V4			1.000
V4 .W4			1.000
V5 .V6	1.000		
V6 .V7	1.000		
V7 .W7	1.000		

Fig. 4.9. Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Jueves

- Ruta Día Viernes:

	T1	T2	T3
INICIAL.W3	1.000		
INICIAL.V1			1.000
INICIAL.V2		1.000	
W1 .W2			1.000
W2 .W5			1.000
W3 .V5	1.000		
W4 .W6		1.000	
W5 .FINAL			1.000
W6 .FINAL		1.000	
W7 .FINAL	1.000		
V1 .W1			1.000
V2 .V3		1.000	
V3 .V4		1.000	
V4 .W4		1.000	
V5 .V6	1.000		
V6 .V7	1.000		
V7 .W7	1.000		

Fig. 4.10. Resultado GAMS de ruta para mantenimiento BP día Viernes

En la siguiente tabla 4.12 se detalla un consolidado de las rutas arrojadas por el modelo para cada día laborable, esto se realizó con el fin de validar que se cumplen todos los parámetros fijados en la modelización del caso de estudio.

Es así que podemos constatar que en todas las rutas desde el Lunes al Viernes se cumple la atención total de los baños portátiles asignados a cada nodo, función objetivo de la validación (TR) es igual al resultado de la función objetivo emitida por GAMS y este no sobrepasa la restricción fijada de 540 minutos, finalmente la cantidad de galones de desechos recolectados tampoco sobrepasa la restricción fijada en 646 galones por camión.

- T1 CAMION 1
- T2 CAMION 2
- T3 CAMION 3
- BP BAÑO PORTATIL
- DES. DESECHOS ORGANICOS RECOGIDOS DE LOS USP
- TR=FO TIEMPO DE RECORRIDO EN MINUTOS DE LOS CAMIONES ES IGUAL A LA FUNCIÓN OBJETIVO
- TT TIEMPO TOTAL = TR+TIEMPO DE LIMPIEZA DE LAS USP ( SE OBTIENE DE LA MULTIPLICACIÓN DE LA CANTIDAD DE USP POR EL ESCALAR 5 MINUTOS)
- DIST. DISTANCIA RECORRIDA POR LOS CAMIONES EN KM

	LUNES					MARTES					MIÉRCOLES				
	BP (UN)	DES. (GAL)	TR = FO (MIN)	TT (MIN)	DIST. (KM)	BP (UN)	DES. (GAL)	TR = FO (MIN)	TT (MIN)	DIST. (KM)	BP (UN)	DES. (GAL)	TR = FO (MIN)	TT (MIN)	DIST. (KM)
T1	20	594,00	224,58	324,58	131,00	20	475,20	162,87	242,87	95,00	21	623,70	144,00	249,00	84,00
T2	20	594,00	157,72	257,72	92,00	16	594,00	92,58	192,58	54,00	20	594,00	224,58	324,58	131,00
T3	21	623,72	188,57	293,57	79,00	20	594,00	224,58	324,58	131,00	21	623,70	135,43	240,43	79,00
TOTAL	61	1.811,72	570,87		302,00	56	1.663,20	480,03		280,00	62	1.841,40	504,01		294,00

	JUEVES					VIERNES					TOTAL				
	BP (UN)	DES. (GAL)	TR = FO (MIN)	TT (MIN)	DIST. (KM)	BP (UN)	DES. (GAL)	TR = FO (MIN)	TT (MIN)	DIST. (KM)	BP (UN)	DES. (GAL)	TR = FO (MIN)	TT (MIN)	DIST. (KM)
	21	623,70	293,15	398,15	171,00	20	594,00	300,00	400,00	175,00	102,00	2.910,60	1.124,60	1.614,60	656,00
	21	623,70	135,43	240,43	79,00	21	623,70	188,57	293,57	103,00	98,00	3.029,40	798,88	1.308,88	459,00
	21	623,70	171,43	276,43	100,00	0	594,00	130,29	230,29	76,00	83,00	2.465,12	850,30	1.365,30	465,00
	63	1.871,10	600,01		350,00	41	1.811,70	618,86		354,00	283	8.405,12	2.773,78		1.580,00

