

ESTUDIO DEL USO DE REACTORES DE CARGA  
EN EL TRATAMIENTO DEL EFLUENTE  
DE UNA INDUSTRIA QUIMICA

M. Herrera y T. Parroulo  
División de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Universidad del Zulia

RESUMEN

Este trabajo está destinado a evaluar el uso de reactores de carga en el tratamiento de las aguas residuales generadas por una industria química dedicada a la producción de poliésteres para poliuretanos y algunos productos utilizados en la fabricación de detergentes iónicos, no iónicos y tensoactivos.

En los años 1984 y 1985 fueron realizados estudios tendientes el primero a evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico de efluentes ubicada en la empresa, la cual opera bajo régimen de flujo continuo; de este estudio se pudo concluir que la misma opera inadecuadamente. El segundo trabajo, analiza la tratabilidad del efluente por medio del proceso lodos activados carbón activado granular, concluyendo con resultados satisfactorios.

La evaluación se enmarcó dentro de los siguientes parámetros: Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Volátiles en el sobrenadante, pH y Temperatura; determinados éstos, de acuerdo a los procedimientos establecidos en el Standard Methods, para las siguientes condiciones de operación: a) A diferentes concentraciones de agua residual agregada, para determinar el nivel de toxicidad del agua sobre la masa biológica; b) A diferentes concentraciones de nutrientes añadidos, para observar la incidencia de los mismos sobre la eficiencia del tratamiento; y c) Operación en serie de los reactores y extendiendo el período de retención hidráulica.

Del análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir que en el tratamiento de este tipo de efluentes, el uso de reactores de carga resultaría de mayor conveniencia que el sistema de flujo continuo, al registrarse incrementos de 33% en cuanto a remoción de DQO y 51,45% para  $BOD_{5,20}$ .

ABSTRACT

This work was set up to evaluate the use of batch reactors in the treatment of waste water generated by a chemical plant. This plant is involved in the production of polyesters for making polyurethanes, and of certain products used in making ionic, non ionic and tensoactive detergents.

Two studies were carried out between 1984 and 1985, the first evaluated the working of a biological treatment plant for effluents located in the company that operated under continuous flow condition. This plant was found to be functioning efficiently. The second study analysed the use of an activated sludge and activated granular carbon for treating the effluents. The second study also give good results.

The parameters considered in these studies were: Chemical Oxygen Demand (COD), Biochemical Oxygen Demand (BOD), Total Suspended Solids in the effluent, pH and Temperature. These parameters were determined by the established procedures given in the Standard Methods under the following operating condition of the reactor: a) Different concentrations of wastewater aggregated, in order to determine the toxicity level of the water over the biological mass, b) Different concentrations of added nutrients, to observe the effect of nutrients on the efficiency of the treatment, and c) Series operation fo the reactors and extending the hydraulic retention time.

The results of these studies showed that batch reactor are better than continuous flow reactors for treating this type of effluents, since in the former decreases of up to 33% of COD and 51,45% of  $BOD_{5,20}$  were registresed.

INTRODUCCION

Día a día, durante los últimos años, el Lago de Maracaibo ha venido recibiendo las descargas no sólo de las aguas residuales urbanas y domésticas, sino también, las de una gran cantidad de Industrias ubicadas en sus riberas. Estas descargas han competido con la capacidad autopurificadora del cuerpo receptor originando un deterioro cada vez más notorio de uno de los reservorios de agua de mayor importancia para el desarrollo económico de la región y por ende, del país.

Este trabajo está destinado a evaluar el uso de los reactores de carga, como mecanismo para el tratamiento de los efluentes provenientes de una industria química dedicada a la producción de poliésteres para poliuretanos y algunos productos usados en la fabricación de detergentes iónicos, no

iónicos y tensoactivos, por síntesis a partir de óxidos orgánicos, en especial el óxido de propileno.

El proceso de lodos activados fue desarrollado como un sistema por carga en los comienzos del 1900, pero pronto la configuración fue cambiada a flujo continuo. La falta de un sistema de control efectivo, más que las deficiencias relacionadas con el proceso limitaron su uso. Sin embargo, los problemas inicialmente referidos a los reactores por carga, tales como: control mecánico, descarga del efluente del tanque, turbidez, etc., han sido solventados tal como se observa en trabajos presentados por Irvine y Asociados en la Universidad de Notre Dame (1973, 1974, 1978, 1979), y Goronzy y Asociados en New South Wales (1979).

Así, el proceso de lodos activados por carga se presenta como una opción para el tratamiento que ofrece economía substancial en los costos de operación, debidos a una disminución en los requerimientos de oxígeno, igualación en el flujo de entrada y excelente control de organismos filamentosos.

