

Ingeniería

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica

ISSN 1409-2441

Vol. 17 (1)

Ene/Jul 2007

CONTENIDO

Artículos

1. Dimensionamiento y costeo de una planta de lavado de vehículos recolectores de desechos sólidos para los principales cantones del Área Metropolitana de Costa Rica 17-26
Ruiz, Francisco.
2. Caracterización de los registros acelerográficos obtenidos en el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica..... 27-41
Schmidt, Víctor; Quirós, Christopher.
3. Optimización aplicada a la calibración y validación de modelos de elementos finitos de puentes 43-59
Rodríguez, Wilson; Muñoz, Edgar; Núñez, Federico.
4. Análisis mediante modelos físicos de interacción suelo-estructura en tuberías encerradas 61-76
Rodríguez, Jorge; Ruiz, Daniel; Coral, Álvaro; Pereira, Mauricio.
5. Pasta hidrotérmica y termoquímica a la soda obtenida a partir de residuos de paste (*Luffa cylindrica Roem*) 77-84
Blanco, María Lorena.
6. Diseño y construcción de un equipo de pruebas para la determinación de la resistencia al flujo de aire en granos y semillas..... 85-96
Aguilar, José Francisco.

Notas técnicas

1. Prototipo didáctico para la enseñanza de la Ingeniería Estructural 99-111
Muñoz, Edgar; Núñez, Federico; Otalora, Camilo.
2. Análisis de los factores que intervienen sobre la resistencia al flujo de aire en granos y semillas en operaciones de manejo poscosecha 113-124
Aguilar, José Francisco.

Trabajos de Graduación

Lista de proyectos de graduación de grado y posgrado del año 2006 de la Facultad de Ingeniería..... 127-140

Normas

Normas para la presentación de artículos a la Revista Ingeniería 143-150

EDITORIAL
UCR

EDITORIAL
UCR

Número (1)

Enero / Julio 2007

Volumen 17

REVISTA INGENIERÍA

<http://www.revistaingenieria.inii.ucr.ac.cr>
www.ucr.ac.cr / ISSN 1409-2441

Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica

ENERO/JULIO 2007 - VOLUMEN 17 - Número (1)



DIMENSIONAMIENTO Y COSTEO DE UNA PLANTA DE LAVADO DE VEHÍCULOS RECOLECTORES DE DESECHOS SÓLIDOS PARA LOS PRINCIPALES CANTONES DEL ÁREA METROPOLITANA DE COSTA RICA

Francisco Ruiz Fallas

Resumen

Se presentan los resultados del dimensionamiento y el costeo para una planta de lavado de vehículos recolectores de desechos sólidos que se utilizan en los rellenos sanitarios del Área Metropolitana en Costa Rica. El análisis consistió en determinar, dentro de los rellenos sanitarios, la ocurrencia de llegadas y los tiempos de lavado para los vehículos recolectores de desechos sólidos. Establecidas las ocurrencias de llegada y lavado para los automotores, se procedió a identificar, mediante modelos estadísticos markovianos, la capacidad real de atención necesitada. Así, se determinó la cantidad de líneas necesarias para brindar el servicio de limpieza; y consecuentemente, que los costos operativos y fijos, la permanencia de los vehículos en la planta de lavado, y específicamente la cola de espera para su atención, sean lo menores posibles.

Con base en las tasas de arribo y el tiempo de lavado de las muestras de vehículos estudiadas, se estimó que la población analizada sólo necesitaba una línea de servicio para el lavado de los automotores. Además, se obtuvieron los valores de dos tasas de generación de desechos para plantas de lavado: la tasa de generación de residuos sólidos, con una magnitud de 1 m^3 de desechos sin compactar por cada dieciséis recolectores lavados y la tasa de generación de agua residual de $0,120 \text{ m}^3/\text{vehículo recolector}/\text{día}$. Finalmente, los principales riesgos identificados para los trabajadores fueron físicos (temperatura, operación de maquinaria), químicos (sustancias para limpieza y mantenimiento) y ergonómicos (usos de equipo). También se determinó que este tipo de planta de lavado puede atender poblaciones de vehículos similares; mientras las tasas de arribo y el tiempo de lavado posean un comportamiento markoviano, similar al caso estudiado.