Tabla 4.12. Validación de resultado arrojado por modelo matemático

#### 4.11. ANALISIS DE RESULTADOS DE GAMS

A continuación se presenta el cálculo de costos basado en las rutas arrojadas por el modelo matemático ejecutado en GAMS versus comparación con los costos actuales de la empresa sin utilizar modelización matemática.

Las tablas siguientes resumen la ruta obtenida por el modelo matemático para los tres camiones para cada día laborable de la semana, que para efectos de cálculo se ha incluido la distancia que se recorre en kilómetros de un punto a otro, el tiempo de recorrido, la cantidad de desechos en galones recolectada, los baños portátiles que se deben atender por cada nodo.

- **Tiempo Total Recorrido día Lunes:**

<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>	<b>529,73</b>
-------------------------	---------------

$\Sigma$ Tiempo recorrido de T1+T2+T3

CAMION T3					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V1	11	18,86	178,2	6
V1	W1	29	49,71	89,1	3
W1	W2	2	15,43	178,2	6
W2	W6	9	15,43	178,22	6
W6	FINAL	28	48	0	0
		<b>79</b>	<b>147,43</b>	<b>623,72</b>	<b>21</b>

+TIEMPO DE LIMPIEZA                      105                      5  
**TOTAL TIEMPO DE SERVICIO**    **252,43**    (RECORRIDO + LIMPIEZA)

Tabla 4.13. Total tiempo de Servicio día Lunes camión T1



- **Tiempo Total Recorrido día Martes:**

<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>	<b>480.03</b>
$\Sigma$ Tiempo recorrido de T1+T2+T3	

CAMION T1					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	W1	18	30.86	118.8	4
W1	W2	2	3.43	59.4	2
W2	W4	4	6.86	267.3	9
W4	W5	3	5.14	148.5	5
W5	FINAL	27	46.29	0	0
		<b>54</b>	<b>92.58</b>	<b>594</b>	<b>20</b>

+TIEMPO DE LIMPIEZA                      100                      5  
**TOTAL TIEMPO DE SERVICIO**    **192.58**    (RECORRIDO + LIMPIEZA)

Tabla 4.16. Total tiempo de Servicio día Martes camión T1

CAMION T2					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V4	23	39.43	59.4	2
V4	V5	4	6.86	178.2	6
V5	V6	4	6.86	29.7	1
V6	V7	4	6.86	29.7	1
V7	W7	66	113.14	297	10
W7	FINAL	30	51.43	0	0
		<b>131</b>	<b>224.58</b>	<b>594</b>	<b>20</b>

+TIEMPO DE LIMPIEZA                      100                      5  
**TOTAL TIEMPO DE SERVICIO**    **324.58**    (RECORRIDO + LIMPIEZA)

Tabla 4.17. Total tiempo de Servicio día Martes camión T2



CAMION T3					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V1	11	18.86	89.1	3
V1	V2	4	6.86	89.1	3
V2	V3	4	6.86	59.4	2
V3	W3	41	70.29	29.7	1
W3	W6	7	12	207.9	7
W6	FINAL	28	48	0	0
		95	<b>162.87</b>	475.2	16
			80		5
			<b>242.87</b>	(RECORRIDO + LIMPIEZA)	

Tabla 4.18. Total tiempo de Servicio día Martes camión T3

- **Tiempo Total Recorrido día Miércoles:**

<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>	<b>504.01</b>
$\Sigma$ Tiempo recorrido de T1+T2+T3	

