

# DISEÑO DE UNA HERRAMIENTA MATEMÁTICA PARA EVALUAR LA CARGA CONTAMINANTE GENERADA POR LOS VERTIMIENTOS LÍQUIDOS DE UNA EMPRESA DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS

---

**HUMBERTO ESCALANTE HERNÁNDEZ**

*Profesor Titular*

*Escuela de Ingeniería Química*

*GIMBA (Grupo de Investigaciones en Minerales Biohidrometalurgia y Ambiente)*

*Universidad Industrial de Santander*

*escala@uis.edu.co*

**JOHN EDWAR ARIAS**

*Ingeniero Químico*

*Universidad Industrial de Santander*

*Meiq1@hotmail.com*

**MANUEL ROMERO**

*Ingeniero Químico*

*Universidad Industrial de Santander*

**ANDRÉS GUERRERO**

*Ingeniero Químico*

*Universidad Industrial de Santander*

*Fecha Recepción: 3 de octubre de 2006*

*Fecha Aceptación: 21 de noviembre de 2006*

## RESUMEN

Las aguas residuales procedentes de los procesos de recubrimiento metálico, de una empresa de herrajes del sector galvanotécnico en Bucaramanga, fueron objeto de evaluación, a fin de conocer el impacto ambiental que pueden llegar a generar. El monitoreo se realizó durante un periodo de 2 meses y se recolectaron muestras de los vertimientos líquidos generados por los procesos de recubrimiento; Cobrizado, latonado, niquelado y dorado, a las que se les determinaron parámetros físicos y químicos relevantes para este tipo de procesos. Durante 2 meses se recolectaron muestras de los vertidos de los procesos de Cobrizado, Niquelado y Latonado, a los cuales se les determinaron los parámetros fisicoquímicos. Para evaluar el impacto ambiental que los efluentes de la empresa pueden ocasionar, se diseñó una herramienta llamada Índice de Carga Contaminante (I.C.C.) que permite evaluar de forma más confiable los parámetros de contaminación de este tipo de efluentes.

**PALABRAS CLAVE:** Recubrimiento Metálico, Aguas Residuales, vertimientos líquidos, Índice de Carga Contaminante, Legislación Ambiental.

## ABSTRACT

Waste waters of the electroplating industry process contaminated with high concentration of heavy metals, acidity, fatty contaminants, and total solids, are a focuses of contamination, when they are poured into urban sewer system. The primary aim of this work was to design a tool to evaluate the environmental impact that could generate metallic electroplating process effluent. This study was supported by a local electroplating company of Bucaramanga city (Santander-Colombia). Company was monitored for two months. The most important physical and chemical Parameters of the waste water were analyzed. The results indicate that parameters studied are above environmental normality limits.

ICC was designed with a function of: a) polluting effect of each variable in the effluent quality; this was quantified giving a certain weight or grade of importance to each parameter  $w_i$ , and b) Quality level of each variable «Q»; that it is quantifies starting from a Standard Scale of Qualification (EEC). The ICC calculated for the company effluent, allowed to qualify them with a denomination between Bad and unpleasant, indicating that they possess a high pollutant load and that they require to be treated before being poured.

**KEYWORDS:** metallic coat, waste water, liquid effluents, Pollutant load index, Environmental Legislation.

## INTRODUCCIÓN

El sector productivo de los recubrimientos electroquímicos genera efluentes con elevadas concentraciones de contaminantes metálicos, cianurados, sulfatados, etc., que en su mayoría sobrepasan la normatividad ambiental (1). Estas empresas, debido a la falta de implementación de tecnologías para el tratamiento o disposición de sus residuos líquidos, los vierten directamente al sistema de alcantarillado, ocasionando un problema ambiental.

La caracterización físico química de los efluentes procedentes de empresas que realizan procesos electroquímicos de cobrizado, niquelado, dorado, etc., reportan valores de pH, sólidos totales, grasas, y metales pesados a niveles que sobrepasan los límites permitidos por la normatividad ambiental(4). Por consiguiente los resultados de una caracterización fisicoquímica, por si solos no muestran el grado de contaminación que estos efluentes puede estar ocasionando. Por lo anterior es necesario diseñar y construir una herramienta, que permita correlacionar entre si las variables medidas, para predecir con un buen nivel de exactitud el grado de contaminación que puede llegar a ocasionar los vertimientos de las empresas del sector de los electrorrecubrimientos.

El objetivo principal de este trabajo de investigación fue evaluar la carga contaminante que ocasionan los vertimientos líquidos, de una empresa que realiza procesos de electrorrecubrimientos de piezas metálicas. Para cumplir con el propósito planteado se diseñó una herramienta que se denominó Índice de Carga Contaminante (I.C.C).