La industria seleccionada cuenta entre sus instalaciones, con una planta para tratar los residuos líquidos que ella genera, del tipo de lodos activados con flujo continuo. En los años 1984 y 1985 fueron realizados estudios tendientes el primero, a evaluar el funcionamiento de la planta de tratamiento de efluentes instalada en la industria, concluyendo que la misma funciona inadecuadamente al registrarse en la descarga valores por sobre los exigidos por las normas venezolanas para los parámetros seleccionados. El segundo estudio analiza con cierto detalle, la tratabilidad de los residuos líquidos por medio del proceso lodos activados-carbón activado granular, desprendiéndose de él valores experimentales de remoción de DQO del 93% y disminuciones significativas de los sólidos suspendidos volátiles, a costa de un incremento en los costos de tratamiento.

El trabajo estuvo encaminado a determinar:

1. Si la masa biológica contenida en el reactor de carga experimental previamente aclimatada, era capaz de tratar el agua residual tal cual viene, de la laguna de igualación instalada en el sistema de tratamiento de la empresa o sería requerida una dilución de la misma antes de su incorporación al reactor.
2. Observar la influencia de concentraciones por encima y por debajo de la requerida, para satisfacer las necesidades de nutrientes en el agua residual y en consecuencia en la masa biológica contenida en los reactores de carga, en cuanto a remoción de sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno se refiere.
3. Verificar la eficiencia de remoción de DQO,  $DBO_5$  20 y sólidos de los reactores de carga cuando son operados en serie y cuando se extiende el período de aireación de 24, hasta 36 y 48 horas.

Los resultados obtenidos experimentalmente, permiten concluir que el sistema de lodos activados utilizando reactores de carga resultan de mayor eficiencia en comparación con el sistema de lodos activados con flujo continuo, al exhibir un incremento en los porcentajes de remoción de DQO,  $DBO_5$  20 y sólidos al evaluar la planta de tratamiento ubicada en la empresa en el año 1984.

## II. METODOLOGIA. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

El objetivo principal del estudio consistió en evaluar el uso de los reactores de carga en el tratamiento de los efluentes de una industria química dedicada a la producción de poliésteres para poliuretanos y otros productos usados en la fabricación de detergentes iónicos, no iónicos y tensoactivos.

Para cumplir con el objetivo general planteado, el programa de trabajo establecido fue el siguiente:

1. Caracterización del agua residual a tratar.
2. Selección de los reactores experimentales y proceso de aclimatación del lodo.
3. Evaluación del reactor de carga bajo diversas condiciones de operación, entre las que cabe mencionar: a) Diferentes concentraciones del agua residual para determinar el nivel de toxicidad del efluente proveniente de la laguna de igualación, instalada en el sistema de tratamiento de la empresa, sobre la masa biológica; b) Concentraciones de nutrientes por encima y por debajo de la estimada como óptima, para verificar su incidencia en el tratamiento y c) Reactores de carga operando en serie y bajo diferentes períodos de retención hidráulica.

Como parámetros utilizados en la evaluación se seleccionaron: el pH, temperatura, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno (5,20) y sólidos suspendidos, tanto totales como volátiles, medidos en el licor mezcla y en el sobrenadante; asimismo, se determinó también el índice volumétrico de lodo. En el análisis de los parámetros antes referidos se utilizó la metodología de ensayo descrita en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

### 2.1. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

Como ya se indicó, el agua residual objeto del estudio, proviene de una industria dedicada a la producción de poliésteres para poliuretanos, así como también, detergentes iónicos, no iónicos y tensoactivos entre otros. En estudios anteriores (1984 y 1985), se realizaron caracterizaciones de las aguas residuales en diversos puntos de la planta, para establecer la composición del líquido resi-

dual y observar los valores pico presentados para cada parámetro en estudio.

Sin embargo, en este trabajo solo se verificaron las características del agua residual en el punto de entrada al reactor biológico, es decir, el residuo proveniente de la laguna de igualación. La tabla 2.1, muestra los valores promedios obtenidos durante el lapso de muestreo.

PARAMETRO	MUESTRA Nº 1	MUESTRA Nº 2	MUESTRA Nº 3	PROMEDIO
Temperatura (°C)	25.48	25.70	26.89	25.38
pH	7.50	7.80	8.10	7.80
Sólidos Totales (mg/lit)	16.00	209.00	186.00	147.33
Sólidos Volátiles (mg/lit)	4.00	119.00	88.00	41.00
ODG (mg/lit)	3324.00	2882.00	2810.00	2979.00
NO <sub>3</sub> -N (mg/lit)	300.00	150.00	580.00	346.67
Nitrógeno Total (mg/lit)	5.798	4.322	5.358	5.157
Fósforo Total (mg/lit)	2.10	2.41	2.99	2.870

TABLA Nº 2.1 CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN ESTUDIOS MUESTRAS TOMADAS EN LA LAGUNA DE IGUALACIÓN

## 2.2. SELECCION DE LOS REACTORES Y PROCESOS DE ACLIMATACION DEL LODO:

Para llevar a cabo el estudio se utilizó una batería de cuatro reactores cilíndricos, construidos con plexiglass, constando cada uno de ellos de una única cámara donde se verifica, tanto el mezclado como la sedimentación del sobrenadante.

