

## 5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1 DETERMINACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE METALES EN EL LIXIVIADO DE ARENAS SÍLICAS DE DESECHO. (Ver Anexo B. Análisis CRETIB. Extracción PECT) (Ver Anexo C. Determinación de la Concentración de Metales)

Tabla 5-1 Concentración de Metales en Lixiviado de Arenas de Desecho

Concentración Metales (mg/L)												
Arena	Cu		Fe		Ni		Pb		Cd		Cr	
	L	NOM	L	NOM	L	NOM	L	NOM	L	NOM	L	NOM
1	0.01		5.04		0.06		0.00		0.00		0.03	
2	0.00	NA	2.80	NA	0.16	5.00	0.00	5.00	0.00	1.00	0.00	5.00
3	0.79		6.37		0.00		3.38		0.71		0.00	

L. Lixiviado.

NOM. Norma Oficial Mexicana.

NA. No Aplica.

Ilustración 5-1 Concentración de Cadmio en el Lixiviado de las Arenas

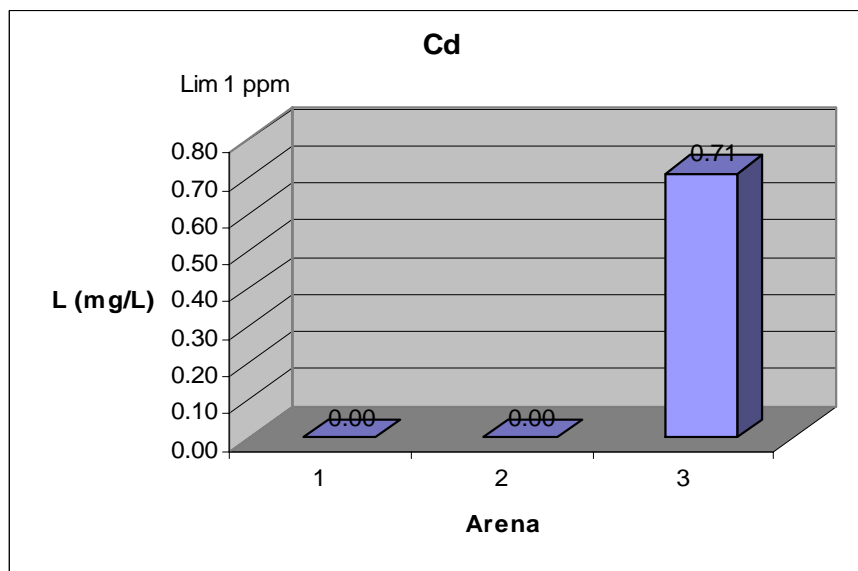


Ilustración 5-2 Concentración de Cromo en el Lixiviado de las Arenas

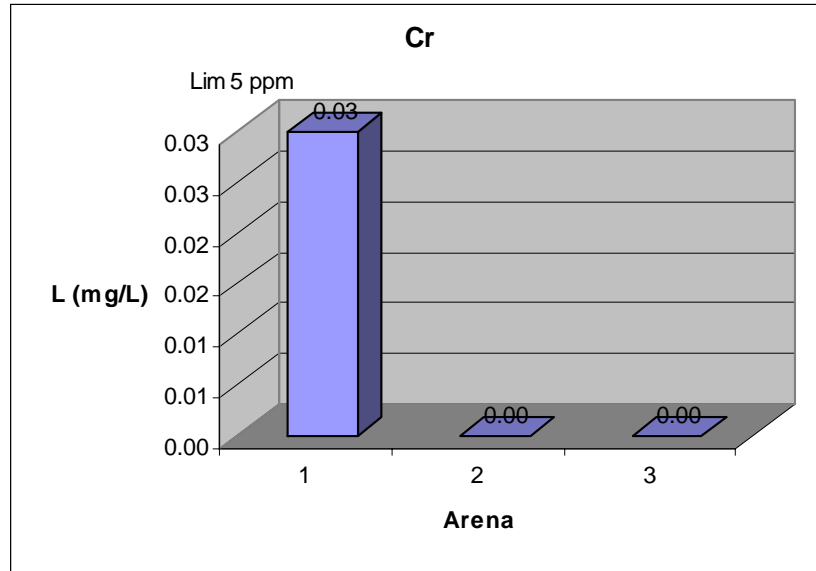


Ilustración 5-3 Concentración de Hierro en el Lixiviado de las Arenas

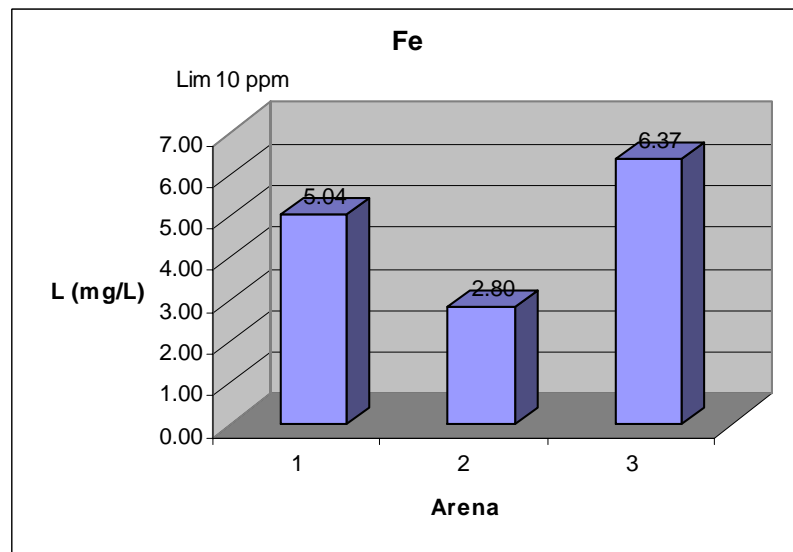


Ilustración 5-4 Concentración de Cobre en el Lixiviado de las Arenas

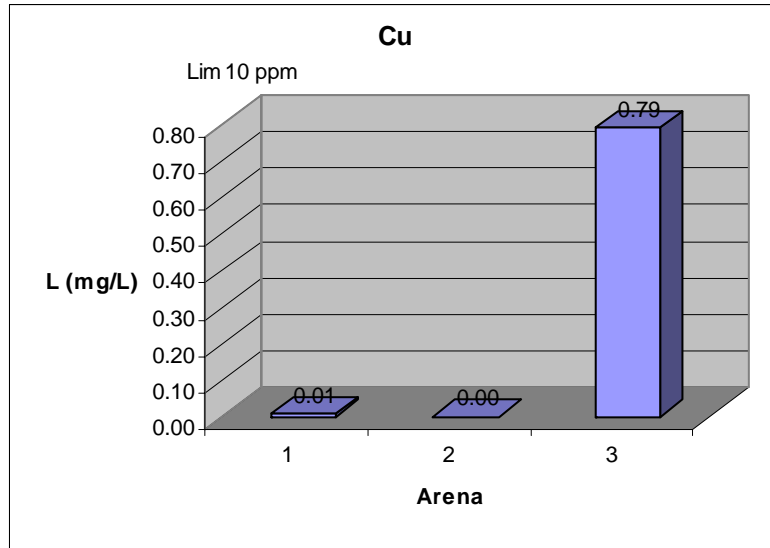