En este trabajo de investigación el diseño del Índice de Carga Contaminante (ICC) se realizó, tomando como base teórica trabajos similares para evaluar índices de calidad de aguas superficiales. Como empresa representativa del sector industrial de los electrorrecubrimientos, se seleccionó una empresa de Herrajes y Hebillas de la ciudad de Bucaramanga, que maneja un lote de 1.5 Ton/mes de piezas fundidas en aleación de ZAMANK (Zn, Al, Mg), sus líneas de producción corresponden al proceso de cobrizado, niquelado (Mate y Brillante), latonado y dorado. La empresa provee accesorios a la industria local y exporta parte de su producción a Venezuela, Ecuador, Perú y algunos países centroamericanos.

Los Indicadores Ambientales (IA) son medidas de factores físicos, químicos y biológicos, que mediante una escala cualitativa representan el nivel de la calidad de un efluente, con respecto a la normatividad, a la toxicidad, y a la amenaza ambiental que este implique. Los primeros intentos por estructurar una metodología unificada, para

evaluar el grado de contaminación generado por un vertimiento, fueron dados por Horton (1965) y Liebman (1969). Los IA pueden llegar a convertirse en instrumentos conjugados que permite identificar el deterioro o la mejora en la calidad de un cuerpo de agua (Vizcaino 1991), ya que agrupan los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado.

El número de parámetros considerados para el diseño de un IA es variable, así por ejemplo Pratti (1971) realizó un trabajo en el cual incluyó 13 parámetros, mientras que Dinius (1972) realizó un diseño teniendo en cuenta solo 11. El intento más reciente para el diseño del IA es el de Dinius (1987), quien propuso un modelo de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos para cada uno de los parámetros. Sin embargo, Ott (1978) indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación.

## METODOLOGÍA

El diseño y construcción del Índice de Carga Contaminante (ICC) conllevó las siguientes etapas: identificar dentro de la empresa los diferentes efluentes, definir los puntos de vertimiento importantes, realizar el muestreo y caracterización físico química de los efluentes, diseñar el modelo de ICC y aplicarlo a los datos de la empresa de herrajes seleccionada para el estudio.

Las muestras se recogieron en un periodo de tiempo de dos meses debido a que en la empresa el ciclo completo de operación, en el cual se realizan todos los procesos de electrorrecubrimiento y desengrasas, se lleva a cabo en un mes y pasado este tiempo los baños se agotan. Para cada punto de vertimiento se tomaron 8 muestras instantáneas de 300 ml cada una, recolectadas en frascos de vidrio color ámbar. El muestreo se realizó entre las 10 a.m. y las 2 p.m., periodo de mayor operabilidad en la empresa.

La selección de las variables de estudio se realizó de acuerdo a la normatividad ambiental fijada por la legislación colombiana en el decreto 1594 de 1984. Las variables se evaluaron según las normas ASTM y para cada una de ellas se utilizó el siguiente equipo: para la medición de pH (ASTM D 1293-01) pHmeter Toledo MP 120, para la temperatura (°C) (ASTME1-58), para la conductividad (mS/cm) (ASTM D 1125-82) equipo Conductometro 712 Metrohm, para evaluar la turbidez (NTU) (ASTMD 1889-00) y se midió en un Turbidimetro DRT-15 CE, los Sólidos totales (ppm) (ASTM 2540), los Cianuros (ppm) usando un sistema de Destilación y un Titulador Automático Titrino 7516 PA Metrohm, las concentraciones de iones Cu, Ni y

Zn se midieron mediante absorción atómica en el equipo Espectrofotómetro Perkin Elmer y las grasas y aceites fueron cuantificadas mediante un método gravimétrico.

Para el diseño del ICC se tuvo en cuenta que cada una de las variables en estudio ocasiona un efecto contaminante diferente, debido a su toxicidad y peligrosidad, y por consiguiente incide directamente sobre la calidad del efluente. El efecto contaminante de cada variable se cuantificó dando un determinado peso o grado de importancia para cada parámetro: Peso de Incidencia Ambiental (PIA), el cual se definió como una fracción  $w_i$ , de forma que la sumatoria de los pesos de todas las variables es igual a la unidad.

La asignación de los  $w_i$  se realizó teniendo en cuenta el nivel de toxicidad que posee cada uno de los parámetros, de acuerdo a la información reportada por la O.M.S. (Organización Mundial de la Salud) (Southwest Pollution Prevention Center, 1998) En la Tabla 1 se presenta el valor de  $w_i$  asignado a cada variable evaluada en los vertimientos líquidos de la fábrica de herrajes.

Tabla 1. Variables de estudio y sus respectivos pesos de incidencia ambiental.