Palabras clave: desechos sólidos, relleno sanitario, camiones, mantenimiento vehículos, planta de lavado, Markov.

Abstract

An investigation about most important variables for garbage vehicles washing systems is presented. The most important result about washing plants design was the number of service lines. Based on arriving rate and the time of cleaning of studied vehicles samples, it was estimated that the analyzed population only needs one service line for washing vehicles. Besides, the value of two waste rates for washing plants were obtained: a rate of solid garbage with a value of 1 m^3 solid waste /16 garbage truck and a waste water rate equal to $0,120 \text{ m}^3$ waste water/garbage truck/day. Finally, it determined that principal risks for workers were physicals (temperature, machine operation), chemicals (substances for cleanness and maintenance) and ergonomic (equipment uses).

Key words: solid waste, landfill, truck, vehicles maintenance, washing plant, Markov.

Recibido: 28 de marzo del 2006 · **Aprobado:** 18 enero del 2007

1. INTRODUCCIÓN

En la sociedad moderna, el manejo y la disposición de los desechos sólidos son problemas de gran importancia debido a que afectan directamente la salud pública y el medio ambiente. Pero, junto

a estas situaciones, se presentan el transporte de los desechos y la limpieza de los vehículos recolectores como problemas agregados.

Los vehículos recolectores se convierten en agentes ambulantes de contaminación al no

ser limpiados adecuadamente después de disponer los desechos sólidos o mientras los transportan, debido a que reparten a lo largo de su ruta de recolección, sustancias contaminantes y agentes biológicos con cierto grado de peligrosidad.

El diseño de un sistema de lavado para vehículos recolectores de desechos sólidos es precisamente uno de los aspectos que cobra importancia en este sentido. Y por ello, se desarrolló esta investigación que permitiera establecer los parámetros básicos de diseño de una estación para el lavado de recolectores (Ruiz, 2005).

2. CRITERIOS DE DISEÑO

La capacidad y las características operativas de una planta de lavado para camiones recolectores de desechos sólidos pueden dimensionarse en función de:

- tipo y cantidad de vehículos por atender.
- tiempos de llegada de los vehículos recolectores de desechos sólidos.
- tiempos de espera de los vehículos recolectores para ser atendidos.
- generación de residuos.
- condiciones de salud ocupacional.

De estas variables, la principal es el flujo vehicular por atender, pues, a partir de éste se determinan las dimensiones de todos los equipos y sistemas necesarios para llevar a cabo el proceso de lavado.

3. METODOLOGÍA

Para el dimensionamiento de la planta de lavado se realizó un estudio *in situ* de tiempos y movimientos en varios rellenos sanitarios. El objetivo principal de la investigación fue estimar la capacidad de atención necesaria para atender

los vehículos recolectores de desechos sólidos de las principales municipalidades de la Gran Área Metropolitana.

El desarrollo de este análisis se orientó en el cumplimiento de los siguientes puntos:

- un conteo *in situ* de la llegada de vehículos y la duración del lavado aplicado a cada uno de ellos.
- comprobación del modelo markoviano de distribución para la llegada de vehículos y la duración del lavado.
- uso de estadística markoviana para identificar el número más adecuado de servidores a fin de disminuir los tiempos de espera y los costos.
- determinación de dimensiones y condiciones de seguridad ocupacional de la planta de lavado.

Se tabularon las llegadas de automotores y sus tiempos de lavado en períodos establecidos. Además, con base en datos históricos, se estimó el crecimiento de la población de vehículos recolectores y sus características. Los datos históricos consultados correspondieron a los viajes realizados para disponer los desechos sólidos en rellenos sanitarios de las municipalidades de San José, Goicoechea, Tibás, Montes de Oca, Curridabat, Moravia, Desamparados, Alajuelita, Escazú, Vásquez de Coronado y Aserrí, en el período de 1978 hasta el año 2003. En la Figura 1 se muestra la cantidad anual de viajes realizados a rellenos sanitarios para la disposición final de desechos sólidos, según la Dirección de Saneamiento Ambiental de la Municipalidad de San José (Ruiz, 2005). Cada uno de estos viajes debe verse como el arribo de un hipotético recolector, totalmente independiente de otro, pues el consumo de recursos y la capacidad del sistema de lavado, así lo determina.