Ilustración 5-5 Concentración de Níquel en el Lixiviado de las Arenas

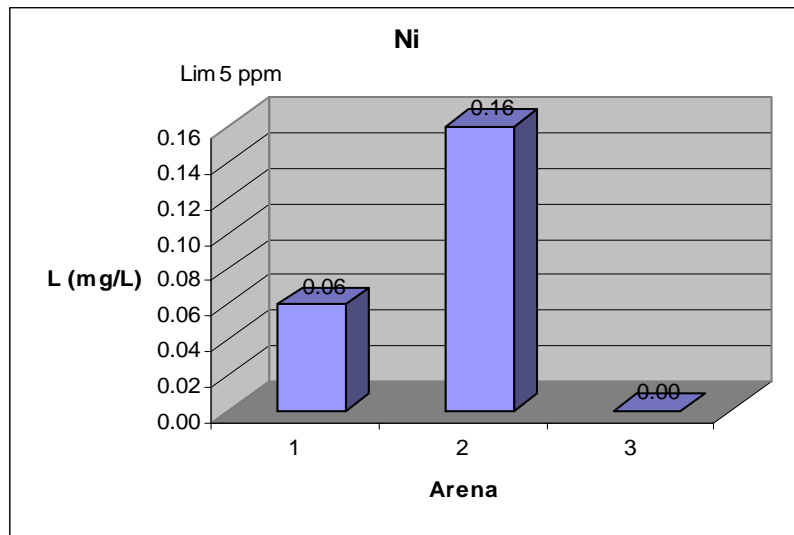
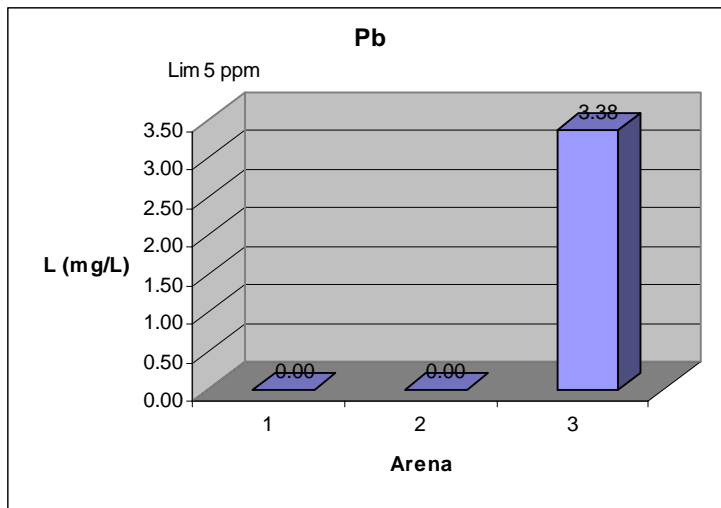


Ilustración 5-6 Concentración de Plomo en el Lixiviado de las Arenas



Se cuenta con un análisis CRETIB de una muestra de residuos de arena sílica, el cual se tomó como referencia para analizar si se tiene concordancia con los resultados obtenidos anteriormente. El contenido de metales en el residuo es el siguiente:

Tabla 5-2 Contenido de Metales Tóxicos Conforme Análisis CRETIB.

Metal	Contenido (mg/l)	% debajo de la norma
Arsénico	0.010	99.8
Bario	1.000	99.0
Cadmio	0.005	99.5
Cromo hexavalente	0.010	99.8
Níquel	0.010	99.8
Mercurio	0.010	99.5
Plata	0.050	99.0
Plomo	0.050	99.0
Selenio	0.020	98.0

Fuente: Análisis CRETIB proporcionado por Rassini.

Debido a que las concentraciones de metales considerados tóxicos dentro de las arenas de desecho son menores a las concentraciones máximas marcadas en la NOM – 052 – SEMARNAT - 1993 estas arenas de desecho son residuos no peligrosos y pueden ser usadas como materia prima para la