Variable	Peso de Incidencia Ambiental ( $w$ )
pH	0.1
Conductividad (µm S/cm)	0.05
Turbidez (NTU)	0.05
Sólidos Totales (ppm)	0.05
Grasas y Aceites (ppm)	0.05
Cianuro (ppm)	0.2
Cobre (ppm)	0.2
Níquel (ppm)	0.15
Zinc (ppm)	0.1
Temperatura (°C)	0.05

Es usual que en los efluentes de las industrias de herrajes las variables de la tabla 1 presentan valores que sobrepasan los límites establecidos por la normatividad ambiental, además dentro de rangos muy diversos que dificulta correlacionarlos entre Por lo anterior es necesario construir una Escala Estándar de Calificación (EEC) para dar una categoría de calidad a cada variable con respecto

a las demás. La EEC se construyó a partir de tres niveles: a) el valor de emisión ideal, que se calificó con un 100% de calidad, b) el valor normal tomado del máximo permisible y asignándole el 50%, y c) el valor de la variable cuando excede 50 veces el máximo permisible, el cual es calificado con un porcentaje de calidad del 0%. El siguiente paso fue realizar la valoración de cada parámetro; esto conllevó la definición de una ecuación matemática para describir el nivel de calidad "Q" de cada una de las variables. Por consiguiente el ICC se definió en función de la calidad Q y del peso  $w_i$  que ejerce cada parámetro, dentro del total de variables medidas en el efluente, y se expresó como:

$$I.C.C. = \sum_{i=1}^n w_i * Q_{ij}$$

Donde:

$Q_{ij}$  = Calidad promedio del parámetro (0-100).

$n$  = número total de variables de estudio

$w_i$  = peso asignado a cada variable

## DESARROLLO EXPERIMENTAL

### Definición de puntos de muestreo

La empresa de Herrajes realiza cuatro procesos de electrorecubrimiento: Niquelado, Cobrizado, Latonado y Dorado; para cada uno de ellos se identificaron los puntos de vertimiento. En la Figura 1 se esquematiza los puntos de muestreo seleccionados de acuerdo a los procesos que realiza la empresa.

### Caracterización Físicoquímica

En las tablas 2 y 3 se presenta la caracterización físicoquímica realizada a cada uno de los vertimientos en los puntos de muestreo seleccionados.

De acuerdo al análisis de la caracterización físicoquímica se puede concluir que los efluentes de la empresa de herrajes, son vertidos a una temperatura que se encuentra dentro del rango permitido por la normatividad ambiental. Con respecto a los demás parámetros evaluados los efluentes pueden definirse como disoluciones muy ácidas, muy básicas, turbias y con alto contenido de sólidos totales, y lo más preocupante poseen una elevada concentración de cianuro y de metales como el cobre, cinc, y níquel. Por consiguiente este tipo de vertimiento presenta una amenaza ambiental, debido a que la mayoría de sus parámetros se encuentran dentro de niveles que superan lo permitido por la normatividad ambiental.

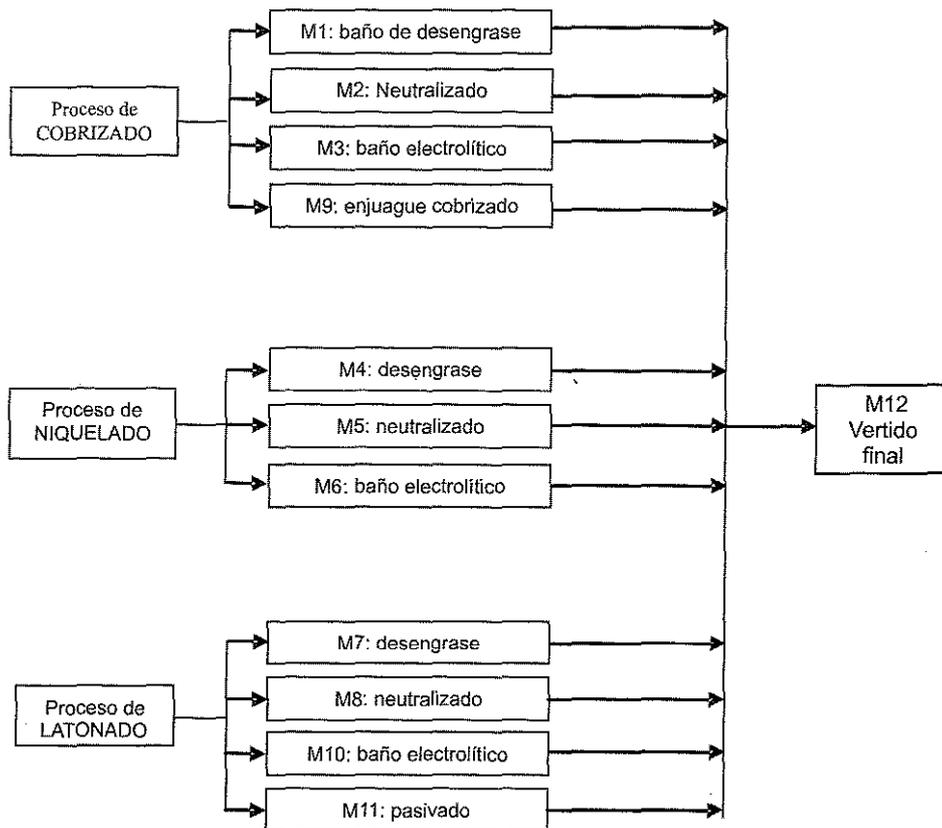


Figura 1. Puntos de muestreo en la empresa de Herrajes.