El aire se suministró mecánicamente a través de difusores ubicados en el fondo de cada reactor, para garantizar una mezcla completa entre el efluente crudo y la masa biológica, así como también, el adecuado nivel de oxígeno en el reactor que garantice un proceso completamente aeróbico.

La aclimatación de los microorganismos se logró tratando de adaptar paulatinamente la masa biológica originalmente inoculada a un reactor hasta el punto que ésta fuese capaz de soportar las condiciones de operación del sistema. Inicialmente se agregó a uno de los reactores, aproximadamente, un litro de lodo proveniente de la recirculación del reactor biológico ubicado en la planta, dos litros de agua residual tomada de la descarga del tanque de igualación al reactor biológico, un litro de muestra de agua del Lago captada en el punto de

drenaje del canal en la ribera, y se completó hasta el volumen de operación con agua de chorro. Posteriormente se aireó la mezcla en el reactor por espacio de 22,5 horas, para luego suprimir el suministro de aire, de manera de permitir la separación del lodo y el sobrenadante por sedimentación, llevada a cabo en aproximadamente 1 hora. Al final de la operación fue posible extraer un cierto volumen de sobrenadante, variable a lo largo del proceso, el cual era repuesto con muestra de agua residual y agua del Lago para iniciar un nuevo ciclo.

La idea de introducir agua del Lago al reactor se hizo con un doble propósito: 1) porque en ella pudiesen existir especies biológicas ya adaptadas y 2) porque el agua del Lago pudiese satisfacer las necesidades de algunos nutrientes, cuyo déficit o carencia son notorias tal y como se observa en la caracterización realizada. Sin embargo, dada la alta concentración de cloruros registrada en el agua del Lago, hubo de suprimirse su adición pues se observó una inhibición de la actividad biológica; entonces para garantizar la presencia de elementos esenciales como Nitrógeno, Fósforo y otros micronutrientes, se agregó a la muestra de agua residual a tratar, concentraciones estimadas de estos elementos, calculadas en base a las necesidades reportadas en las tablas 2.2 y 2.3.

CARACTERÍSTICAS DE AGUAS RESIDUALES

ANÁLISIS DE MICRO-NUTRIENTES

METAL	FECHA DE MUESTREO					PROMEDIO
	11-09	13-09	16-09	20-09	18-10	
	CONCENTRACION EN ppm.					
Ba	-	-	85.00	48.8	43.8	45.9
B	122	20.8	29.00	12.5	18.0	65.8
Ca	39	34.4	29.00	29.5	29.0	33.4
Mg	18	15.2	8.1	5.0	11.2	10.2
Fe	80	80	80	80	80	80
Mn	80	80	80	80	80	80
Al	80	80	80	80	80	80
Zn	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Cr	80	80	80	-	-	80
Cu	80	80	0.1	-	-	0.1

NOTA: LA DETERMINACION DE HIERRO POR EL METODO DE ABSORCION ATOMICA EXCEPTO EN EL MES DE ABRIL DEL 20-09 SE HIZO POR METODOS QUIMICOS (METODO CATAL. A PARTIR DE ESTE MES) Y EL Fe SE HIZO TAMBIEN POR METODOS QUIMICOS (METODOS CATALIZADO Y ACIDO ESTERICO)

NIVELES MÍNIMOS DE LOS METALES PARA ABSECCION ATOMICA  
 CATOD: Ba - 0 - B - Ca - 0 - Mg - 0 - Fe - 0.1 - Al - 24 - Cr - 0 - Cu  
 ppm: 0.5 - 0.5 - 1 - 1 - 2.5 - 1.0 - 50 - 0.1 - 1 - 0.5

80= NO DETERMINADO

Todo el proceso de aclimatación se completó en aproximadamente 45 días, siendo requerido un nuevo período de ajuste, cada vez que fue variada alguna condición durante el desarrollo del estudio.