realización de cerámicas sin que los metales contribuyan significativamente en el lixiviado final.

El único caso donde el metal puede contribuir en la concentración final del lixiviado es en la arena tres con plomo ya que contiene 3.40 ppm que esta un 34% debajo de la norma. En el caso de cobre y fierro aunque se muestran concentraciones altas, no se tiene especial cuidado ya que estos metales no tienen límites para ser considerados tóxicos.

## 5.2 PORCENTAJE DE SÓLIDOS Y HUMEDAD EN LAS ARENAS DE DESECHO. (Ver Anexo A. Determinación de Humedad)

Tabla 5-3 Porcentaje de Sólidos y de Humedad en las Arenas de Desecho

<b>Determinación de % de sólidos y % de humedad</b>			
	<b>Peso fase sólida</b>	<b>% Sólidos</b>	<b>% Humedad</b>
<b>1</b>	42.72	99.03	0.97
<b>2</b>	44.86	97.79	2.21
<b>3</b>	43.51	99.83	0.17
<b>corazón</b>	47.56	99.87	0.13
<b>sílica</b>	19.58	99.67	0.33

En las arenas de desecho uno y tres se puede despreciar la humedad ya que es menor del 1% del peso total de la arena, mientras que en la arena dos se tiene más del 2% de humedad que afecta en la cantidad de metal absorbido.