Tabla 2. Características físicas de los efluentes de la Empresa de Herrajes

Punto de muestreo	pH	Temperatura (C)	Turbidez (NTU)	Conductividad (mS/cm)	Sólidos Totales (ppm)
M1	11,33	17,00	45,19	1,14	621,71
M2	6,98	22,00	5,13	0,57	0
M3	10,08	21,00	32,49	7,05	0
M4	2,75	22,00	1,61	0,99	0
M5	7,28	24,00	4,25	1,11	0
M6	9,39	23,00	1,76	0,24	0
M7	11,87	20,00	15,74	3,90	0
M8	3,10	21,00	11,53	0,60	0
M9	10,00	19,00	17,98	24,15	0
M10	10,27	19,00	7,62	8,82	14207,71
M11	6,67	22,00	123,34	3,59	5277,86
M12	10,27	18,00	78,93	3,48	4539,43
<b>Máximo valor permitido según la normatividad ambiental (Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984)</b>	<b>6-9</b>	<b>&lt;30</b>	<b>5</b>	<b>12</b>	<b>1000</b>

Tabla 3. Características químicas de los efluentes de la Empresa de Herrajes

Punto de muestreo	Cianuros (ppm)	Grasas y Aceites (ppm)	Cobre (ppm)	Níquel (ppm)	Zinc (ppm)
M1	0	0	1,94	0,45	0,25
M2	0	0	2,42	2,20	35,48
M3	963,68	0	742,97	5,76	0,52
M4	0	0	2,60	1,80	2,36
M5	0	9,16	1,09	155,44	0,22
M6	132,44	0	0,26	3,43	0,16
M7	0	21,62	2,63	1,52	0,23
M8	0	0	16,75	1,26	2,30
M9	2554,64	0	7449,57	40,08	60,79
M10	2472,78	0	2024,07	12,27	711,36
M11	0	9,69	1,60	1060,52	1309,66
M12	614,47	17,2	909,72	47,53	14,74
<b>Máximo valor permitido según la normatividad ambiental (Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984)</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>10</b>

**Valoración de la Calidad Ambiental “Q”**

La Escala Estándar de Calificación (EEC) para cada una de las variables se definió con base en las siguientes consideraciones:

- Desagradable: 5 veces por encima de la norma
- Malo: 10 veces por encima de la norma
- Muy malo: 20 veces por encima de la norma
- Pésimo: 50 veces por encima de la norma

**Calificación Cualitativa      Calificación cuantitativa**

- Impropio: 2 veces por encima de la norma

En la tabla 4 se presenta la EEC construida para cada una de las variables en estudio.

Tabla 4. Escalas Estándar de Calificación para las variables de los efluentes de una empresa de herrajes.

Parámetro										
pH	Conduc. mS/cm	Temp. (°C)	Cianuro (ppm)	Cobre (ppm)	Zinc (ppm)	Níquel (ppm)	Sólidos Totales (ppm)	Turbidez NTU	Valor cualitativo	Valor porcentual %
1,0 ó 14	30	< -8 ó >50.	50	150	500	100	50000	250	Pésimo	0
2,0 ó 13	22	-8 a -6 ó 50 a 45.	20	60	200	40	20000	100	Muy malo	10
3,0 ó 12	20	-6 a -4 ó 45 a 40	10	30	100	20	10000	50	Malo	20
4,0 ó 11	18	-4 a -2 ó 40 a 36	5	15	50	10	5000	25	Desagradable	30
5,0 ó 10	16	-2 a 0 ó 36 a 32	2	6	20	4	2000	10	Impropio	40
6 ó 9,5	12	0 a 5 ó 32 a 30	1	3	10	2	1000	5	Normal	50
9,5	10	5 a 12 ó 30 a 28	0,8	2,5	8	1,6	800	4	Acceptable	60
9	8	12 a 14 ó 28 a 26	0,6	1,6	6	1,2	600	3	Agradable	70
8,5	5	14 a 15 ó 26 a 24	0,4	1	4	0,8	400	2	Bueno	80
8	3	15 a 22	0,1	0,5	2	0,4	200	1	Muy Bueno	90
7	2,5	16 a 21	0	0	0	0	0	0	Excelente	100

**Modelo Matemático para evaluar la calidad “Q”**

Luego de hacer la valoración de los parámetros se ajustaron las EEC a modelos matemáticos. Se encontraron dos comportamientos diferentes: a) un rango inferior descrito por un modelo lineal, debido a que la diferencia entre el valor ideal y el máximo valor permisible están muy cercanos, y b) un rango superior descrito por un modelo de curva; debido a que la diferencia entre los valores es muy grande para los mismos rangos de calificación. Los espaciamentos para la escala del rango inferior se obtuvieron dividiendo el intervalo en partes iguales. La descripción completa del comportamiento de cada variable se obtuvo al acoplar los dos modelos matemáticos. En la figura 2 se presenta un ejemplo del comportamiento típico seguido por las variables de estudio en relación con los descriptores de calidad mostrados en la Tabla 4.

Los puntos a y c corresponden a los límites superior e inferior respectivamente en la ECE, para cada una de las variable mostradas en la tabla. La grafica presenta un punto de inflexión ‘b’, indicando una calificación del 50% que corresponde al límite permisible estipulado por la normatividad ambiental pertinente.

