

Artículo científico

Relación de sólidos sedimentados con la eficiencia de las trampas de grasas (desengrasadores)

Martín Chinchilla Paniagua

Ing. Civil, M.Sc. Ingeniería Sanitaria, ERIS-USAC, Guatemala
 Administradora y Constructora Sostenible ADCOS S.A.
 Dirección para recibir correspondencia: martinchillap@gmail.com
 Dirección para recibir correspondencia:
 Recibido 30.09.2015 Aceptado 22.02.2016

Resumen

El presente artículo consiste en evaluar la relación de los parámetros de diseño de las trampas de grasas con la eficiencia de remoción de grasas y aceites, en aguas residuales comerciales generadas en una cafetería. Treinta muestreos determinan un caudal promedio de 2.28 m³ por día, 94 mg/L de grasa, 1103 mg/L de DBO₅, 2109 mg/L de DQO, 276 mg/L de sólidos suspendidos y 0.45cm³/L de sólidos sedimentables. La correlación de estas variables se comprueba por un modelo estadístico de regresión múltiple, haciendo uso del programa estadístico informático SPSS, evidenciando un R² de 55% de relación entra la eficiencia de la trampa con el volumen y el caudal que ingresa, resultando que el volumen de los sólidos sedimentados tiene una correlación de Pearson de 0.996 con el volumen de la trampa de grasas y las grasas acumuladas representan 0.952 de correlación. Con ello se modifica la ecuación de diseño, para calcular el volumen total de una trampa de grasas, ahora en función de 4 variables más, días de operación, el tiempo de trabajo del establecimiento comercial, la generación de las grasas y aceites, y sólidos sedimentados diarios, básicamente la suma de tres volúmenes, diseño, grasas y sedimentos:

$V_{TR} = V_D + V_{GA} + V_{SS}$. Donde $V_D = Q \cdot TRH \cdot 60$, $V_{GA} = Q \cdot D \cdot H \cdot 3600 \cdot V_G$, $V_{SS} = Q \cdot D \cdot H \cdot 3600 \cdot V_S$. El artículo es parte de la investigación: "Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales".

PALABRAS CLAVE: Aguas residuales comerciales, grasas y aceites, modelo de regresión múltiple, programa informático SPSS, sólidos sedimentados.

Abstract

This article evaluates the relation between the design parameters of the grease traps and the removal efficiency of fats and oil of commercial wastewaters, generated in a cafeteria. Thirty samplings determined an average of 2.28m³ per day of flows, 94 mg/L of grease, 1103 mg/L of BOD₅, 2109 mg/L of COD, 276 mg/L of suspended solids and 0.45m³/L of sediments. The correlation of these variables is checked by a statistical multiple regression model, using the SPSS software, displaying a 55% of R² between the grease trap efficiency with the volume and the enter flow. Resulting a 0.996 Pearson correlation between the sediment volume and the grease trap volume, the grease represent a 0.952 Pearson correlation. The design equation to calculate the total volume of a grease trap, is amended, now based on four additional variables, days of operation, the working time of the business establishment, the daily generation of fats and oils and sediments, basically the sum of three volumes, design, grease and sediment: $V_{TR} = V_D + V_{GA} + V_{SS}$. Where, $V_D = Q \cdot TRH \cdot 60$, $V_{GA} = Q \cdot D \cdot H \cdot 3600 \cdot V_G$ and $V_{SS} = Q \cdot D \cdot H \cdot 3600 \cdot V_S$. The article is part of research: "Relation between design parameters of grease traps (degreasers) versus its efficiency in commercial wastewater".

KEY WORDS: Commercial wastewater, fats and oils, multiple regression model, SPSS software, sediments.

Introducción

Las grasas y aceites en las aguas residuales se caracterizan por elevar las concentraciones de DBO₅ y DQO, obstruir tuberías sanitarias, disminuir el oxígeno de disuelto tanto por consumo como por restricción de transferencia en tratamientos, provocando incremento en gastos de operación y mantenimiento. (Romero, 1999). Las trampas de grasas (desengrasador) por flotación natural, es un pretratamiento usado en aguas residuales para la separación de grasas y aceites, cuyo volumen es diseñado en función de un tiempo de retención hidráulico específico que permita la flotación de grasas y aceites para un caudal máximo horario específico del ente generador (GTZ, 1991).

El artículo explica cómo se modifica una ecuación para el diseño del volumen de una trampa de grasas y aceites de separación natural, para lograr una eficiencia de remoción constante durante los días de operación que el diseñador proponga para el pretratamiento. Se caracteriza el agua residual comercial de la cafetería de la Facultad de Arquitectura de la USAC. Se determina la cantidad de muestras para el modelo estadístico de regresión múltiple, así mismo, se modela en el programa estadístico informático, SPSS (Soluciones de Servicio y Productos Estadísticos, por sus siglas en inglés). Al correlacionar las variables del diseño de la trampa, introducidas en el programa, se identifica cuales tienen más influencia sobre la eficiencia de remoción de grasas y aceites. Se verifica la correlación de la DBO₅ y DQO con las grasas y aceites y se identifica si existe remoción de estos parámetros con el uso de este pretratamiento.