CALCULO DE NECESIDADES TEORICAS DE MICRONUTRIENTES

ELEMENTO	REQUERIMIENTO mg/kg DBO	CONCENTRACION mg/l	PROMEDIO Observado (mg/lit)	MINIMO Observado (mg/lit)	DEFICIT DE RELACION % SINGLES
Mn	$10 \times 10^{-5}$	0.150	80	80	6.13
Cu	$14.6 \times 10^{-5}$	0.229	9.1	5.00	0.22
Sn	$15 \times 10^{-5}$	0.240	8.15	6.15	0.59
Mo	$43 \times 10^{-5}$	0.645	-	-	Desconocido
Se	$14 \times 10^{-10}$	$2.1 \times 10^{-6}$	-	-	Desconocido
Co	$17 \times 10^{-5}$	0.195	-	-	Desconocido
Ni	$30 \times 10^{-4}$	4.500	10.2	5.10	-
Ca	$62 \times 10^{-4}$	9.200	35.8	26.8	-
Ba	$5 \times 10^{-5}$	0.075	45.9	42.8	-
K	$85 \times 10^{-4}$	8.750	40.4	12.5	-
Pb	$12 \times 10^{-3}$	18.000	80	80	18.9

TABLA No. 2.3  
EL DATO SOBRE REQUERIMIENTO DE mg/kg DBO ES TOMADO DE GORPELINA Y EL REQUERIMIENTO DE mg/l ES DETERMINADO EN BASE A NIVEL Y AJUSTADO EN LOS PROMEDIOS DE 3000 mg/l y 1000 mg de DBO mg/l.

### 2.3. EVALUACION DE LOS REACTORES . BAJO DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACION

#### 2.3.1. Variación de la concentración del agua residual agregada al reactor.

Para determinar hasta qué punto la muestra de agua residual captada en el tanque de igualación de la industria, era tóxica a los microorganismos, se decidió variar la concentración de ésta en cada reactor, reponiendo el sobrenadante extraído cada día, con igual cantidad de agua residual a la que se le adicionó una solución conteniendo los requerimientos de nutrientes establecidos.

Esta evaluación se realizó en forma gradual, es decir, desde valores pequeños de concentración del agua residual, hasta alcanzar un 100%, manteniéndose en este punto el registro de datos por espacio de una semana.

#### 2.3.2. Variación de la concentración de nutrientes agregados.

Una vez determinado que la masa biológica estaba en capacidad de tratar el agua residual sin dilución, se varió la concentración de nutrientes agregados, para observar el efecto que sobre los porcentajes de remoción de DQO y DBO<sub>5,20</sub>, y producción de lodos, pudiesen ejercer concentraciones superiores e inferiores a la teórica calculada.

Se tomó un reactor como piloto, añadiéndole la concentración teórica requerida de nutrientes, otro al que se le adicionó una concentración por encima de ésta y dos con valores inferiores al valor de referencia.

#### 2.3.3. Operación de reactores en serie y variación del tiempo de retención hidráulico.

Esta parte del estudio se realizó para observar como varían las condiciones de salida, si se ponen a trabajar los reactores en serie y al aumen-

tar el tiempo de retención hidráulica o tiempo de aireación en los reactores. No se asumieron valores inferiores a 24 horas de aireación, porque los porcentajes de remoción obtenidos hasta el momento bajo esas condiciones, no superaban el mínimo exigido por las normas vigentes. Dos de los reactores fueron operados en serie y los otros dos vieron extendidos sus períodos de aireación, uno a 36 horas y el otro a 48 horas, para luego completarse el ciclo, con la decantación y posterior extracción del sobrenadante.

Durante todo el período de ensayo, los reactores funcionaron bajo condición de aireación extendida.

### III. ANALISIS DE LOS RESULTADOS. COMPARACION CON EXPERIENCIAS ANTERIORES.

El análisis de los resultados está referido a cada una de las condiciones de operación antes descritas:

3.1. Reactores operando a diversas concentraciones de agua residual: bajo esta condición se pudo notar que los mayores porcentajes de remoción para DQO soluble y DBO<sub>5,20</sub> se verificaron en el reactor 2 (agua residual pura) con valores de 49,21 y 87,33% respectivamente. Los mínimos se detectaron en el reactor 1 (agua residual diluida en un 50%) con valores de 20,15% para DQO y 81,13% para DBO<sub>5,20</sub>. En cuanto a los sólidos suspendidos en el sobrenadante, fue en el reactor 3 (agua residual concentrada en un 75%) donde se registró la mayor y menor concentración respecto a los totales, y para los volátiles, la máxima concentración se dio en el reactor 4 (agua residual concentrada en un 62,5%), mientras la mínima se observó en el reactor 1; la Fig. 2.1 ilustra lo expuesto y en la tabla No. 3.1 se resumen los valores máximos, mínimos y promedio para DQO, DBO<sub>5,20</sub> y sólidos suspendidos obtenidos bajo esta condición.