Los datos de la tabla 4 se ajustaron a los modelos matemáticos respectivos, mediante Microsoft Excel y aceptando su validez para correlaciones que estuviesen dentro del intervalo  $0.99 \leq R^2 \leq 1.00$ , de esta manera se obtuvieron las ecuaciones que se presentan en la Tabla 5.

A partir de las ecuaciones de la Tabla 5, se procedió a calcular los respectivos valores de calidad (Q) para cada uno de los puntos de muestreo; los cuales se presentan a continuación en la tabla 6.

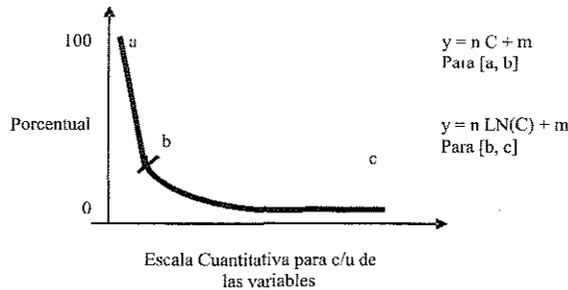


Figura 2. Gráfica tipo que describe el comportamiento de las variables de estudio

Tabla 5. Modelos Matemáticos de calidad “Q” para cada variable

Variable	Modelo Matemático de Calidad “Q” para la EEC en el rango superior.	Modelo Matemático de Calidad “Q” para la EEC en el rango inferior.
pH (p H)	$Q=0,19 \cdot X^3 - 4,9 \cdot X^2 + 22,2 \cdot X - 122,7$	$Q= -10,685 \cdot (p H) + 148,77$
Cianuro (CN)	$Q= -12,861 \cdot \ln(CN) + 49,677$	$Q= -47,505 \cdot (CN) + 97,96$
Temperatura (T)	$Q= 85,336 \cdot \ln(T) - 263,72$	$Q= 3,333 \cdot (T) - 83,333$
Conductividad (CT)	$Q= -12,861 \cdot \ln(CT) + 85,335$	$Q= -3,4861 \cdot (CT) + 104,34$
Turbidez (TB)	$Q= -12,861 \cdot \ln(TB) + 70,376$	$Q= -10 \cdot (TB) + 100$
Sólidos Totales (ST)	$Q= -104,63 \cdot \ln(ST) + 770,77$	$Q= -0,05 \cdot (ST) + 100$
Cobre (Cu)	$Q= -12,861 \cdot \ln(Cu) + 63,806$	$Q= -16,04 \cdot (Cu) + 97,99$
Zinc (Zn)	$Q= -12,861 \cdot \ln(Zn) + 79,29$	$Q= -5 \cdot (Zn) + 100$
Níquel (Ni)	$Q= -12,861 \cdot \ln(Ni) + 58,592$	$Q= -25 \cdot (Ni) + 100$
Grasas y Aceites(GA)	$Q= -12,861 \cdot \ln(G.A) + 88,204$	$Q= -2,5 \cdot (G.A) + 100$

Tabla 6. Valores de calidad (Q) de los diferentes parámetros físicos y químicos para cada uno de los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Q									
	Parámetros Físicos					Parámetros Químicos				
	pH	Conductividad	Temperatura	Turbidez	Sólidos Totales	Grasas y Aceites	Cianuros	Cobre	Níquel	Zinc.
M1	66,62	96,52	98,05	21,36	62,35	56,78	97,96	62,89	79,89	99,05
M2	62,03	98,86	89,06	48,72	14,32	11,81	19,59	58,41	44,33	33,26
M3	94,61	72,04	94,38	25,6	14,32	11,81	38,68	19,42	5,69	9,79
M4	17,62	97,16	89,06	64,27	14,32	11,81	33,62	55,36	62,62	71,95
M5	65,24	96,62	79,12	57,50	14,32	3,86	19,59	83,88	4,95	99,19
M6	87,35	93,25	83,98	63,11	14,32	11,81	13,16	83,54	6,86	99,38
M7	18,18	85,10	99,96	34,93	14,33	48,68	39,55	57,71	9,12	98,75
M8	21,31	98,78	94,38	38,93	14,33	11,81	39,55	28,47	56,25	69,28
M9	47,22	91,66	96,52	33,21	14,33	11,81	51,23	10,20	10,68	26,32
M10	96,60	66,98	96,52	44,26	15,55	11,81	50,81	37,43	25,32	5,84
M11	58,83	86,37	89,07	8,45	28,28	75,78	97,96	77,76	30,04	11,40
M12	42,49	86,83	97,06	14,19	30,22	34,74	12,9	23,81	8,93	26,3

Con respecto a las variables físicas, se observa en la tabla 6, que la temperatura y la conductividad presentan valores de Q por encima de 80, esto permite calificarlas en el rango de “Superior y Bueno”; indicando que no contribuyen al impacto ambiental que pueda ocasionar los vertimientos. Por el contrario los efluentes que son vertidos en los puntos M4, M7, y M8 exhiben valores de Q muy bajos, con respecto a la variable pH, lo cual los ubica en un rango de calificación “malo”, y por consiguiente debido a su acidez pueden ocasionar contaminación. En lo que respecta a la turbidez los valores de calidad encontrados, para esta variable en todos los puntos de muestreo, son tan bajos que se puede concluir que los vertimientos de la empresa de herrajes poseen niveles de sólidos totales que los define

como muy malos y pueden ocasionar un impacto ambiental significativo.