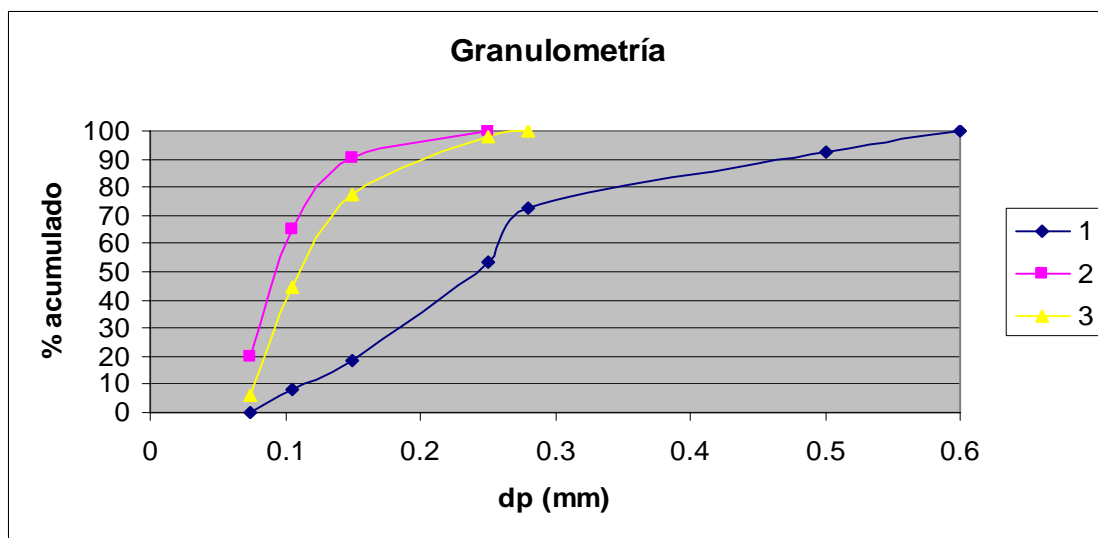
### 5.3 GRANULOMETRÍA DE LAS ARENAS DE DESECHO. (Ver Anexo D)

Tabla 5-4 Granulometría de las Arenas de Desecho.

Muestra	Mesh							D.E	Dp <sub>50%</sub> (mm)	Dp 50% (Mesh)
	200	150	100	60	50	35	< 35			
	Diámetro (mm)									
	0.074	0.105	0.149	0.25	0.28	0.5	> 0.5			
1	0.000	8.526	10.255	34.976	18.777	19.840	7.627	11.379	0.231	65.000
2	19.550	45.578	25.271	9.602	0.000	0.000	0.000	17.135	0.098	160.000
3	6.343	38.449	32.562	20.583	2.065	0.000	0.000	16.218	0.115	130.000

Dp. Diámetro Promedio.  
D.E. Desviación Estándar.

Ilustración 5-7 Granulometría de las Arenas de Desecho.



Las arenas variaron con un diámetro de partícula de 0.098 a 0.231 mm, entre menor es el tamaño de partícula, las reacciones dentro de la cerámica se realizan con mayor facilidad por lo que la eficiencia de retención es mejor, mientras que si el tamaño de partícula es mayor las reacciones se vuelven un poco más difíciles y la cerámica final presenta mayor cantidad de carbono haciendo que la cerámica se desgrane más fácilmente.

#### 5.4 PLASTICIDAD DE LAS CERÁMICAS.

Se pesa el agua que se adiciona a la arcilla poco a poco hasta alcanzar una consistencia plástica, que se pueda modelar.