3.2. Variación de la concentración de nutrientes agregada: en este caso, la mayor remoción de DQO soluble se observó en el reactor 1 (cantidad de solución nutriente agregada 7,5 ml/lit) con un 69,75%, y el mínimo en el reactor 2 (5,5 ml/lit) estando en el orden del 42,96%. Para la DBO<sub>5,20</sub> no parece haber variaciones significativas al variar la concentración de nutrientes agregada, tal como puede observarse en la tabla No. 3.2. En cuanto a los sólidos suspendidos en el sobrenadante, tanto totales como volátiles, el máximo se registró en el reactor 1 con valores de 288 y 372 mg/lit respectivamente, y el mínimo se dio en el reactor 2, con resultados de 208 mg/lit para totales y 178 mg/lit para los sólidos suspendidos volátiles en el sobrenadante (Véase la Fig. No. 2.2). La tabla No. 3.2, muestra los valores máximos, mínimos y promedio de DQO, DBO<sub>5,20</sub> y sólidos suspendidos bajo esta condición.

VARIACION DE LA DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DURANTE EL TIEMPO DE ENSAYO AL VARIAR LA CONCENTRACION DEL AGUA RESIDUAL AGREGADA A CADA REACTOR

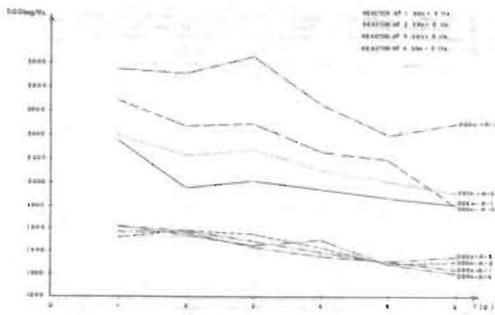


FIG. Nº 2.1

VARIACION DE LA DQO DURANTE EL PERIODO DE ENSAYO AL VARIAR LA CANTIDAD DE SOLUCION NUTRIENTE AGREGADA

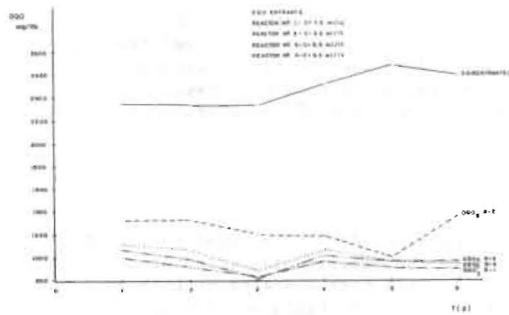


FIG. Nº 2.2

Nº	REACTOR	CONCENTRACION (mg/l)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN SOBRENADANTE			SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN SOBRENADANTE			SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LÍQUIDO			SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN LÍQUIDO			REMOCIÓN %			
			MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.				
01	1	1.00	774	598	582	4505	3430	4123	2530	2012	2290	98	88	88	84	74	243.38	
02	1	1.50	1320	209	7020	1540	4415	2880	1940	498	312	90	102	110	88	94	282	
03	1	2.00	880	484	880	4800	1230	3881	2730	1840	173	124	78	91	96	78	89	87.338
04	1	3.00	709	610	704	3880	4360	4178	3320	1970	2353	380	82	113	102	78	88	252
05	1	3.00																849

VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y PROMEDIOS PARA DQO, SÓLIDOS Y DBO<sub>5,20</sub> OBTENIDOS EN LOS REACTORES AL VARIAR LA CONCENTRACION DEL AGUA RESIDUAL

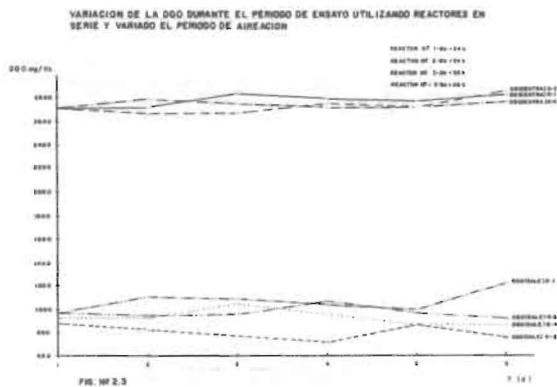
Nº	REACTOR	CONCENTRACION (mg/l)	SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN SOBRENADANTE			SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN SOBRENADANTE			SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LÍQUIDO			SÓLIDOS SUSPENDIDOS VOLÁTILES EN LÍQUIDO			REMOCIÓN %			
			MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.				
01	1	0.10	3764	1350	1544	7260	2780	3407	4400	2840	2287	388	250	317	372	130	301	113
02	1	0.20	1070	1004	1215	6140	9020	4503	3830	2800	2847	746	200	223	242	178	213	102
03	1	0.30	2514	1284	1498	4360	4780	5490	4080	2960	3440	324	234	277	308	120	263	114
04	1	0.40	2715	1235	1460	6940	9780	5147	4140	2420	2310	316	238	265	284	216	249	102
05	1	0.40																89.474