Se incluyen en esta población de vehículos, recolectores municipales y no municipales. Estos últimos son una flota bastante heterogénea, pues se constituyen de varias clases de recolectores con

características de capacidades diversas. Pero, la flota municipal lo hace de vehículos de cualidades muy semejantes. Esto resulta en diferentes gastos de tiempo, recursos y técnicas de limpieza, ya que los automotores no municipales transportan residuos que van desde tipos industriales hasta hospitalarios. Estas situaciones influyen en las características y necesidades operativas de la planta de lavado. En algunos casos se necesita remover manualmente capas de desecho adheridas a la superficie interior de los recolectores, antes de lavarlos. Además, según el tamaño y la forma de los automotores, los tiempos de limpieza se vuelven desiguales.

Por su parte, la flota municipal está formada por camiones con características más homogéneas en características, capacidades, forma de lavado, consumo de recursos y tiempos de limpieza.

Mediante un árbol de probabilidad, se estimó que, prácticamente, todos los vehículos no municipales deben destinarse a procesos previos de limpieza antes de conducirse a la planta de lavado. Esta limpieza previa exigió estacionamientos para retirar desechos sólidos acumulados y no alterar negativamente el funcionamiento del relleno sanitario o de la planta de lavado. El árbol de probabilidad se muestra en la Figura 2.

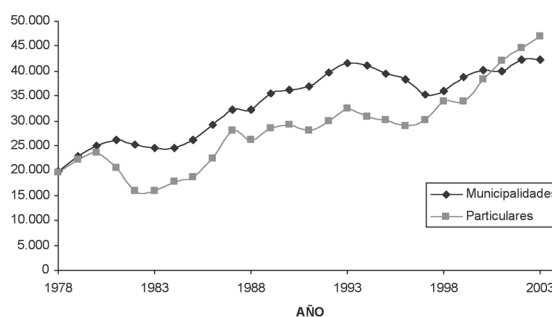


Figura 1. Cantidad anual de viajes realizados al relleno sanitario. Fuente: (Ruiz, 2005).

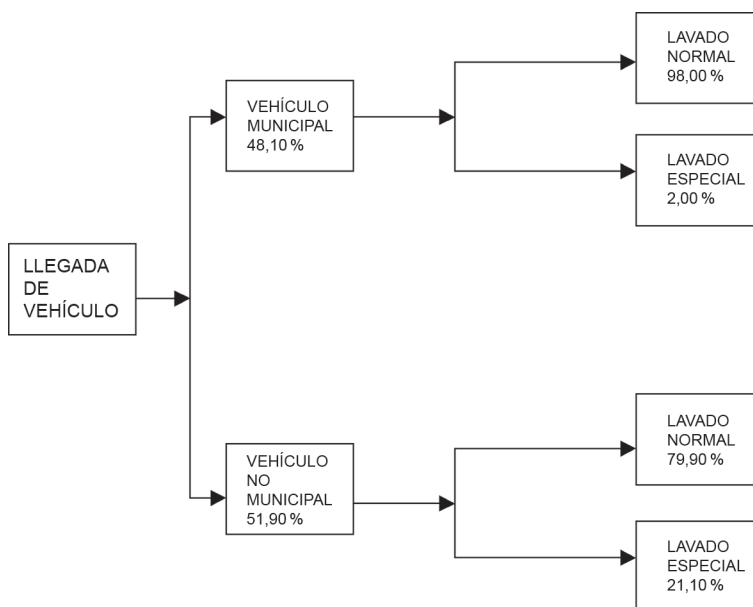


Figura 2. Árbol de probabilidad para el tipo de lavado de los vehículos recolectores no municipales. Fuente: (Ruiz, 2005).