Tabla 5-5 Plasticidad de las Cerámicas.

	MB + arena (g)	Agua (g)	Plasticidad (%)
<b>M1</b>	250	31.2	12.48
<b>M2</b>	250	49.6	19.84
<b>M3</b>	250	40.1	16.04

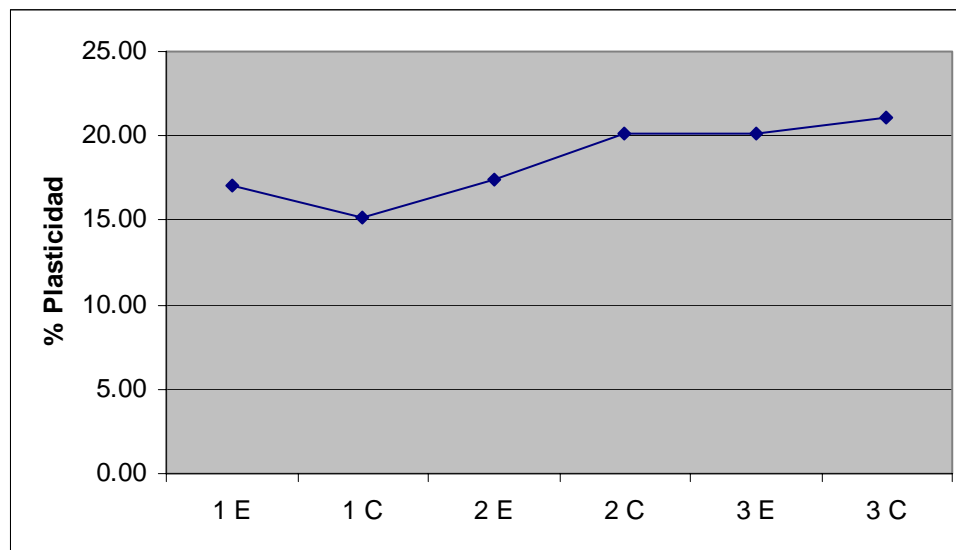
M1. Mezcla base más 15% de arena tipo 1.

M2. Mezcla base más 15% de arena tipo 2.

M3. Mezcla base más 15% de arena tipo 3.

Se añade 15% de arena ya que entre mayor sea la cantidad de arena en la fabricación de la cerámica se tendrán que ocupar temperaturas más altas que las ocupadas en este experimento (950°C) para que la reacción entre los óxidos del óxido de silicio sea lo más eficiente y pueda haber una unión entre ellos.

Ilustración 5-8 Plasticidad de las Diferentes Mezclas con Diferentes Formas.



E. Esfera.

C. Cubo.

La plasticidad fue importante para así obtener la cantidad de metal que se añadió a la cerámica, ya que así se sabe que cantidad de agua o de solución a añadir a cada tipo de mezcla. Como resultado se obtuvo que la mezcla M2 necesita un poco más de agua o solución para obtener una masa suave que se pueda moldear.

Se puede concluir que entre menor es el tamaño de partícula de arena, mayor es la plasticidad (cantidad de solución que se debe añadir) por lo tanto entre mayor solución con metal se añade, mayor cantidad de metal contendrá esa cerámica.

## 5.5 ABSORCIÓN DE LAS CERÁMICAS.

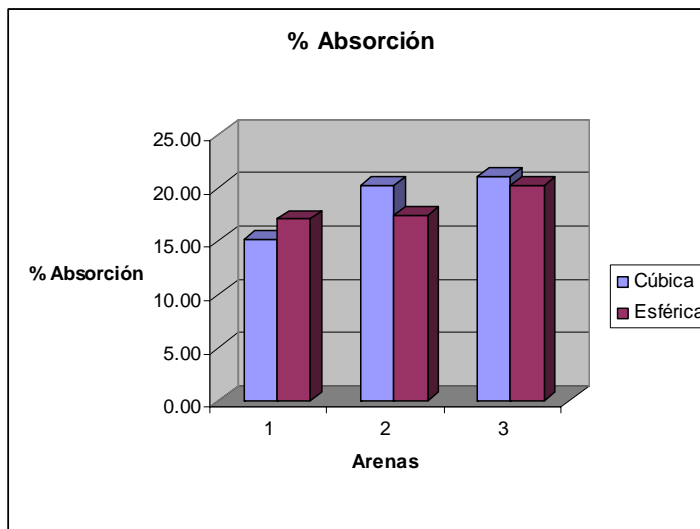
El grado de absorción de agua es una medida de la maduración de la arcilla cocida.