Por otra parte, el análisis de las variables químicas muestra que a excepción de algunos puntos, el M1, M9 y M11 para el cianuro, el M1 para el níquel y el M1, M5 y M6 para el cinc, la empresa de herrajes esta generando vertimientos con niveles de concentración de metales y cianuro con una calificación muy mala, implicando que pueden ocasionar un impacto ambiental considerable.

La representación gráfica de los valores de Q para cada variable relacionados con el punto de vertido, se presentan en las figuras 3 y 4.

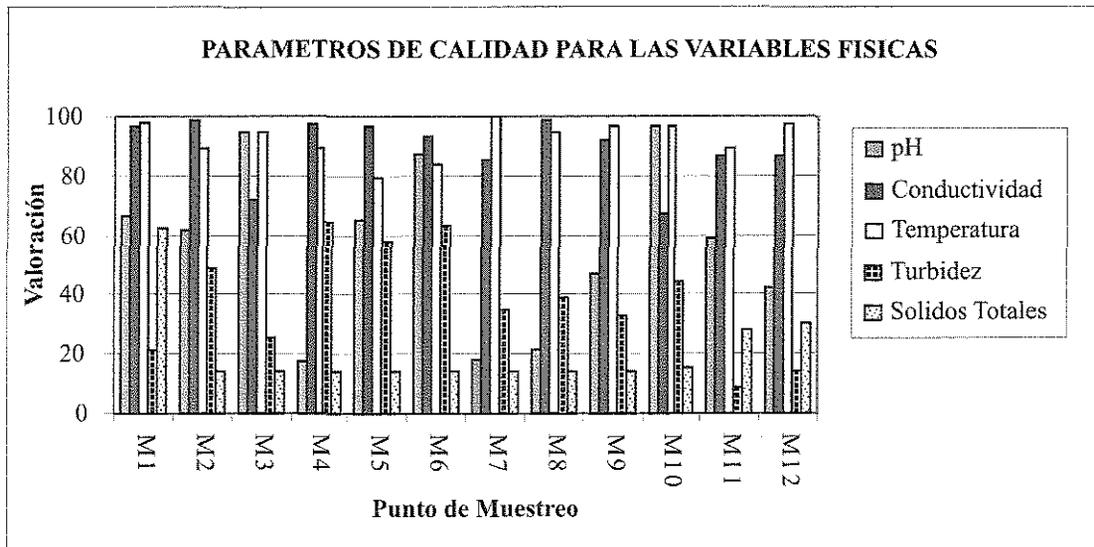


Figura 3. Parámetros de calidad versus los diferentes puntos muestreados para las variables físicas.

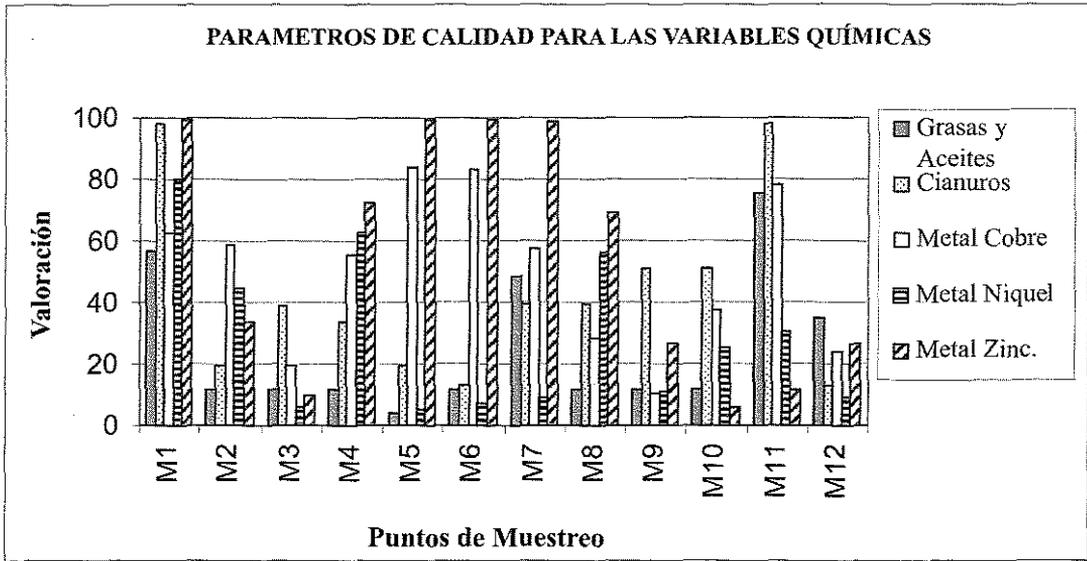


Figura 4. Parámetros de calidad versus los diferentes vertimientos muestreados para las variables Químicas.