4. ESTUDIO DE MOVIMIENTOS Y TIEMPOS *IN SITU*

En los procesos de llegada y de lavado para los camiones recolectores, se presenta la situación donde un grupo de clientes se dispone a recibir un servicio y deben esperar para recibirlo, formando así una fila de espera. La cantidad de vehículos que lleguen a una planta de lavado y el tiempo que se dure en atenderlos, determina la cantidad de líneas de lavado y costos operativos. Esto justifica la importancia de un análisis estadístico con el fin de poseer criterios que justifiquen la capacidad a instalar de los sistemas de lavado y sus costos, tanto fijos como operativos.

Las descripciones matemáticas de los tiempos de llegada y de lavado de los vehículos recolectores de desechos sólidos, se pueden efectuar mediante la distribución de probabilidad de Markov, siempre que cumplan con la característica fundamental de dicha distribución de probabilidad: *“cualquier evento futuro dados cualquier evento pasado y el estado actual del sistema, es independiente del evento pasado y sólo depende del estado actual del proceso”* (Hillier & Lieberman, 2001). Debido a esto, el tamaño de las filas de espera depende de la capacidad de servicio instalada. La función de probabilidad de Markov se expresa matemáticamente con la ecuación (1):

$$P(x, \alpha) = \alpha \cdot e^{-\alpha \cdot x} \quad (1)$$

Donde:

$P(x, \alpha)$: probabilidad de ocurrencia del fenómeno estudiado.

α : constante de distribución de Markov.

x : ocurrencia del suceso estudiado.

Pero, antes de aplicar análisis estadísticos con esta función de probabilidad, se debe comprobar que tanto los tiempos de los procesos de llegada como de lavado de vehículos la cumplan. Se comprobó que la distribución de Markov se podía

utilizar para describir la distribución de los datos recolectados. Para ello se realizó una prueba de bondad de ajuste con la expresión (2).

$$\chi^2 = \frac{(F_o - F_e)^2}{F_o} \quad (2)$$

Donde

F_e : frecuencia esperada del fenómeno.

F_o : frecuencia observada del fenómeno.

χ^2 : valor del estadístico Chi cuadrado.

Los valores del análisis de bondad de ajuste para los tiempos de llegada a la planta de lavado se detallan en el Cuadro 1. Con base en los datos recolectados y el estudio, se aceptó que la función de distribución de Markov representa el comportamiento de los datos observados. El valor de Chi cuadrado obtenido fue de 3,5852, siendo menor al valor crítico de 7,8150 para tres grados de libertad y un nivel de confianza del 95 %.

En el caso de los tiempos de lavado, la distribución también se pudo caracterizar con la función de probabilidad de Markov, según los datos del Cuadro 2. A partir de esta prueba de hipótesis se aceptó que la función de distribución de Markov representa el comportamiento de los datos observados. El valor de Chi cuadrado obtenido fue de 6,9925, mientras que para tres grados de libertad y un nivel de confianza del 95 %, el valor crítico fue de 7,8150.

Conociendo que los tiempos de arribo y lavado de los camiones son del tipo markoviano, se procedió a estimar el número de servidores que deberían entrar en funcionamiento, según los criterios descritos que Hillier y Lieberman (2001) proponen para los procesos de este tipo. El dimensionamiento propuesto por cada servidor es la acción de dos operarios con sus respectivas bombas de lavado.

Cuadro 1. Valores de la prueba de bondad de ajuste para tiempos de llegada (Adimensionales)

Cantidad de llegadas a la planta de lavado en 5 min	Frecuencia observada	Probabilidad de Markov	Frecuencia esperada	Valor de Chi cuadrado
3	2	0,04687	2	0,0489
4	2	0,01673	1	0,9767
5	1	0,00597	0	0,6162
7	1	0,00076	0	0,9459
10	1	0,00003	0	0,9975

Fuente: (Ruiz, 2005).