Los datos del presente artículo son resultados del estudio: "Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales" elaborado por el autor del presente artículo.

Descripción del área de estudio

La cafetería está ubicada en el nivel cero del edificio T2 de la Facultad de Arquitectura dentro de la Universidad de San Carlos, en la zona 12. Limitada al Norte con el parqueo de la Facultad de

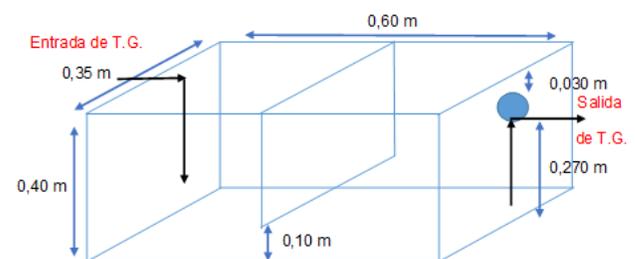
Arquitectura, al Este con el edificio de Rectoría y al Sur con la Facultad de Ingeniería, y al Oeste con el edificio "T1" Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Sus coordenadas son 14° 35'17.34" de latitud Norte y 90° 33'10.98" de longitud Oeste. Con una altitud media de 1493 m.s.n.m.

El horario de servicio es de 7:00 a.m. a 7:00 p.m. Las horas de trabajo se extienden a 30 minutos antes y después del horario de servicio. Sirven un promedio total de 200 platos calientes al día. Cuenta con un fregadero con dos grifos y una pila con otros dos grifos. Además, tiene una línea de abastecimiento adicional con un filtro para la preparación de bebidas y lavado de verduras. No se cuenta con inodoro privado para los comensales ni para los trabajadores del mismo, por lo que no se producen aguas grises de lavamanos.

Metodología

La investigación consistió en la fabricación e instalación de un pretratamiento (trampa de grasas y aceites), figura 1, para el efluente de una cafetería, con las dimensiones internas de una trampa de grasas comercial y así también identificar si esta es eficiente. Se construyó en vidrio claro, para observar lo que sucede internamente, de 8mm de espesor, 60cm de largo por 35cm de ancho con 40cm de altura y 27 cm de nivel hidráulico.

Figura 1. Dimensionamiento de trampa de grasas.



Fuente. Chinchilla Martín, 2015..

Para la instalación, figura 2, se deshabilitó una caja de registro previamente instalada que alteraría las muestras del efluente reduciendo la cantidad de sólidos contenidos en el agua residual y se colocan

válvulas pre y post pretratamiento, para la toma de muestras. La salida de la trampa se reconectar a la salida original.

En el sistema se utiliza tubería de PVC sanitaria de 100 mm (4") de diámetro. En la línea de flujo principal con válvulas de bola de PVC de 100 mm de diámetro en entrada y salida a la trampa de grasas y aceites y la línea de flujo secundario, se instalaron válvulas de bola de PVC de 50 mm (2") de diámetro para el muestreo de la entrada y la salida del pretratamiento.

Figura 2. Instalación del pretratamiento.

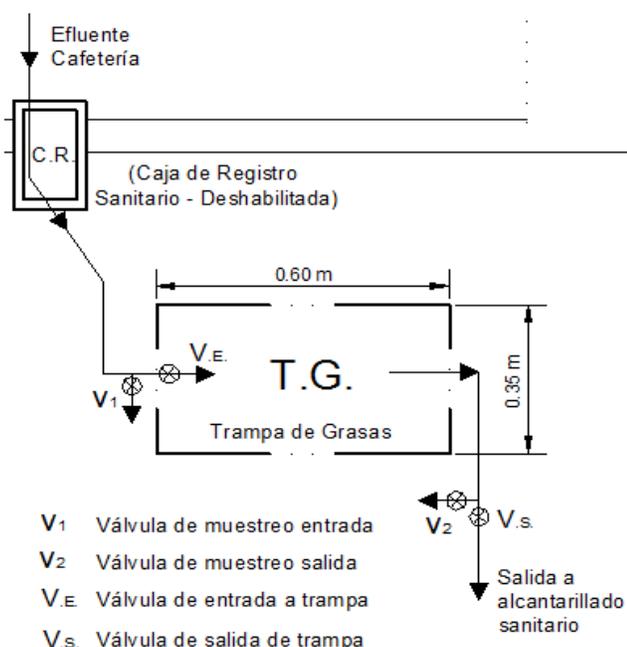


Figura 2. Chinchilla Martín, 2015.