Con los valores de  $w_i$  y de  $Q$ , reportados en las tablas 1 y 6 respectivamente, se calculó el ICC, de según el modelo planteado en la ecuación 1. Un ICC de 0 implica la máxima carga contaminante observada en la ciudad, y un ICC de 100 representa el estado ideal, es decir, un vertido que no tendría incidencia contaminante. En la Tabla.7, se

presentan los valores de ICC para los diferentes puntos de vertimiento de la empresa de herrajes.

La representación gráfica de los valores del ICC de la empresa de herrajes, para cada punto de vertido, se presentan en la figura 5.

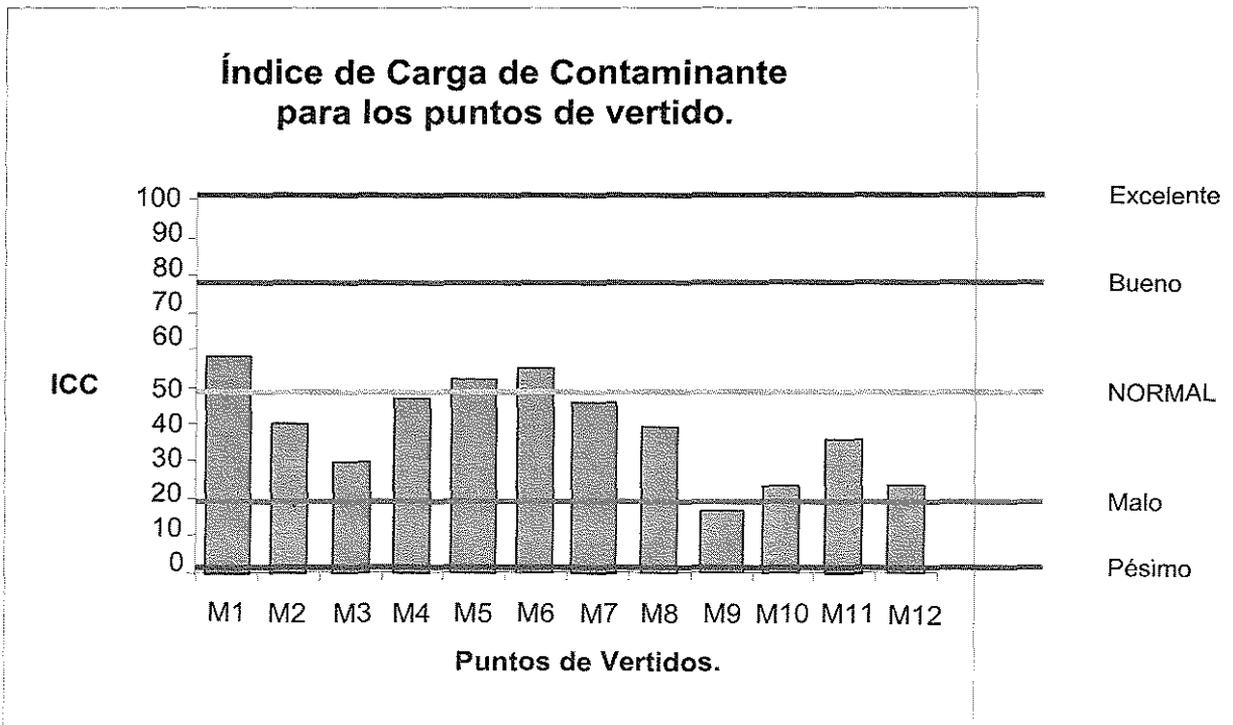


Figura 5. Índice de Carga de cada uno de los puntos muestreados dentro de la empresa

**Tabla No.7.** Índice de Carga Contaminante para efluentes líquidos de una empresa. Que realiza procesos de electrorrecubrimiento de piezas metálicas.

Punto de muestreo	ICC	Descripción
M1	58,65	Normal
M2	39,73	Desagradable
M3	29,67	Malo
M4	47,19	Impropio
M5	52,08	Normal
M6	54,89	Norma
M7	45,80	Impropio
M8	38,84	Desagradable
M9	14,00	Muy Malo
M10	19,28	Muy Malo
M11	35,83	Desagradable
M12	23,36	Malo

Los valores de ICC que se presentan en la tabla 7 y en la figura 5 permiten sintetizar mediante un valor cuantitativo y un juicio cualitativo el impacto ambiental que puede generar cada uno de los efluentes de la empresa de herrajes que realiza procesos de electrorrecubrimiento de piezas metálicas.

Los efluentes M3, M9 y M10 son los más urgentes por tratar de tal forma que su ICC alcance un nivel adecuado para su descarga al ambiente. Solo los efluentes procedentes de los vertimientos M1, M5 y M6 presentan valores de ICC dentro de un rango de calificación normal; sin embargo dado que en la empresa los vertimientos son reunidos en el punto M12, se observa que este vertido recibe un calificativo malo, lo cual implica que el grado de contaminación no es disminuido por el efecto de mezcla.