Cuadro 2. Valores de la prueba de bondad de ajuste para tiempos de lavado (Adimensionales).

Cantidad de lavadas de vehículos en la planta de lavado en 5 min	Frecuencia observada	Probabilidad de Markov	Frecuencia esperada	Valor de Chi cuadrado
0,5	15	0,61990	21,6964	2,9894
1,0	9	0,36751	12,8628	1,6579
1,5	6	0,21788	7,6258	0,4405
2,0	4	0,12917	4,5210	0,0678
2,5	6	0,07658	2,6803	1,8368

Fuente: (Ruiz, 2005).

Cuadro 3. Detalle de los costos totales de servicio según los servidores instalados

Enunciado	Número de servidores (Adimensional)		
	1	2	3
Costo operativo promedio de vehículo (¢/min)	60,00	60,00	60,00
Costo operativo y fijo de línea de servicio (¢/min)	1 705,57	3 411,14	5 116,71
Costo de espera (¢/min)	118,37	44,74	40,36
Costo total de servicio (¢/min)	1 823,94	3 455,88	5 157,07

Fuente: (Ruiz, 2005).

La justificación que se debió seguir para instalar una o más líneas de lavado en la planta de limpieza, debe fundamentarse tanto en criterios técnicos como económicos. Los costos por considerarse deben incluir los costos operativos de los recolectores, además de los costos operativos y fijos de la planta de lavado. El estudio estadístico trató de identificar la cantidad de líneas de servicio que hacen al sistema técnicamente operativo con costos mínimos. Por ello, si un vehículo permanece mucho tiempo estacionado o se operan una gran cantidad de líneas de servicio, se desperdicia capital, material humano y recursos.

En el Cuadro 3 aparecen los valores correspondientes a los costos de servicio, considerando los criterios mencionados y el número de servidores instalados.

En el Cuadro 3 se aprecia que solamente el aumento a dos líneas de servicio disminuyó considerablemente el costo del tiempo de espera, no así el costo de las líneas de lavado instaladas. En consecuencia, el uso de más de una línea de servicio no se justificó desde el punto de vista económico.

Al estudiar la probabilidad del número de clientes en el sistema para ser atendidos, se encontró que existe la posibilidad de mantener dos clientes en el sistema sin importar si operaran uno, dos o tres servidores. El uso de dos o tres líneas de lavado para la población que se atiende beneficiaría la reducción de las filas de espera, siendo poco probable la permanencia de tres clientes, inclusive una cantidad superior. Pero, el uso de una línea de lavado en la planta muestra que se tendrían al menos cuatro clientes en el sistema, como se aprecia en el Cuadro 4.

Con base en los resultados obtenidos, no se justificó el uso de más de una línea de lavado, debido a que, bajo esta condición, se presentan los costos de servicio más pequeños. A pesar de que se tendría una fila de espera de al menos tres clientes. Mientras que al aumentar los servidores para atender a la misma población el costo operativo crece, pero el ingreso permanece constante.

5. GENERACIÓN DE RESIDUOS

Según la investigación efectuada, en las plantas de lavado los principales tipos de desechos son los sólidos y los líquidos. Los contaminantes de tipo gaseoso no son tan representativos, pues durante la operación de la planta de lavado no se producen humos, vapores o gases que resulten perjudiciales, salvo los gases de combustión emitidos durante el funcionamiento de los vehículos.

Los desechos sólidos se originan en el proceso de limpieza de los vehículos y aparecen cuando se desprenden de los camiones. Su tasa de generación se estimó en un volumen diario de 1 m³ de desechos sólidos, sin compactar, por cada dieciséis recolectores lavados. Estos desechos se pueden depositar en el mismo relleno sin mayor dificultad, pudiéndose acumular en recipientes con capacidad de al menos 1,5 m³ a 2 m³ en la misma planta de lavado, mientras se realizan los lavados correspondientes.

Cuadro 4. Número de clientes más probable en espera según el número de los servidores instalados.