Determinación de parámetros

Se mide el caudal de todo un día de trabajo de la cafetería, para graficar la curva del mismo cada 15, 30 y 60 minutos. Con ello se verifica si el caudal máximo horario que ingresa al sistema de pretratamiento cumple con el tiempo de retención hidráulico mínimo recomendado por la literatura, para la separación de grasas y aceites de las aguas residuales.

Durante la experimentación se miden algunos parámetros físicos que pueden afectar la eficiencia de la trampa de grasas y aceites, como lo son:

- Caudal del efluente (Q), en L/s.

- Tiempo de retención hidráulico (TRH), en s.
- Cantidad de grasa acumulada (G_A), cm.

En observaciones experimentales se nota que de las aguas residuales de la cafetería, hay un porcentaje de los sólidos que ingresan a la trampa de grasas y aceites que sedimentan; restando, de forma más rápida el volumen útil para que se cumpla el tiempo de retención hidráulica mínimo. Por lo que, se mide otro parámetro para evidenciar si este afecta la eficiencia del pretratamiento,

- Sólidos sedimentados acumulados (SS_A), cm.

Se hace una caracterización fisicoquímica del agua residual comercial (sin aguas negras) de la cafetería, en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria Doctora Alba Estela Tabarini Molina, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Facultad de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala; y se analiza si hay remoción de estos parámetros con el uso de la trampa de grasas y aceites:

- Grasas y aceites, GyA, en mg/L.
- Demanda bioquímica de oxígeno, DBO₅, mg/L.
- Demanda química de oxígeno, DQO, en mg/L.
- Sólidos sedimentables, SS_{Sed}, en cm³/L.
- Sólidos suspendidos, SS, en mg/L.

Método estadístico

Para determinar el efecto de ciertas variables sobre otras de manera independiente e integral, se hace uso de un modelo de regresión múltiple, el cual es utilizado cuando se estudia la posible relación entre varias variables independientes y otra variable dependiente.

El modelo de regresión múltiple tiene el aspecto:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + \dots + b_nX_n \quad (2)$$

Donde:

Y = variable dependiente

X_i = variables independientes

b_i = coeficiente del modelo calculados por el programa estadístico, de modo que se minimicen los residuos

Número de muestras

“Por medio de un modelo de regresión múltiple, no se tiene una justificación en cuanto al cálculo para la determinación de muestras. Se define una cantidad de muestra por conveniencia, siempre y cuando cumpla con una cantidad de grados de libertad suficiente (con la tabla de distribución F de Fisher) para que el análisis de varianza sea justificable”, citando al Lic. Oscar Federico Nave Herrera, coordinador del Programa de Asesoría Estadística para Investigación, de la Dirección General de Investigación DIGI, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La eficiencia de la trampa de grasas (variable dependiente) varía con el caudal que ingresa (variable independiente). Si este genera un tiempo de retención hidráulica (dependiente del volumen que es constante y del caudal) igual o superior al recomendado, la misma es eficiente, caso contrario la eficiencia decae.

La cantidad de grasa que se va almacenando (variable independiente) en la superficie de la trampa influye sobre la eficiencia. En el momento en que la trampa se satura de grasas y aceites, la eficiencia es nula.

Los primeros muestreos evidenciaron que la cantidad de sólidos sedimentados (variable independiente) se van incrementado en mayor porcentaje con respecto a las grasas y aceites, pudiendo ser un factor más que influye en la eficiencia de la trampa de grasas.

Al ser la cantidad de grasas, aceites y sólidos sedimentados variables incrementales con respecto al tiempo, se deben muestrear al menos 3 caudales diarios representativos (el caudal mínimo, medio y máximo), ya que el volumen de grasas, aceites y sólidos serán muy similares en un día. Logrando esto, sí se puede analizar la variabilidad de la eficiencia con respecto al caudal y su relación con el tiempo de retención hidráulico.

Los muestreos se realizan cada 2 días, porque los documentos recomiendan la remoción de grasas acumuladas cada semana, tabla 1. Se evidenció en la cuarta muestra (séptimo día de operación) que la eficiencia era nula y se confirmó en la quinta muestra (noveno día de la operación).

Tabla 1. Muestreos para una repetición experimental

Muestreos	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
Días de operación	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Días de semana	L	M	M	J	V	S	L	M	M

Fuente: Chinchilla Martín, 2015.

Por lo tanto con 5 días de muestreos, muestreando 3 veces por día (3 caudales diferentes), se logran 15 lecturas que representan solo una repetición experimental.