**Tabla 5-6 Absorción de las Cerámicas.**

<b>Forma</b>	<b>Arena</b>	<b>% de Absorción</b>
Cúbica	1	15.20
Cúbica	2	20.20
Cúbica	3	21.05
Esférica	1	17.06
Esférica	2	17.45
Esférica	3	20.20



Ilustración 5-9 Absorción de las Mezclas con las diferentes Arenas.



Entre menor sea la cantidad de líquido o agua que pueda absorber la cerámica, es mejor para la retención de metales ya que previene que algún componente lixivante entre dentro de la cerámica. En este caso la absorción es mínima lo que nos garantiza una mejor acumulación de metales dentro del material.

## 5.6 CÁLCULOS PARA LA DETERMINACIÓN DE PÉRDIDA DE PESO.

Para efectuar los cálculos correspondientes a la cantidad de metal contenido en las cerámicas y la cantidad de metal total que en realidad retienen las cerámicas, se debe realizar una serie de cálculos con los cuales se obtiene el peso real de las cerámicas, su porcentaje de sólidos, el porcentaje de humedad, entre otros.

En la fabricación de las cerámicas se utilizó 7.5 g. de arena y 42.5 g. de mezcla base que en total son 50 g. de mezcla.

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Tabla 5-7 Cálculos de Humedad y Peso de Arena, MB y Agua**

Arena	Humedad arena (%)	Humedad MB (%)	Humedad arena (g)	Humedad MB (g)	Peso agua (g)	Peso seco arena (g)	Peso seco MB (g)
1	0.97	3.50	0.073	1.488	31.2	7.43	41.01
2	2.21	4.00	0.166	1.700	49.6	7.33	40.80
3	0.17	4.50	0.012	1.913	40.1	7.49	40.59

**Tabla 5-8 Cálculos de Peso Teórico Real, Peso Real, Peso de Gases y Humedad Total**

Arena	Peso Teórico Final (g)	Peso Real Final (g)	Formación de gases (g)	Humedad total evaporada
1	48.75	46.53	2.22	1.560
2	51.25	47.34	3.91	1.866
3	52.75	46.77	5.98	1.925

Se considera la formación de gases ya que al reaccionar la materia orgánica y al evaporarse la humedad, se forma CO<sub>2</sub> lo que contribuye a la pérdida de peso en la cerámica o ladrillo ya cocido.

Los gramos de metal añadido dependen de la solución que se manejó en un principio que fue al 1%, 10% y 15 % (p/v).

**Tabla 5-9 Cálculo de Peso de Ladrillo S/C, Ladrillo C/C y Pérdida de Peso.**

Arena	Metales	Gases (g)	Ladrillo S/C (g)	Ladrillo C/C (g)	Ladrillo teórico (g)	Pérdida de peso (g)	Masa residual (%)	Pérdida de peso (%)
<b>A1</b>	<b>S1</b>	2.22	81.51	46.53	48.75	34.98	42.92	57.08
<b>A1</b>	<b>S10</b>	5.03	84.32	46.53	51.56	37.79	44.82	55.18
<b>A1</b>	<b>S15</b>	6.59	85.88	46.53	53.12	39.35	45.82	54.18
<b>A2</b>	<b>S1</b>	1.29	100.10	47.34	48.63	52.76	52.71	47.29
<b>A2</b>	<b>S10</b>	5.76	104.56	47.34	53.10	57.22	54.73	45.27
<b>A2</b>	<b>S15</b>	8.23	107.04	47.34	55.57	59.70	55.77	44.23
<b>A3</b>	<b>S1</b>	1.71	90.50	46.77	48.48	43.73	48.32	51.68
<b>A3</b>	<b>S10</b>	5.32	94.11	46.77	52.09	47.34	50.30	49.70
<b>A3</b>	<b>S15</b>	7.32	96.12	46.77	54.09	49.35	51.34	48.66

A (1), (2), (3). Tipo de arena.