Número de clientes en espera (Adimensional)	Probabilidad según número de servidores (Adimensional)		
	Un servidor	Dos servidores	Tres servidores
1	22,3	33,3	34,1
2	14,8	11,0	11,3
3	9,8	3,7	2,5
4	6,5	1,2	0,6
5	4,3	0,4	0,1

Fuente: (Ruiz, 2005).

Cuadro 5. Características del agua residual de centros de lavado de vehículos.

Característica	Valor
Sólidos totales (mg/L)	850
Sólidos suspendidos (mg/L)	300
Sólidos disueltos (mg/L)	200
Sólidos sedimentables (mg/L)	8
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	200
Potencial de hidrógeno (adim)	10
Grasa y aceites (mg/L)	40
Alcalinidad (mg CaCO ₃ /L)	150

Fuente: (Alfaro, 2001).

Cuadro 6. Límites de vertido de aguas para centros de lavado de vehículos.

Parámetro	Alcantarillado sanitario	Cuerpos de agua
Demanda química de oxígeno (mg/L)	1 000	-
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	300	40
Sólidos suspendidos (mg/L)	500	60
Sólidos sedimentables (mL/L)	1	1
Grasas y aceites (mg/L)	100	30
Potencial de hidrógeno (adim)	6 - 9	5 - 9
Temperatura (°C)	T ≤ 40	15 ≤ T ≤ 40

Fuente: (Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, 1997).

Los desechos líquidos producidos en la planta de lavado son otro contaminante importante. Estos residuos se componen, principalmente, de mezclas de jabones, detergentes y sólidos como tierra, materia biodegradable y plásticos. También, es común encontrar niveles de basicidad bastante altos en esta agua, principal causa de la corrosión en las rejillas metálicas de los drenajes. En el Cuadro 5 se muestra la composición típica de las aguas residuales de una planta de lavado.

Estas concentraciones se deben reducir hasta cumplir con la legislación nacional vigente. Para el caso de las plantas de lavado, los parámetros que se deben cumplir se detallan en el Cuadro 6.

Aunque la legislación vigente en la República de Costa Rica indica que las aguas residuales de la planta de lavado deben enviarse al sistema de tratamiento de desechos líquidos del relleno sanitario, es conveniente utilizar un pretratamiento en las aguas de la planta, antes de cumplir este lineamiento. Esto se debe a que, en algunos casos, las aguas del sistema de tratamiento se recirculan en las celdas de basura y la presencia de detergentes y otras sustancias de limpieza pueden alterar la degradación de los desechos sólidos. El sistema que se utilice para el pretratamiento de las aguas debe contar con equipos capaces de remover estas sustancias mediante procesos de adsorción sobre carbón activado, oxidación mediante aereación y separación de sólidos y grasas, por ejemplo. En varios sistemas de lavado se pudo tabular un consumo de aproximadamente 0,120 m³/vehículo recolector/día.

6. ASPECTOS BÁSICOS DE SALUD OCUPACIONAL

Considerando que la salud es el equilibrio que debe existir entre el hombre, su medio ambiente y los agentes existentes en él, y se define no sólo como la ausencia de enfermedad sino como el más completo estado de bienestar físico, psíquico y social (Hernández et al, 2000), se procedieron a identificar los riesgos a los que se encontrarán expuestos los trabajadores de una planta de lavado.

Identificados los riesgos de trabajo, los autores los clasificaron, según sus características, en los siguientes grupos:

1. *Agentes químicos*: toda sustancia con efectos irritantes, corrosivos, asfixiantes o tóxicos y en cantidades que tengan probabilidades de lesionar la salud de las personas que entran en contacto con ellas.
2. *Agentes biológicos*: tienen como origen la fijación en el organismo con parásitos o toxinas de bacterias que provocan el desarrollo de alguna enfermedad.
3. *Agentes físicos*: condiciones peligrosas o desfavorables de iluminación, calor o frío extremos, ruido y humedad excesivos; manejo de corriente eléctrica, exceso o disminución de presión atmosférica, presencia de polvos en la atmósfera, radioactividad.