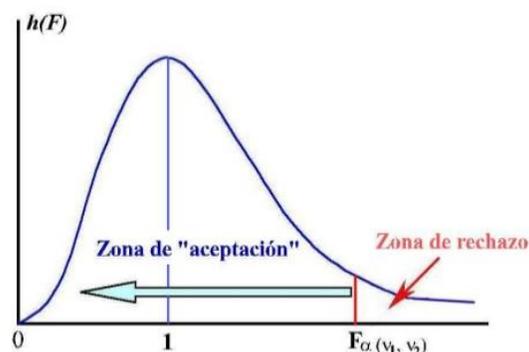
“Con dos repeticiones como mínimo del proceso, se puede evaluar el efecto de las variables independientes (incluyendo co-variables) sobre cada una de las variables dependientes por medio de un modelo de regresión múltiple”, comentó el Lic. Nave Herrera. (Chinchilla, 2015)

Con dos repeticiones experimentales y 15 lecturas cada una se completan 30 muestras en total. Si se muestrean la entrada y salida de la trampa de grasas, para medir las remociones, se suma un total de 60 pruebas de laboratorio para cada parámetro, entre ellas grasas y aceites, DBO₅, DQO, temperatura, sólidos sedimentables y sólidos suspendidos.

Probabilidad de número de muestras

Una distribución F concreta, figura 3, se especifica mediante dos parámetros: los grados de libertad del numerador y los grados de libertad del denominador (Moore, 2005).

Figura 3. Gráfica de Distribución F de Fisher.



Fuente. Estadística aplicada, Moore, 2005.

La probabilidad en la tabla de distribución F, se determina:

$$F = \frac{gl(ct)}{gl(error)} \quad (3)$$

Número de muestra total: N = 30.

Variables independientes (v1): caudal con n = 3 variables

- Caudal mínimo.
- Caudal medio.
- Caudal máximo.

Variables independientes (v2): días de operación, con n = 5 variables.

- Día 01, primer día de operación.
- Día 03 de operación.
- Día 05 de operación.
- Día 07 de operación.
- Día 09 de operación.

Los grados de libertad con tratamiento se determinan de la siguiente manera:

$$gl(ct) = n - 1 \quad (4)$$

Donde:

gl (ct) = grados de libertad con tratamiento, nominador en tabla de distribución F.

n = número de variables dentro de la muestra.

Para v1, el caudal:

$$gl(v_1) = 3 - 1 = 2$$

Para v2, los días de operación

$$gl(v_2) = 5 - 1 = 4$$

Los grados de libertad del error, denominador en la tabla de distribución F, se determinan:

$$gl(error) = gl(totales) - \sum gl(ct) \quad (5)$$

Donde:

gl (error) = grados de libertad del error.

gl (totales) = grados de libertad totales.

$$gl(totales) = N - 1 \quad (6)$$

Donde,

N = número de muestra de la total.

$$gl(totales) = 30 - 1 = 29$$

$$\sum gl(ct) = 2 + 4 = 6$$

$$gl(error) = 29 - 6 = 23$$

$$F_{1(0.95)} = \frac{gl v_1}{gl (error)} = \frac{2}{23} = 3.422$$

$$F_{2(0.95)} = \frac{gl v_2}{gl (error)} = \frac{4}{23} = 2.796$$

En la tabla de distribución F, con “1-α = 0.95”, los nominadores 2 y 4 y un denominador de 23, resulta una probabilidad de 3.422 y 2.796 respectivamente, lo que significa que a la izquierda de este valor encontramos el 0.95 de probabilidad y a la derecha el 0.05 probable crítico.

Modelación estadística

El modelo de regresión múltiple en este caso evaluó el rendimiento o eficiencia de remoción de grasas (variable dependiente), porcentaje de la diferencia entre la grasa que ingresa y la grasa que sale de la trampa, en función de las variables predictoras, caudal y días de operación, altura de grasas acumuladas y altura de sólidos sedimentados.

Se mide como co-variables del sistema, el volumen de las grasas acumuladas, el volumen de los sólidos sedimentados, el volumen neto (diferencia entre el volumen constante y los volúmenes anteriores), temperatura del agua, tiempo de retención hidráulico y se agrega al modelo de regresión múltiple para determinar su influencia sobre el rendimiento de la trampa de grasas.

Se introducen las variables en el programa estadístico informático SPSS, versión 22.0.0.0. A cada variable se le indica el nombre (resumido), tipo

de variables, cantidad de dígitos y decimales aceptables, se debe etiquetar (descripción) y colocar la medida (puede ser escala, nominal u ordinal).

Se determina cual modelo tiene mejor predicción de comportamiento futuro, es decir mejor R^2 , tabla de la relación de Pearson (tabla 8). Además se identificará si el p-valor ($\alpha - 0.95$), es menor que el nivel de significancia, para así rechazar la hipótesis nula (H_0) y concluir que la hipótesis alternativa es verdadera (H_1).

H_0 : los sólidos sedimentados acumulados no afectan la eficiencia de la trampa de grasas, por ello, no es tomada en cuenta en la teoría del diseño.

H_1 : los sólidos sedimentados acumulados afectan la eficiencia de la trampa de grasas, por ello, debe ser tomada en cuenta en la teoría del diseño.