### CONCLUSIONES

Mediante la asignación de un determinado peso y una escala de calificación cualitativa para los parámetros físicos y químicos que definen la calidad de un vertimiento, se diseñó una herramienta matemática **ÍNDICE DE CARGA CONTAMINANTE "ICC"**, que permite evaluar el impacto ambiental que los efluentes de una empresa de electrorrecubrimientos pueden llegar a ocasionar.

La caracterización fisicoquímica de los efluentes, de la sección de recubrimientos metálicos, de la empresa de herrajes en los 12 puntos de vertimiento seleccionados para el estudio mostró que a excepción de la temperatura y la conductividad las demás variables exceden la normatividad ambiental vigente. Permite la herramienta, a pesar de su respuesta de ICC global, tener en cuenta la relevancia particular de c/u de las variables de estudio, por tal motivo la herramienta matemática diseñada puede ser aplicada a

otros sectores industriales con diferentes variables y niveles de contaminación.

Los ICC calculados para los efluentes del proceso de recubrimiento metálico de la empresa de herrajes, obtuvieron una calificación entre Malo y Desagradables llegando en pocos casos a una calificación Normal, demostrando de esta manera la alta carga contaminante presente en los vertidos y la necesidad de realizar un tratamiento de remediación.

### BIBLIOGRAFÍA

- [1] AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual Book of ASTM Standards. Water and Environmental Technology. Vol 11. 01. 2000.
- [2] APHA, AWWA, AWOAOC. standard methods for the examination of water and wastewater. Washington. 19 Ed. 1995.
- [3] BERNAL BOHÓRQUEZ, Luis Alejandro. Promoción de la pequeña empresa ecoeficiente latinoamericana PROPEL: situación ambiental del sector de recubrimiento de metales -galvanoplastia- en Chile, Colombia y Ecuador. Memorias del seminario "Roundtable on Metal Processing Sector". Santafé de Bogotá, Colombia. 1997.
- [4] Decreto 1594 del 26 de Junio de 1984. Ministerio de Agricultura. Colombia.
- [5] Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente DAMA, Servicios Creativos. Valoración del impacto ambiental de la gran industria manufacturera del distrito capital. Alcaldía Mayor de Santa Fe de Bogotá, D.C., Colombia. 1997. Pág. 172 – 177.

- [6] DINIUS S.H. Design of a water quality index. Water Resources Bulletin Vol 23 No. 5 Pag 833 - 844. 1987
- [7] E.J. ORMAZABAL. Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones, Recubrimientos Electrolíticos. España 2002. pag 22 – 42 y 106 – 121.
- [8] GLAYMAN J. Galvanotécnica: Técnica y Procedimientos. Editorial Avila Monteso. Barcelona (España). 1980. pag 25 - 45
- [9] GRAHAM, Kenneth. Manual de Ingeniería de los Recubrimientos Electrolíticos. Compañía Editorial Continental, S.A. México. 1967. Pag. 85 – 87.
- [10] MANUAL PARA EL TRATAMIENTO DE VERTIMIENTOS DE EMPRESAS DEL SECTOR DE RECUBRIMIENTOS METÁLICOS. Capítulos 4 y 5. Southwest Pollution Prevention Center. 1998.
- [11] MIRLEY MINDIOLA, GUERRERO EDILBERTO. Propuesta para disminuir la concentración generada por los efluentes líquidos del proceso actual de refinación Química de oro y plata en los talleres de joyería de Bucaramanga. 2003.
- [12] KUSHNER, J.B. Monthly Rev., Am Electroplater's Soc 29, 751-770 (2002)
- [13] KKONTZ, D.E., and Sullivan, M.V. ASTM Special Tech. Publication No. 246, 183-194 (2003), published by ASTM Philadelphia Pa; Pritchett, P.P., Ibid., pp 205-213.
- [14] TALLMADGE, J.A., and Buffham, B.A., "Rinsing Effectiveness in Metal Finishing", J water Pollution Control Federation, 33 Pag. 1461-1471 (1998).
- [15] TALLMADGE, J.A., "Entrainment of Liquid Films, Drainage Withdrawal and REMOVAL", Ind Eng Chem 59 No. 11, Pag. 19-34 (2001)
- [16] TALLMADGE, J.A., "Proceeding Second Mid-Atlantic Industrial Waste Conference, Drexel Institute of Technology" (2003)
- [17] TALLMADGE, J.A., "Rising Mass Transfer in Plating Processes", Symposium of Fluid Flow in Electrochemical Processes, Drexel University, April (2001).
- [18] POCOCK, w.e., "Metal Finishing Guidebook", New York, Finishing Publication Inc., 1999.
- [19] Standards Institute, "Safety Color Code for Marking Physical Hazard and the Identification of Certain Equipment" New York 1997.
- [20] Threshold Limit values for 1999. Adopted at the meeting of the American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Los Angeles, Apr 1999. A.M.A pag. 296-298.