CAMION T1					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V2	15	25.71	118.8	4
V2	W2	35	60	207.9	7
W2	W4	4	6.86	118.8	4
W4	W5	3	5.14	178.2	6
W5	FINAL	27	46.29	0	0
		84	<b>144</b>	623.7	21
			105		5
			<b>249</b>	(RECORRIDO + LIMPIEZA)	

Tabla 4.19. Total tiempo de Servicio día Miércoles camión T1



- Tiempo Total Recorrido día Jueves:

<b>FUNCIÓN OBJETIVO</b>	<b>600.01</b>
$\Sigma$ Tiempo recorrido de T1+T2+T3	

CAMION T1					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	W2	20	34.29	118.8	4
W2	V5	47	80.57	89.1	3
V5	V6	4	6.86	89.1	3
V6	V7	4	6.86	118.8	4
V7	W7	66	113.14	207.9	7
W7	FINAL	30	51.43	0	0
		171	293.15	623.70	21
			+TIEMPO DE LIMPIEZA	105	5
			TOTAL TIEMPO DE SERVICIO	<b>398.15</b>	(RECORRIDO + LIMPIEZA)

Tabla 4.22. Total tiempo de Servicio día Jueves camión T1

CAMION T2					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V1	11	18.86	29.7	1
V1	W1	29	49.71	237.6	8
W1	W3	4	6.86	148.5	5
W3	W6	7	12	207.9	7
W6	FINAL	28	48	0	0
		79	135.43	623.7	21
			+TIEMPO DE LIMPIEZA	105	5
			TOTAL TIEMPO DE SERVICIO	<b>240.43</b>	(RECORRIDO + LIMPIEZA)

Tabla 4.23. Total tiempo de Servicio día Jueves camión T2

CAMION T3					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V2	15	25.71	148.5	5
V2	V3	4	6.86	29.7	1
V3	V4	4	6.86	207.9	7
V4	W4	47	80.57	178.2	6
W4	W5	3	5.14	59.4	2
W5	FINAL	27	46.29	0	0
		100	171.43	623.7	21
+TIEMPO DE LIMPIEZA			105		5
TOTAL TIEMPO DE SERVICIO			276.43	(RECORRIDO + LIMPIEZA)	

Tabla 4.24. Total tiempo de Servicio día Jueves camión T3

- Tiempo Total Recorrido día Viernes:

FUNCIÓN OBJETIVO	606,86
$\Sigma$ Tiempo recorrido de T1+T2+T3	

CAMION T1					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	W3	22	37.71	59.4	2
W3	V5	49	84	118.8	4
V5	V6	4	6.86	148.50	5
V6	V7	4	6.86	89.1	3
V7	W7	66	113.14	178.2	6
W7	FINAL	30	51.43	0	0
		175	300	594.00	20
+TIEMPO DE LIMPIEZA			100		5
TOTAL TIEMPO DE SERVICIO			400	(RECORRIDO + LIMPIEZA)	

Tabla 4.25. Total tiempo de Servicio día Viernes camión T1

CAMION T2					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V2	15	25,71	29,70	1
V2	V3	4	6,86	148,5	5
V3	V4	4	6,86	207,9	7
V4	W4	47	80,57	148,50	5
W4	W6	5	8,57	89,1	3
W6	FINAL	28	48	0	0
		103	176,57	623,70	21

+TIEMPO DE LIMPIEZA 105 5  
TOTAL TIEMPO DE SERVICIO **281,57** (RECORRIDO + LIMPIEZA)

Tabla 4.26. Total tiempo de Servicio día Viernes camión T2

CAMION T3					
		DISTANCIA RECORRIDA (KM)	TIEMPO RECORRIDO (MIN.)	DESECHO (GL)	BP
INICIAL	V1	11	18.86	59.40	2
V1	W1	29	49.71	207.90	7
W1	W2	2	3.43	148.5	5
W2	W5	7	12	178.2	6
W5	FINAL	27	46.29	0	0
		76	130.29	594.00	20

+TIEMPO DE LIMPIEZA 100 5  
TOTAL TIEMPO DE SERVICIO **230.29** (RECORRIDO + LIMPIEZA)

Tabla 4.27. Total tiempo de Servicio día Viernes camión T3

El resultado de distancia recorrida en km arrojado por el modelo matemático ejecutado en GAMS es el valor que se tomará para calcular consumo de combustible, neumáticos y mantenimiento de flota.