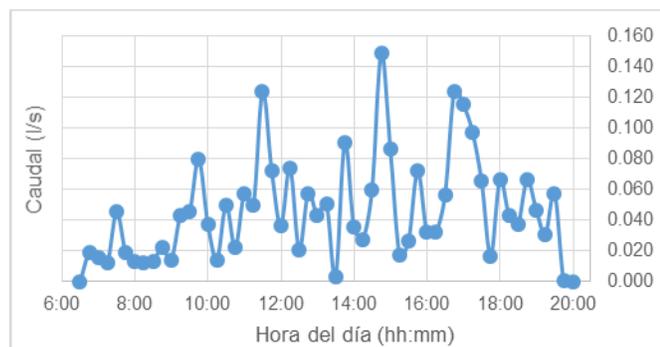
Resultados

Al evaluar el caudal total de un día de trabajo en la cafetería se contabilizo un total de 2 277 litros, el cual es suministrado por un pozo dentro de la USAC, figura 4, 5 y 6.

Se gráfica el comportamiento de los caudales cada 15, 30 y 60 minutos:

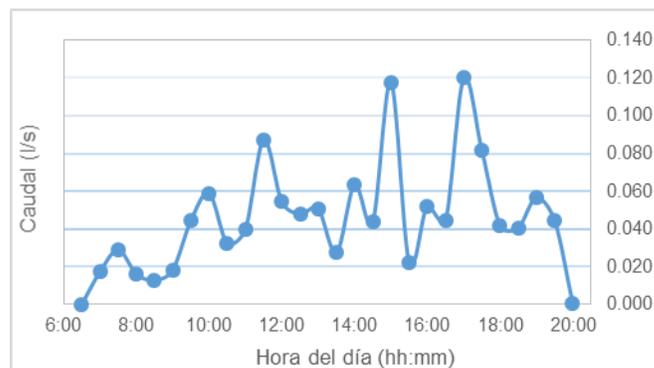
- Caudal mínimo: 0.000 L/s.
- Caudal medio: 0.046 L/s.
- Caudal máximo: 0.149 L/s.

Figura 4. Curva de caudal medida cada 15 minutos.



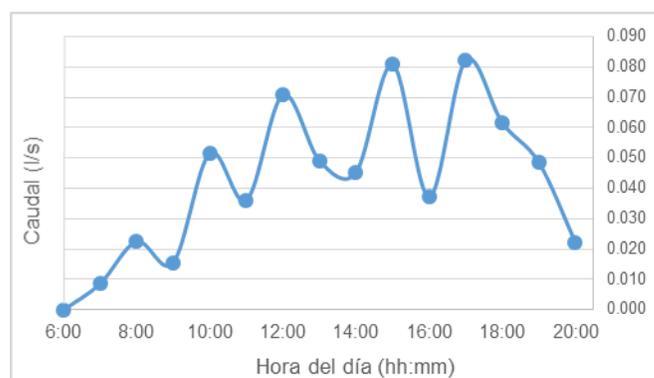
Fuente. Chinchilla Martín, 2015.

Figura 5. Curva de caudal medida cada 30 minutos.



Fuente. Chinchilla Martín, 2015.

Figura 6. Curva de caudal medida cada 60 minutos.



Fuente. CHINCHILLA Martín, 2015.

Análisis fisicoquímicos del agua

Los caudales, tiempo de retención hidráulico, altura de grasas y aceites acumulados y la altura de los sólidos sedimentados se midieron en campo, para cada repetición según el modelo estadístico seleccionado.

En la primera repetición experimental se realizaron 15 muestreos y en la segunda repetición se volvieron a determinar 15 muestras más, sumando así las 30 muestras requeridas para el modelo estadístico.

En las tablas 2 y 3 se presentan los resultados físicos medidos in situ, y en las tablas 4 y 5 se observan los resultados fisicoquímicos de las muestras.

Los resultados de los análisis fisicoquímicos, con el número de muestra (N_0), las grasas y aceites (GyA) en mg/l, la DBO_5 y DQO en mg/l, los sólidos

suspendidos en mg/L, y los sedimentables en cm³/L, se presentan según el número de repetición experimental.

Tabla 2. Resultados físicos de la repetición 1.

N° M.	Fecha	Q (l/s)	TRH (min)	GA (cm)	SSA (cm)
1	23/03/2015	0.069	13.70	0.10	0.02
2		0.041	23.30		
3		0.510	1.85		
4	25/03/2015	0.273	3.45	0.20	2.50
5		0.427	2.20		
6		0.076	12.43		
7	07/04/2015	0.062	15.22	1.33	7.00
8		0.035	27.05		
9		0.339	2.78		
10	09/04/2015	0.043	21.97	2.50	8.67
11		0.086	10.93		
12		0.311	3.03		
13	15/04/2015	0.380	2.48	3.27	11.17
14		0.151	6.27		
15		0.047	20.20		

Fuente: CHINCHILLA Martín, 2015.