4. *Agentes ergonómicos*: todos aquellos que tiendan a modificar el estado de reposo o de movimiento de una parte o de la totalidad del cuerpo y provocar enfermedades o lesiones.

Determinados los riesgos de trabajo, se procedió a calificarlos según su importancia y la frecuencia con la cual ocurren. De las evaluaciones se encontró que las condiciones básicas de seguridad y salud ocupacional deberían ser:

Lugar de trabajo: en las instalaciones, el pavimento debe ser firme, no resbaladizo y de fácil limpieza, con una pendiente de al menos un 1% para realizar lavados húmedos. Las áreas deben delimitarse para la circulación de los vehículos y el movimiento de personas con señales horizontales y zonas de paso peatonal. La distribución arquitectónica debe permitir el movimiento del personal y a la vez, cumplir con cualidades básicas de seguridad.

Máquinas: los elementos móviles de las máquinas deben ser cubiertos con placas metálicas u otro tipo de elemento. Además, entre las máquinas instaladas la separación mínima debe ser de 0,8 m. Su instalación debe garantizar que permanezcan sujetas y que no puedan retirarse mediante la sola acción manual.

Herramientas manuales: los accidentes a causa de estas herramientas son muy comunes, siendo la causa principal la inadecuada utilización de las mismas. Se debe contar con la cantidad adecuada de herramientas en función del proceso productivo y del número de operarios por capacitar.

Instalación eléctrica: el equipo o instalación eléctrica debe estar dotado de un sistema de protección contra contactos eléctricos. Por ello, se recomienda que las instalaciones se encuentren debidamente protegidas con tubería de PVC o de hierro galvanizado y a una distancia que sea imposible un contacto fortuito con las manos o por la manipulación de objetos conductores. También, la instalación debe incluir un sistema de protección de sobrecargas eléctricas (disyuntores, fusibles).

Aparatos a presión y gases: se entiende por aparatos a presión, aquellos equipos destinados a la producción, almacenamiento, transporte y utilización de fluidos a presión. El principal riesgo de estos equipos es el de explosión debido a las elevadas presiones y también a las temperaturas con que suelen trabajar los mismos. Al ser los extintores equipos con sustancias contenidas bajo presión en su interior, estos se deben ubicar lejos de fuentes de calor directo como llamas, luz solar, hornos u otros.

Incendios y explosiones: los riesgos de incendio se presentan a causa de materias y productos inflamables. Su presencia debe limitarse a lugares retirados, ventilados y con medios de extinción. A la vez, debe prohibirse el fumado en zonas donde se almacenen o manejen.

Sustancias químicas: se deben almacenar e identificar de acuerdo con sus respectivas fichas de seguridad (MSDS en inglés). Además de capacitar a los operarios para atender posibles derrames e intoxicaciones.

Ruido: el ruido pasa a ser causa de molestias cuando personas a medio metro de distancia tengan que elevar la voz para hablar. El nivel promedio diario de ruido no debe superar los 80 dB. Si es así, se deben utilizar equipos con baja generación de ruido y protectores sónicos para los operarios.

Vibraciones: las máquinas que generan vibraciones deben instalarse con amortiguadores para minimizar la transmisión de vibraciones a las personas. Inclusive, se debe limitar el tiempo de exposición de las personas o utilizar protecciones individuales (guantes, botas, chalecos).

Medios de protección: conociendo algunas de las recomendaciones para la seguridad laboral en plantas de lavado, se pueden estimar cuáles equipos de protección deben proporcionarse a los operarios. Los equipos identificados para la seguridad de los trabajadores fueron: cascos, máscaras, guantes, trajes y zapatos industriales impermeables. Su escogencia se realizó para proteger a los operarios, según los siguientes criterios:

- *Máscara o caretas respiratorias*, ante la exposición directa con gases, vapores, polvo u otras emanaciones nocivas para la salud generadas en el lavado de los vehículos.
 - *Gafas y pantallas protectoras*, para proteger los ojos de las proyecciones de partículas sólidas o líquidos.
 - *Cascos con superficie diseñada*, para absorber el impacto de objetos de 4 kg desde una altura de 1,5 m.
 - *Guantes, trajes impermeables y calzado especial* para la protección del cuerpo contra la humedad excesiva y sustancias peligrosas propias del proceso de lavado.
3. Se determinó que aproximadamente la mitad de los automotores muestreados eran de tipo municipal y que no se aplica en ellos ningún tipo de limpieza especial. Pero, en el caso de los vehículos no municipales, se volvía necesario el lavado debido a lo heterogéneo de los desechos transportados y su origen (industrial, hospitalario, por ejemplo).
 4. Se determinó que la tasa de generación promedio de residuos sólidos en plantas de lavado de vehículos recolectores de desechos, corresponde a 1 m³ de desechos sin compactar por cada dieciséis vehículos recolectores por día.
 5. Se estimó que la tasa de generación promedio de agua residual, producto del trabajo en plantas de lavado de vehículos recolectores de desechos sólidos, es de 0,120 m³ por cada vehículo recolector por día.

La prevención en el proceso de lavado de vehículos no se limita a simples aspectos constructivos o de equipo de utilidad. Debe inculcarse en el personal una mentalidad, donde se tenga conciencia de la importancia que posee y se estimule su práctica.

CONCLUSIONES

1. A partir del estudio *in situ* de tiempos y de movimientos en rellenos sanitarios, se determinó que la población analizada se puede atender con una línea de servicio instalada en una planta de lavado, debido a lo pequeño del número más probable de vehículos en espera, tan sólo cuatro, y a que los costos operativos serían mínimos en esta condición.
2. Con base en el análisis de riesgos efectuado, se pudo determinar que los trabajadores encargados de la limpieza en la planta de lavado están expuestos a riesgos físicos a causa de temperatura, humedad, máquinas y diseño del lugar de trabajo; químicos, debido a las sustancias utilizadas para limpieza y mantenimiento, y de tipo ergonómico, por los tipos de superficies, dimensiones y distribución del equipo e instalaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, J. (1999). *Manual de fórmulas y tablas estadísticas*. (2^a ed.). Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Alfaro, R. (2001). *Guía para la escogencia y dimensionamiento para sistemas de tratamiento de aguas residuales ordinarias y especiales*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Consejo Europeo de Industria Química. (1998). *Estaciones de lavado de cisternas*. Bélgica: Autor.
- Costa Rica, Consejo de Salud Ocupacional. (1977). *Reglamento general de seguridad e higiene en el trabajo*. San José: Autor.
- Hernández, A., Malfavón, N. & Fernández, G. (2000). *Seguridad e higiene industrial*. México D. F: Limusa.

- Hillier, F. & Lieberman, G. (2001). *Investigación de operaciones*. (7^a ed.). México D. F: McGraw-Hill.
- La Gaceta, (1997, junio 19). *Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales*, p. 2-6.
- La Gaceta, (1998, noviembre 23). *Reglamento sobre rellenos sanitarios*. p. 2-5.
- Metcalf. & Eddy. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Barcelona, McGraw-Hill.
- Najar, L. (1998, abril). *Desechos patológicos*. En: XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Organización Internacional del Trabajo. (1990). *Control de riesgos de accidentes mayores: manual práctico*. Zurich: Autor.
- Ramalho, R. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*. (2^a ed.) Barcelona, Reverté.
- Rodríguez, J. (2004). *Gestión de residuos urbanos y peligrosos*. San José, Universidad de Costa Rica.
- Ruiz, F. (2005). *Dimensionamiento y costeo de una planta de lavado para camiones recolectores de basura*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Química, Escuela de Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- Solís, A. (2000). *Información básica referente al manejo integral de desechos sólidos municipales*. San José, IFAM.

SOBRE EL AUTOR

Francisco Ruiz Fallas

Licenciado en Ingeniería Química,
Profesor del Recinto Universitario de Grecia,
Universidad de Costa Rica
Teléfono: 494-8595 o 894-8369
Correo electrónico: fruizyan@yahoo.com