A continuación se presenta gastos fijos y variables para cada camión considerando ruta de modelo matemático ejecutado en programa GAMS, así como gasto variable y fijo de toda la flota:

DETALLE DE GASTOS T1 - GAMS				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 950
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 400
<b>TOTAL GASTOS FIJOS A</b>				<b>\$ 1.350</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	\$ 0,05	656	2.624	\$ 134
NEUMATICOS	\$ 0,03	656	2.624	\$ 77
MANTENIMIENTO	\$ 0,23	656	2.624	\$ 612
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES B</b>				<b>\$ 823</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 2.173</b>

Tabla 4.28. Gastos Fijos y Variables camión T1 utilizando modelo matemático

DETALLE DE GASTOS T2 - GAMS				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 950
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 400
<b>TOTAL GASTOS FIJOS</b>				<b>\$ 1.350</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	\$ 0,05	459	1.836	\$ 94
NEUMATICOS	\$ 0,03	459	1.836	\$ 54
MANTENIMIENTO	\$ 0,23	459	1.836	\$ 428
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES</b>				<b>\$ 576</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 1.926</b>

Tabla 4.29 Gastos Fijos y Variables camión T2 utilizando modelo matemático

DETALLE DE GASTOS T3 - GAMS				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 950
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 400
<b>TOTAL GASTOS FIJOS</b>				<b>\$ 1.350</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	\$ 0,05	465	1.860	\$ 95
NEUMATICOS	\$ 0,03	465	1.860	\$ 55
MANTENIMIENTO	\$ 0,23	465	1.860	\$ 434
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES</b>				<b>\$ 584</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 1.934</b>

Tabla 4.30 Gastos Fijos y Variables camión T3 utilizando modelo matemático

DETALLE DE GASTOS TOTAL FLOTA				
<b>GASTOS FIJOS</b>				
SUELDO DEL CHOFER				\$ 2.850
SUELDO DEL AYUDANTE				\$ 1.200
<b>TOTAL GASTOS FIJOS</b>				<b>\$ 4.050</b>
GASTOS VARIABLES	COSTO/KM	KM/RECORIDOS SEMANA	KM/RECORIDOS MES	TOTAL /MES
COMBUSTIBE	0,051	1.580	6.320	\$ 322
NEUMATICOS	\$ 0,029	1.580	6.320	\$ 186
MANTENIMIENTO	\$ 0,233	1.580	6.320	\$ 1.475
<b>TOTAL GASTOS VARIABLES</b>				<b>\$ 1.983</b>
<b>TOTAL GASTOS (A+B)</b>				<b>\$ 6.033</b>

Tabla 4.31 Total Gastos Fijos y Variables flota de camiones: T1, T2, T3

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez ejecutado el modelo matemático propuesto en la aplicación GAMS y analizando los resultados obtenidos bajo los parámetros del giro del negocio de alquiler de baños portátiles de la empresa objeto de estudio, es notoria la demanda de una planificación diaria del mantenimiento que se debe realizar a los baños portátiles en alquiler y se concluye en los siguientes puntos:

1. Se debe actualizar la base de datos donde se registra el ingreso de baños portátiles alquiladas de manera inmediata (cada vez que se alquile un baño portátil o en su defecto cada vez que se retire del alquiler), para que el concepto de: “En uso” y “Disponible” permita a la compañía conocer el potencial de alquiler así como número de baños portátiles asignados en el mercado. Con el fin de cumplir este objetivo se establece el siguiente cuadro que momentáneamente se lo puede manejar en Excel, hasta que la compañía establezca su inclusión en el programa informático que maneja y/o adquiera en el futuro:



LUNES

DEMANDA		BP		%	GALONES
Nodos	Capx BP	Cantidad de BP	Frecuencia del mantenimiento	*	
V1	45	6	5	13.2%	178.20
V2	45	4	5	13.2%	118.80
V3	45	3	5	13.2%	89.10
V4	45	3	5	13.2%	89.10
V5	45	5	5	13.2%	148.50
V6	45	4	5	13.2%	118.80
V7	45	4	5	13.2%	118.80
W1	45	3	5	13.2%	89.10
W2	45	6	5	13.2%	178.20
W3	45	4	5	13.2%	118.80
W4	45	3	5	13.2%	89.10
W5	45	6	5	13.2%	178.20
W6	45	6	5	13.2%	178.20
W7	45	4	5	13.2%	118.80
		<b>61</b>			<b>1,811.70</b>

Tabla 5.1 Cantidad de baños portátiles asignados y desechos generados por nodo.

Dónde cada parámetro tiene el siguiente significado:

**CUSP:** Capacidad de acopio de desechos de cada BP en galones.

**QUSP:** Cantidad de BP que se encuentran alquilados en cada nodo.

**FM:** Frecuencia de mantenimiento de los baños portátiles en días (de acuerdo a contrato va ser siempre 5).

**PDL %:** Porcentaje diario de acumulación de desechos por BP, basado en el siguiente cálculo confirmado: Para una obra de 8 horas diarias al quinto día de haberse entregado el BP, el tanque estará lleno a un 66%, es decir a un ritmo de 13.2% al día.

**QDR.-** Con la información detallada anteriormente podemos estimar la cantidad en galones de desechos contenidos en cada nodo y a esta variable la denominamos QDR.

Esto se obtiene del producto de la capacidad en galones de cada BP (CUSP) x la cantidad de BP asignados en cada nodo (QUSP) x la frecuencia de mantenimiento (FM) x % de limpieza PDL.

2. Otra fuente de información importante es la tabla de zonificación de sectores geográficos por atender, los cuales deben tener su equivalencia en kilómetros y/o tiempo para poder determinar en el modelo matemático el costo que representa la ruta, ya sea este en unidades de distancia como de horas de atención:

	INICIAL	FINAL	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7
	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1	T1
INICIAL	0	26	11	15	19	23	27	31	35	18	20	22	24	26	28	30
FINAL	26	0	37	41	45	49	53	57	61	18	20	22	24	27	28	30
V1	11	37	0	4	8	12	16	20	24	29	31	33	35	38	40	42
V2	15	41	4	0	4	8	12	16	20	33	35	37	39	42	44	46
V3	19	45	8	4	0	4	8	12	16	37	39	41	43	46	48	50
V4	23	49	12	8	4	0	4	8	12	41	43	45	47	50	52	54
V5	27	53	16	12	8	4	0	4	8	45	47	49	51	54	56	58
V6	31	57	20	16	12	8	4	0	4	49	51	53	55	58	60	62
V7	35	61	24	20	16	12	8	4	0	53	55	57	59	62	64	66
W1	18	18	29	33	37	41	45	49	53	0	2	4	6	9	11	13
W2	20	20	31	35	39	43	47	51	55	2	0	2	4	7	9	11
W3	22	22	33	37	41	45	49	53	57	4	2	0	2	5	7	9
W4	24	24	35	39	43	47	51	55	59	6	4	2	0	3	5	7
W5	26	27	38	42	46	50	54	58	62	9	7	5	3	0	2	4
W6	28	28	40	44	48	52	56	60	64	11	9	7	5	2	0	2
W7	30	30	42	46	50	54	58	62	66	13	11	9	7	4	2	0