Tabla 3. Resultado físicos de la repetición 2.

N° M.	Fecha	Q (l/s)	TRH (min)	GA (cm)	SSA (cm)
16	25/05/2015	0.056	17.83	0.07	0.33
17		0.158	5.90		
18		0.069	13.77		
19	27/05/2015	0.075	12.60	0.70	6.75
20		0.153	6.17		
21		0.272	3.88		
22	29/05/2015	0.011	89.95	1.65	8.50
23		0.248	3.82		
24		0.057	16.50		
25	01/06/2015	0.072	13.08	2.17	9.00
26		0.143	6.60		
27		0.637	1.48		
28	03/06/2015	0.087	10.90	3.17	10.20
29		0.122	7.73		
30		0.307	3.08		

Fuente: Chinchilla Martín, 2015.

Tabla 4. Resultados fisicoquímicos de la repetición 1.

No	GyA		DBO ₅		DQO		SSed		SS	
	Inicio	Salida	Inicio	Salida	Inicio	Salida	Inicio	Salida	Inicio	Salida
1	127.0	73.20	4100	1153	5250	1660	0.10	0.80	1198	203
2	408.8	71.89	3760	1220	7260	3010	1.00	0.70	1212	304
3	69.8	83.00	975	5250	1580	6700	3.00	13.00	278	1592
4	73.0	54.56	1460	1320	2234	2193	0.00	0.70	263	217
5	15.8	49.60	2510	3040	8667	10150	0.30	0.70	129	170
6	80.6	9.20	216	35	640	130	0.01	1.00	148	15
7	30.2	22.22	1007	503	1590	1050	0.00	0.70	164	166
8	339.8	70.00	780	780	4360	1710	0.00	0.00	253	109
9	8.6	37.20	506	1400	710	1780	0.04	2.50	69	664
10	51.1	115.00	1040	1167	1360	1370	0.20	1.80	226	400
11	54.2	123.20	887	853	1250	1540	0.20	1.00	133	300
12	150.4	178.40	533	1207	1540	1560	0.04	2.50	300	664
13	126.5	1315.9	2510	10150	3040	13500	0.20	5.00	182	1296
14	81.3	148.40	647	1820	1140	2800	0.00	0.30	185	293
15	51.4	98.40	460	790	1030	2260	0.80	1.80	132	180

Fuente: Chinchilla Martín, 2015.

Tabla 5. Resultados fisicoquímicos de la repetición 2.

No	GyA		DBO ₅		DQO		SSed		SS	
	Inicio	Salida	Inicio	Salida	Inicio	Salida	Inicio	Salida	Inicio	Salida
16	53.8	29.80	657	395	1070	810	0.30	0.50	225	217
17	68.4	37.60	607	590	980	790	0.70	0.90	272	189
18	33.8	25.80	533	307	1160	640	0.20	1.00	226	134
19	96.4	76.60	1207	1250	2670	1930	0.20	0.00	236	165
20	93.8	110.20	507	1300	1260	3470	0.00	1.50	155	553
21	97.2	83.60	1057	1030	2340	1580	0.40	0.30	429	296
22	130.8	112.40	1300	1030	1810	1790	2.10	4.00	258	806
23	68.2	122.60	584	993	880	1360	0.50	0.70	252	348
24	86.2	35.40	1073	456	1300	610	0.50	0.70	203	71
25	60.4	38.20	405	675	1200	840	0.20	2.00	130	266
26	44.2	47.78	370	387	800	890	0.40	0.40	128	198
27	57.0	131.40	446	923	760	1020	1.50	0.50	216	463
28	88.2	166.40	423	510	730	810	0.00	0.20	236	282
29	74.8	85.20	1440	1780	2560	2980	0.10	0.30	162	166
30	94.0	178.20	1060	1620	3800	5000	0.80	2.20	474	2968

Fuente: Chinchilla Martín, 2015.

El agua residual comercial de la cafetería presenta un promedio de:

- Grasas y aceites: 94 mg/L.
- DBO₅: 1103 mg/L.
- DQO: 2109 mg/L.
- Sólidos suspendidos: 276 mg/L.
- Sólidos sedimentables: 0.45 cm³/L.

Modelación en programa estadístico de IBM SPSS

Primero se identifican las correlaciones entre las variables independientes y co-variables. Además se obtiene las relaciones con los volúmenes de grasas y aceites (G_v), sólidos sedimentados (SS_v) y el efectivo de la trampa de grasas (TG_v), siendo este último la diferencia entre volumen de la trampa y la suma de los dos últimos.

Si la correlación de Pearson (Cor. P) es cercana a ± 1 y el nivel de significancia bilateral (Sig.) de dos colas es igual o menor a **0.05**, indican que las correlaciones entre esas variables es confiable, tabla 6.

Las variables con correlación alta
 Las variable con la correlación más alta

Tabla 6. Correlaciones entre variables experimentales.