VALORES MÁXIMOS, MÍNIMOS Y PROMEDIOS PARA DQO, SÓLIDOS Y DBO<sub>5,20</sub> OBTENIDOS EN LOS REACTORES AL VARIAR LA CANTIDAD DE NUTRIENTES AGREGADA

3.3. Reactores en serie y variación del tiempo de retención hidráulico: los reactores operados en serie exhiben los mayores porcentajes de remoción de DQO soluble, respecto a cuando se varió el período de retención hidráulico; mientras que para la DBO<sub>5,20</sub> extender el período de retención hasta 48 horas produce mejoras sustanciales en relación a la remoción de este parámetro. De igual forma, para los sólidos suspendidos en el sobrenadante, tanto totales como volátiles, los reactores de carga operados en serie produjeron las mayores concentraciones con valores de 282 y 266 mg/l respectivamente, mientras que las mínimas se dieron al extender el

período de aireación hasta 48 horas aproximadamente, con valores de 72 y 62 mg/l para sólidos suspendidos totales y volátiles respectivamente. Lo antes citado puede visualizarse en la Fig. 2.3 y en la tabla No. 3.3, se muestran los valores máximos, mínimos y promedio para DQO, DBO<sub>5,20</sub> y sólidos suspendidos bajo esta condición de operación.

La tabla No. 3.4, muestra los valores promedio de porcentaje de remoción para DQO y DBO<sub>5,20</sub> bajo las diferentes condiciones de operación, pudiendo inferirse que para el caso de la DQO, las condiciones ideales se tendrán cuando a la muestra de agua residual pura, se le agrega una cantidad de solu-



N O C I O	SEMENA QUINCE DE DISEÑOS MEXICAL EN SOBRESUMANTE SIN NUTRIENTE			VOL. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LÍQUIDO MEZCLA (SPT/L)			VOL. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN LÍQUIDO MEZCLA (SPT/L)			VOL. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN SOBRESUMANTE (SPT/L)			VOL. SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES EN SOBRESUMANTE (SPT/L)			DQO PROMEDIO
	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	MAX.	MIN.	PROM.	
	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	g/l	
01	1743	1592	1702	7400	6240	6870	3060	4300	4780	278	174	251	256	148	230	335
02	2078	1831	1974	8100	4820	6487	5480	348	4297	282	256	209	264	132	174	366
03	1896	1886	1795	10690	4840	7437	4680	2100	4913	228	102	144	202	92	130	343
04	1812	1704	1812	9700	5780	8587	4300	4130	5000	150	72	109	144	62	101	365
																35.788

VALORES MEDIOS, MÍNIMOS Y MÁXIMOS PARA DQO, SÓLIDOS Y DBO<sub>5,20</sub> OBTENIDOS EN LOS REACTORES TRABAJADOS EN SERIE Y VARIANDO EL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO (24h)

TABLA Nº 3.3

ción nutriente de 7.5 ml/lit y se opera el reactor en serie; mientras que para la DBO<sub>5,20</sub> resulta conveniente incrementar la cantidad de solución nutriente y el tiempo de retención hidráulico a 48 horas.

TIPO DE OPERACION	PORCENTAJE DE REMOCION PROMEDIO DE:			
	DQO	DBO <sub>5,20</sub>		
VARIACION DE LA CONCENTRACION DE AGUA RESIDUAL AÑADIDA	VOLUMEN DE AGUA RESIDUAL AÑADIDA DIARIAMENTE (lit)	1	22.20	-
		3	41.75	-
		4	29.09	81.13
		5	32.68	84.00
		6	36.58	83.33
		8	47.03	87.33
VARIACION DE LA CANTIDAD DE NUTRIENTES ADICIONALES	VOLUMEN DE SOLUCION CON NUTRIENTE AÑADIDA (ml/lit)	5.50	48.93	68.00
		6.50	58.90	68.67
		7.50	62.40	74.00
		8.50	60.53	76.00
REACTOR EN SERIE Y VARIACION DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA (h)	24	61.35	90.00
		36	64.30	92.03
		48	66.05	95.76
		SERIE	71.13	70.67

VALORES DE % DE REMOCION PROMEDIO DE DQO Y DBO<sub>5,20</sub> BAJO LAS DIFERENTES CONDICIONES DE OPERACION DE LOS REACTORES