Tabla 5.2 Distancias entre nodos en kilómetros

Minutos en  45 Km./H velocidad promedio camiones

Tiempo en horas

	Dep. Inicia	Dep. Final	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7
Dep. Inicia	0	35	15	20	26	31	36	42	47
Dep. Final	35	0	50	55	60	66	71	76	82
V1	15	50	0	6	11	16	22	27	32
V2	20	55	6	0	6	11	16	22	27
V3	26	60	11	6	0	6	11	16	22
V4	31	66	16	11	6	0	6	11	16
V5	36	71	22	16	11	6	0	6	11
V6	42	76	27	22	16	11	6	0	6
V7	47	82	32	27	22	16	11	6	0
W1	24	24	39	44	50	55	60	66	71
W2	27	27	42	47	52	58	63	68	74
W3	30	30	44	50	55	60	66	71	76
W4	32	32	47	52	58	63	68	74	79
W5	35	36	51	56	62	67	72	78	83
W6	38	38	54	59	64	70	75	80	86
W7	40	40	56	62	67	72	78	83	88

Tabla 5.3 Tiempos en minutos entre nodos

3. Es importante mantener actualizado el tiempo de servicio requerido para realizar esta operación, puesto que hasta la fecha en que se realizó este estudio esta actividad no era medida, controlada ni se había establecido parámetro alguno.

4. Ejecutando el modelo matemático se pudo comprobar que existe ahorros mensual puesto que se disminuyó el tiempo total de recorrido de cada camión lo que se traduce en disminución de los gastos variables en un 46% como se muestra en la siguiente tabla:

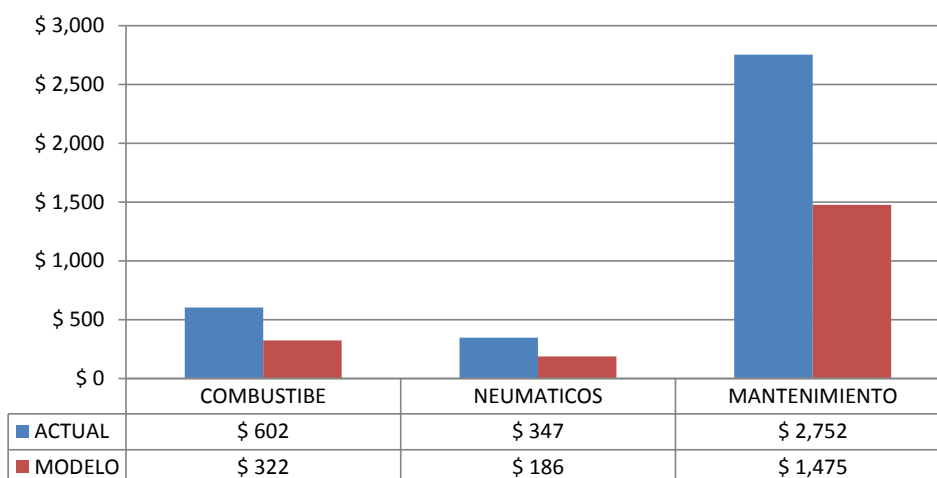


Figura 5.1 Cuadro comparativo de ahorro situación actual VS modelo matemático

5. Se puede concluir que al desarrollar el modelo matemático permite entregarle a la compañía ahorros estimados anuales por un valor de \$ USD 20,616, y establecer que podemos obtener ahorros utilizando modelos matemáticos.