Correlacion	GyA	Q	Do _p	GA	SSA	TRH	Gv	SSv	TGv
GyA	Cor. P 1 Sig. .051	-.380 .000	-.659** .000	-.698** .000	-.607** .001	.203 .309	-.698** .000	-.607** .001	.637** .000
Q	Cor. P -.380 Sig. .051	1 .848	.039 .000	.018 .928	.009 .963	-.485* .010	.018 .931	.009 .963	-.011 .955
Do _p	Cor. P -.659** Sig. .000	.039 .848	1 .000	.987** .000	.928** .000	-.034 .866	.987** .000	.928** .000	-.955** .000
GA	Cor. P -.698** Sig. .000	.018 .928	.987** .000	1 .000	.921** .964	-.009 .789	1.000** .000	.920** .000	-.952** .000
SSA	Cor. P -.607** Sig. .001	.009 .963	.928** .000	.921** .000	1 .000	.054 .789	.921** .000	1.000** .000	-.996** .000
TRH	Cor. P .203 Sig. .309	-.485* .010	-.034 .866	-.009 .964	.054 .789	1 .975	-.006 .789	.054 .841	-.040 .841
Gv	Cor. P -.698** Sig. .000	.018 .931	.987** .000	1.000** .000	.921** .000	-.006 .975	1 .000	.921** .000	-.953** .000
SSv	Cor. P -.607** Sig. .001	.009 .963	.928** .000	.920** .000	1.000** .000	.054 .789	.921** .000	1 .000	-.996** .000
TGv	Cor. P .637** Sig. .000	-.011 .955	-.955** .000	-.952** .000	-.996** .000	-.040 .841	-.953** .000	-.996** .000	1

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).
 * La correlación es significativa en el nivel 0,05 (2 colas).

Fuente: Chinchilla Martín, 2015.

Con base en la variable independiente caudal y la co-variable volumen de trampa de grasa efectivo, se evidencia en las siguientes tablas como este modelo de regresión múltiple, resultado del programa SPSS, como lo indican las tablas 7, 8, 9 y 10, explica en un 55% el comportamiento de las variables con la eficiencia de la trampa de grasas y aceites. En el ANOVA se confirma la hipótesis alternativa con un valor de Fisher 14,37 y una significancia de 0.000.

Tabla 7. Variables introducidas en el modelo.

Modelo	Variables introducidas	Variables eliminadas	Método
1	Caudal, l/s, Volumen trampa, l ^b		Intro

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %
 b. Todas las variables solicitadas introducidas.

Tabla 8. Resumen del modelo.

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado ajustado	Error estándar de la estimación
1	.738 ^a	.545	.507	47.42841

a. Predictores: (Constante), Caudal, l/s, Volumen trampa, l

Tabla 9. ANOVA^a del modelo

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	64663.597	2	32331.798	14.373	.000 ^b
1 Residuo	53986.897	24	2249.454		
Total	118650.494	26			

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

b. Predictores: (Constante), Caudal, l/s, Volumen trampa, l

Tabla 10. Coeficientes del modelo

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
(Constante)	-146.962	37.733		-3.895	.001
1 Caudal, l/s	-167.330	61.887	-.372	-2.704	.012
Volumen trampa, l	4.031	.877	.633	4.599	.000

a. Variable dependiente: Grasas y aceites, %

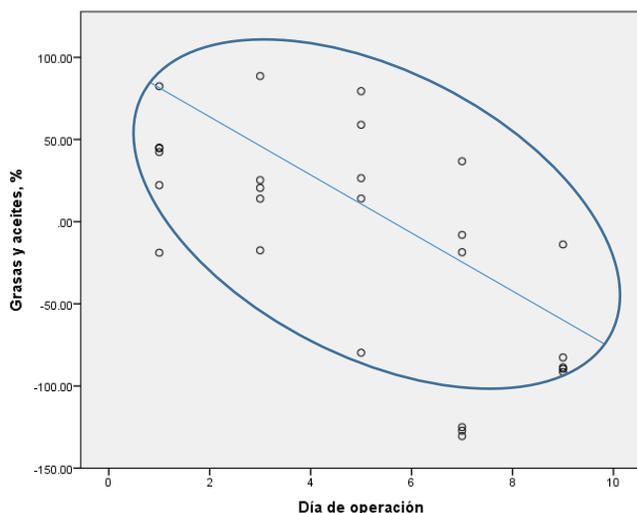
Fuente de tablas anteriores: Chinchilla, 2015.

Todos los coeficientes son lógicos al tener los mismos signos (+/-) que las correlaciones de la tabla 6. Todos los coeficientes del modelo cumplen con la significancia ($\alpha < 0.05$), siendo el volumen la variable de más peso en la ecuación.