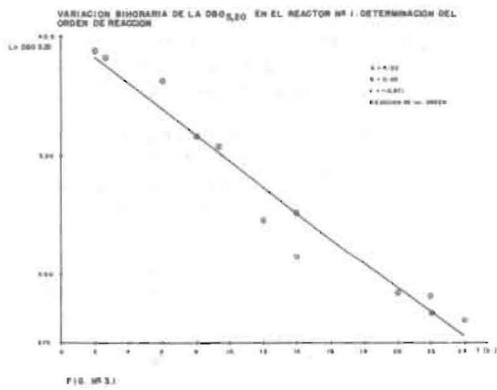
TABLA Nº 3.4

El valor de la constante cinética K igual a 0,2855 obtenido a partir de los valores de DBO<sub>5,20</sub> horaria, indica que los microorganismos están en capacidad de consumir un poco más, de la cuarta parte de su peso por día como máximo (tabla No. 3.5 y figura 3.1).

3.4. Comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con experiencias anteriores y con las normas vigentes para descarga al Lago de desechos industriales: en la tabla No. 3.6 se muestra una síntesis de los resultados obtenidos en estudios anteriores, así como los de este trabajo, tomando como referencia los valores en el afluente, efluente y los porcentajes de remoción correspondientes para la DQO y DBO<sub>5,20</sub> y sólidos suspendidos totales.

En ella se puede notar que el sistema de tratamiento usando reactores de carga, mejora la remoción de la DQO en un 33% respecto al sistema de flujo continuo, en un 51,45% para la DBO<sub>5,20</sub> y en un 16.29% para el caso de los sólidos suspendidos totales.

Sin embargo, si se comparan los valores obtenidos en este estudio para DQO, DBO<sub>5,20</sub> y sólidos suspendidos totales, con los establecidos en las vigentes normas para descarga al Lago de desechos industriales, se observa que aún los incrementos no logran cumplir los requerimientos, salvo el caso de la DBO<sub>5,20</sub>.



DBO AR = 150 mg/l/h  
DBO AR = 2818 mg/l/h

TIEMPO (hora)	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO (mg/l/h)	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO (mg/l/h)	TIEMPO (hora)	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO (mg/l/h)	DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO DQO (mg/l/h)
2	30	2294	14	22,50	1234
4	30	1928	16	17,50	1224
6	30	1768	18	-	1272
8	32	1414	20	17	1288
10	34	1488	22	18	1254
12	26	1414	24	15	1224

TABLA Nº 3.5 VARIACION HORARIA DE LA DBO<sub>5,20</sub> Y DQO MUESTRA TOMADA DEL REACTOR Nº 1 TRABAJANDO A MENOR CONCENTRACION DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS Y CANTIDAD DE SOBRESISTE AQUE. CARGA DE 3.3 m<sup>3</sup>/h.

Tabla 3,6

Valores de Entrada:

Parámetro	Estudio 1984 (Evaluación de la Planta)	Estudio 1985 (Sistema lodos Activados-Carbón activado granular)	Estudio 1987 (Reactores de Carga)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	3890 mg/lit	1752,40 mg/lit	2776 mg/lit
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) <sub>5,20</sub>	645,4 mg/lit	no estudiado	590 mg/lit
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	265,20 mg/lit		147,33 mg/lit

Valores de Salida:

Parámetro	Estudio 1984	Estudio 1985	Estudio 1987
DQO	2494 mg/lit	122,6	864 mg/lit
DBO <sub>5,20</sub>	359,4 mg/lit	no estudiado	25 mg/lit
Sólidos Suspendidos Totales	194,4 mg/lit		84 mg/lit

Valores de remoción y porcentajes correspondientes:

Parámetro	Estudio 1984	Estudio 1985	Estudio 1987
DQO (mg/lit)	1396 (35,89%)	1629,8 (93%)	1912 (68,89%)
DBO <sub>5,20</sub> (mg/lit)	286 (44,31%)	-	565 (95,76%)
Sólidos Suspendidos Totales	70,8 (26,7%)	-	63,33 (42,99%)

#### CONCLUSIONES

Basándonos en los resultados obtenidos durante del período de ensayos, así como también de lo referente al análisis de resultados, se pueden emitir las siguientes conclusiones:

- 1.- Es necesario un buen proceso de aclimatación, que permita el desarrollo de las especies biológicas capaces de degradar este tipo de agua residual.
- 2.- Dado el déficit de nutrientes esenciales en el agua residual como nitrógeno y fósforo, asimismo, de hierro y trazas de micronutrientes, se hace necesario la adición de los mismos en las proporciones adecuadas, de manera que se provean las condiciones mínimas necesarias para el desarrollo del lodo biológico, en vista de que el pH y la temperatura en este caso se encuentran dentro de los rangos apropiados.
- 3.- Del estudio del uso de los reactores por carga, variando la concentración del agua residual añadida a los reactores para su tratamiento, se observó que ésta tal como sale de la laguna de igualación, no resulta tóxica a la masa biológica, por cuanto el mayor porcentaje de remoción de DQO se correspondió en aquel reactor al cual le fue añadida el agua residual pura.
- 4.- Comparando los resultados obtenidos utilizando reactores en serie y extendiendo el período de aireación hasta 48 horas con las normas para descarga de efluentes industriales directamente al Lago, se puede observar que resulta más conveniente aumentar el tiempo de aireación en comparación a los reactores en serie, aún cuando los efluentes de los primeros no concuerdan completamente con los requisitos de descarga en particular para DQO, la cual está en 6,31% por debajo del mínimo requerido de remoción y los sólidos suspendidos totales con una diferencia de 42.01% para alcanzar los requerimientos.
- 5.- Comparando los resultados obtenidos en el uso del sistema de lodos activados en reactores por carga, con los obtenidos en la evaluación de la planta, la cual opera bajo la modalidad de lodos activados con flujo continuo, se puede notar que el uso de los reactores por carga introducen un incremento en la eficiencia de remoción de DQO del 33.00%, para la DBO<sub>5,20</sub> de 51.45% y para sólidos suspendidos totales de 16,29%.
- 6.- La evaluación de los reactores de carga para el tratamiento de las aguas de desecho de esta industria en relación al sistema de lodos activados - carbón activado granular, solo puede hacerse a partir de la DQO, valor para el cual se tiene referencia. Pudo notarse que el sistema por carga exhibe valores de remoción por debajo de los obtenidos usando carbón activado granular, en el orden del 29,31%.

#### BIBLIOGRAFIA

- 1) BENEFIEL, LARRY; RANDALL, CLIFFORD: "Biological Process Design for Wastewater Treatment" Granville H. Sewell editor USA, 1980.
- 2) BOLOGNA, PABLO; GONZALEZ, JOSEFA; MARMOL ANA: "Evaluación de la planta de tratamiento de una Industria Química". Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería, LUZ, 1984.
- 3) ECKENFELDER, WESLEY Jr.: "Principles of water quality management". Boston Massachusetts, 1980.
- 4) ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY USA: "Sequencing batch reactors". Septiembre de 1983.
- 5) FAIR, GEYER y OKUN: "Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales". México, 1981.
- 6) GUTIERREZ, ALEXIS: "Estudio de tratabilidad de efluentes polietéres y otras sustancias producidas por una Industria Química". Tesis para optar al título de Magister. División de Postgrado. Facultad de Ingeniería, LUZ, 1985.
- 7) METCALF EDDY: "Tratamiento y Depuración de las Aguas Residuales". Edit. McGraw-Hill, 1977.
- 8) OROZCO, ALVARO; SALAZAR, ALVARO: "Tratamiento biológico de las aguas residuales". Universidad de Antioquia. Colombia.
- 9) PERRUOLO G., TOMAS: "Sequencing batch reactor analysis". USA, Junio, 1985.
- 10) RAMALHO, R.S.: "Introduction to waste water treatment processes" Laval University, Quebec-Canadá, 1982.
- 11) ROJAS, ADALIS; ROMERO, ZAIDA; SEMPRUN, MARIA: "Determinación de las constantes cinéticas para el diseño de tratamientos biológicos de un efluente lácteo". Trabajo Especial de Grado. Facultad de Ingeniería, LUZ, 1983.
- 12) SCHROEDER, EDWARD: "Design of sequencing batch reactor activated sludge processes". USA, 1982.
- 13) SILVERSTEIN, JOANN; SCHROEDER, EDWARD: "Control of activated sludge settling in an SBR". Resumen del papel presentado en la Conferencia sobre Ingeniería Ambiental. Colorado-USA. Julio, 1983.
- 14) STANDARD METHODS FOR THE EXMINATION OF WATER AND WASTEWATER. 14th edition. American Public Health Association. New York, 1971.
- 15) TCHOBANOGLIOUS, GEORFE; SCHROEDER, EDWARD: "Water quality", University of California at Davis, USA.

16) UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA, FACULTAD DE INGENIERIA: "Tratamiento de aguas residuales domésticas". Curso de Extensión. Caracas, Venezuela, 1983.

17) WELCH, E.B.: "Ecological effects of wastewater". Cambridge, University USA, 1980.

Recibido el 21 de Octubre de 1987

En forma revisada el 8 de Septiembre de 1989