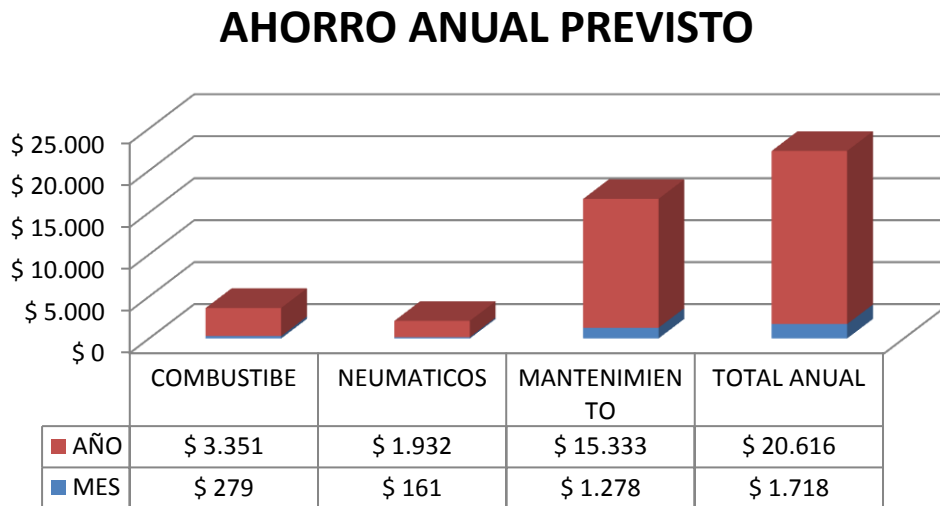


Figura 5.2 Proyección de ahorros anuales utilizando modelo matemático

## ANEXO 1

### BASE DE DATOS DE CLIENTES A REALIZAR MANTENIMIENTO DE USP

#### Instrucciones para llenado de base de datos

- 1.- **ID CLIENTE:** Ingresar ID de cliente
- 2.- **SECTOR:** Ingresar sector de alquiler de USP
- 3.- **# USP:** Ingresar cantidad de USP asignadas en alquiler a cliente
- 4.- **DIA LIMPIEZA:** Ingresar día que se debe realizar la limpieza a la unidad
- 5.- **NODO:** Detallar el nodo en el que se encuentra ubicada la USP a ser alquilada

ID CLIENTE	SECTOR	#USP	DIA LIMPIEZA	NODO
A001	Via a la Costa	6	LUNES	V1
A002	Via a la Costa	4	LUNES	V2
A003	Via a la Costa	3	LUNES	V3
A004	Via a la Costa	3	LUNES	V4
A005	Via a la Costa	7	LUNES	V5
A006	Via a la Costa	4	LUNES	V6
A007	Via a la Costa	4	LUNES	V7
A008	Via Samborondon	3	LUNES	W1
A009	Via Samborondon	6	LUNES	W2
A010	Via Samborondon	4	LUNES	W3
A011	Via Samborondon	3	LUNES	W4
A012	Via Samborondon	6	LUNES	W5
A013	Via Samborondon	6	LUNES	W6
A014	Via Samborondon	8	LUNES	W7
A015	Via a la Costa	8	MARTES	V1
A016	Via a la Costa	3	MARTES	V2
A017	Via a la Costa	7	MARTES	V3
A018	Via a la Costa	2	MARTES	V4
A019	Via a la Costa	6	MARTES	V5
A020	Via a la Costa	1	MARTES	V6
A021	Via a la Costa	1	MARTES	V7
A022	Via Samborondon	9	MARTES	W1
A023	Via Samborondon	2	MARTES	W2
A024	Via Samborondon	1	MARTES	W3
A025	Via Samborondon	9	MARTES	W4
A026	Via Samborondon	5	MARTES	W5
A027	Via Samborondon	12	MARTES	W6
A028	Via Samborondon	10	MARTES	W7