Eficiencia respecto a días de operación

En el SPSS se identifica, para el caso de la Cafetería, cual es la relación entre los días de operación y la eficiencia de la trampa de grasas, debido a la carga residual que descargan, figura 7. Se delimitan los datos por medio del círculo, dejando afuera los valores extremos.

Figura 7. Eficiencia remoción GyA vrs día operación.



Fuente: Chinchilla Martín, 2015.

Conforme pasan los días de operación, decae la eficiencia de remoción de grasas. Inclusive en el quinto de operación hay una muestra que remueve un 79% de grasas y aceites, siendo un 80% la remoción óptima. A partir del sexto o séptimo día la remoción decae por debajo del 50% hasta volverse nula.

En la cafetería hay una producción de los sólidos sedimentados de 1.52 kg/día y de grasas y aceites de 0.49 kg/día que se van acumulando, reduciendo el volumen efectivo de la trampa. (CHINCHILLA, 2015). Para obtener el volumen de cada uno por día, se divide entre el caudal promedio de 2000 L/día.

Se puede diseñar el volumen total de la trampa de grasas, conociendo las horas que trabaja el comercio por día, los días de operación de la trampa y el caudal.

$$V_{TR} = V_D + V_{GA} + V_{SS} \quad (7)$$

$$V_D = Q \cdot TRH \cdot 60 \quad (8)$$

$$V_{GA} = Q \cdot D \cdot H \cdot 3600 \cdot V_G \quad (9)$$

$$V_{SS} = Q \cdot D \cdot H \cdot 3600 \cdot V_S \quad (10)$$

Donde:

V_{TR} = Volumen total la trampa de grasas, en L.

V_D = Volumen de diseño teórico, en L.

V_{GA} = Volumen de grasas y aceites, en L.

V_{SS} = Volumen de sólidos sedimentados, en L.

Q = Caudal, en L/s.

TRH = Tiempo de retención hidráulico, en min.

D = Días de operación, en día.

H = Horas de trabajo comercial, en h.

$V_G = 2.45 \times 10^{-4}$ L de grasa por litro de agua residual.

$V_S = 7.46 \times 10^{-4}$ L de sólidos sedimentado / L de agua.

Conclusiones

El caudal promedio diario de la cafetería es de 0.046 L/s, 0.000 L/s es el caudal mínimo y 0.149 L/s el caudal máximo registrado en el tiempo experimentado.

Dentro de los parámetros fisicoquímicos el agua residual comercial de la cafetería presenta como promedio, 94 mg/L de grasas y aceites, 1103 mg/L de DBO_5 , 2109 mg/L de DQO, 276 mg/L de sólidos suspendidos y 0.45 cm^3/L de sólidos sedimentables.

Según la modelación en SPSS, existe una relación del 55% de R^2 entre la eficiencia de la trampa de grasas con el caudal que se introduce y con el volumen de la trampa. Donde el volumen de sólidos sedimentados muestra un 0.996 en la relación de Pearson, demostrando que los sólidos sedimentados acumulados dentro de la trampa de grasas, no tomados en cuenta en la teoría de diseño, afectan la eficiencia del pretratamiento, reduciendo su capacidad, así como lo hacen las grasas y aceites acumulados que muestran un 0.952 en la relación de Pearson, con el paso de los días de operación.

Por lo tanto para mantener una eficiencia de al menos un 80% en los días de operación deseado, en el diseño de las trampas de grasas se deben tomar en cuenta la suma de tres volúmenes, los cuales incluyen el volumen mínimo para un tiempo de retención hidráulico según el caudal máximo a tratar, el volumen diario de las grasas y aceites acumulados y el volumen diario de los sólidos sedimentados acumulados, como se indica en las ecuaciones 7, 8, 9 y 10.

Agradecimientos

A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y al Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria

“Doctora Alba Estela Tabarini Molina” de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos ERIS”, que hicieron posible la elaboración de esta investigación.

Referencias

- Chinchilla Paniagua, Martín. Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales. 2015.
- Czysz W., Schneider W., Denne A., Staudte E. Manual de disposición de aguas residuales. GTZ. CEPIS, OPS, y OMS. Lima Perú. 1991.
- Metcalf & Eddy, Ingeniería de aguas residuales, redes de alcantarillado y bombeo, segunda edición revisada, McGraw-Hill, España, 1995.
- Moore, D. Estadística aplicada básica. Antoni Bosch, Barcelona, España, 2000.
- Pardo, A. & Ruiz, M.A. SPSS 11 Guía para el análisis de datos. McGraw-Hill, España, 2002.
- Romero Rojas, Jairo A. Tratamiento de Aguas Residuales, Escuela Colombiana de Ingeniería, Colombia, 1999.

Información del autor

Ingeniero Civil, graduado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Latina de Costa Rica, 2007.

MAP, grado maestría en Universidad para la Cooperación Internacional, Costa Rica, 2011.

M.Sc. en Ingeniería Sanitaria de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, ERIS de la Universidad de San Carlos de Guatemala.