## ANEXO 2

**Cantidad total de baños portátiles asignados a cada nodo y  
demanda en galones de desecho por cada día**

### LUNES

DEMANDA		BP		%	GALONES
Nodos	Capx BP	Cantidad de BP	Frecuencia del mantenimiento	*	
V1	45	6	5	13.2%	178.20
V2	45	4	5	13.2%	118.80
V3	45	3	5	13.2%	89.10
V4	45	3	5	13.2%	89.10
V5	45	5	5	13.2%	148.50
V6	45	4	5	13.2%	118.80
V7	45	4	5	13.2%	118.80
W1	45	3	5	13.2%	89.10
W2	45	6	5	13.2%	178.20
W3	45	4	5	13.2%	118.80
W4	45	3	5	13.2%	89.10
W5	45	6	5	13.2%	178.20
W6	45	6	5	13.2%	178.20
W7	45	4	5	13.2%	118.80
		<b>61</b>			<b>1,811.70</b>

**MARTES**

DEMANDA		BP		%	GALONES
Nodos	Capx BP	Cantidad de BP	Frecuencia del mantenimiento	*	
V1	45	3	5	13.2%	89.10
V2	45	3	5	13.2%	89.10
V3	45	2	5	13.2%	59.40
V4	45	2	5	13.2%	59.40
V5	45	6	5	13.2%	178.20
V6	45	1	5	13.2%	29.70
V7	45	1	5	13.2%	29.70
W1	45	4	5	13.2%	118.80
W2	45	2	5	13.2%	59.40
W3	45	1	5	13.2%	29.70
W4	45	9	5	13.2%	267.30
W5	45	5	5	13.2%	148.50
W6	45	7	5	13.2%	207.90
W7	45	10	5	13.2%	297.00
		<b>56</b>			<b>1,663.20</b>

**MIÉRCOLES**

DEMANDA		BP		%	GALONES
Nodos	Capx BP	Cantidad de BP	Frecuencia del mantenimiento	*	
V1	45	6	5	13.2%	178.20
V2	45	4	5	13.2%	118.80
V3	45	2	5	13.2%	59.40
V4	45	5	5	13.2%	148.50
V5	45	4	5	13.2%	118.80
V6	45	2	5	13.2%	59.40
V7	45	4	5	13.2%	118.80
W1	45	3	5	13.2%	89.10
W2	45	7	5	13.2%	207.90
W3	45	9	5	13.2%	267.30
W4	45	4	5	13.2%	118.80
W5	45	6	5	13.2%	178.20
W6	45	3	5	13.2%	89.10
W7	45	3	5	13.2%	89.10
		<b>62</b>			<b>1,841.40</b>

**JUEVES**

DEMANDA		BP		%	GALONES
Nodos	Capx BP	Cantidad de BP	Frecuencia del mantenimiento	*	
V1	45	1	5	13.2%	29.70
V2	45	5	5	13.2%	148.50
V3	45	1	5	13.2%	29.70
V4	45	7	5	13.2%	207.90
V5	45	3	5	13.2%	89.10
V6	45	3	5	13.2%	89.10
V7	45	4	5	13.2%	118.80
W1	45	8	5	13.2%	237.60
W2	45	4	5	13.2%	118.80
W3	45	5	5	13.2%	148.50
W4	45	6	5	13.2%	178.20
W5	45	2	5	13.2%	59.40
W6	45	7	5	13.2%	207.90
W7	45	7	5	13.2%	207.90
		<b>63</b>			<b>1,871.10</b>

**VIERNES**

DEMANDA		BP		%	GALONES
Nodos	Capx BP	Cantidad de BP	Frecuencia del mantenimiento	*	
V1	45	2	5	13.2%	59.40
V2	45	1	5	13.2%	29.70
V3	45	5	5	13.2%	148.50
V4	45	7	5	13.2%	207.90
V5	45	4	5	13.2%	118.80
V6	45	5	5	13.2%	148.50
V7	45	3	5	13.2%	89.10
W1	45	7	5	13.2%	207.90
W2	45	5	5	13.2%	148.50
W3	45	2	5	13.2%	59.40
W4	45	5	5	13.2%	148.50
W5	45	6	5	13.2%	178.20
W6	45	3	5	13.2%	89.10
W7	45	6	5	13.2%	178.20
		<b>61</b>			<b>1,811.70</b>