S (1), (10), (15). Porcentaje de solución.

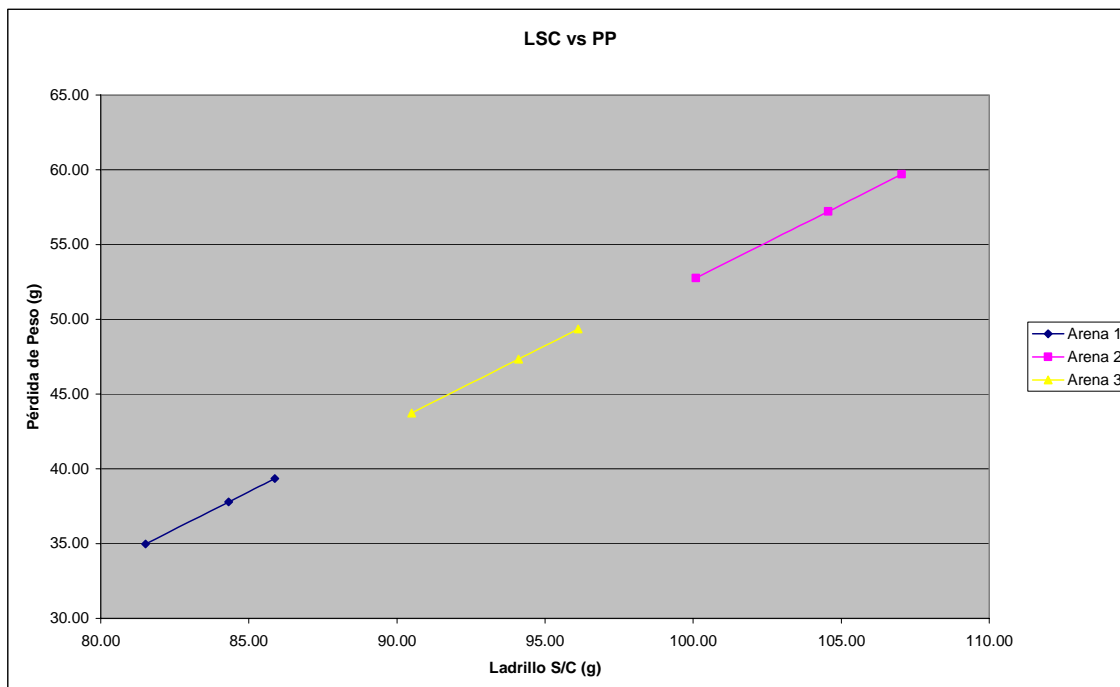
El peso del ladrillo Sin Cocción (S/C) se obtuvo sumando el peso de la MB seca, más el peso de la arena seca, más el peso de agua, más el peso del metal, más la humedad.

Para tener el peso del ladrillo Con Cocción (C/C) se pesaron las cerámicas ya cocidas.

El peso del ladrillo teórico se calculó sumando el peso de la mezcla base más el peso de la arena (sólidos), más el peso del metal añadido.

Por último la pérdida de peso se obtuvo restando el peso del ladrillo con cocción al peso del ladrillo sin cocción.

Ilustración 5-10 Pérdida de Peso en el Ladrillo S/C (Arena 1, 2 y 3)



## ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base a los resultados en la ilustración 5-10, notamos que entre mayor es el peso del ladrillo sin cocción, es mayor la pérdida de peso, esto se debe a que se tuvo que añadir más líquido a esa mezcla, por lo que la pérdida de peso en gases y evaporación de humedad aumenta. Se deduce que la arena dos es la que necesita mayor cantidad de agua para poder ser moldeable y por lo tanto el ladrillo que presenta mayor peso sin cocción. Mientras que el ladrillo más ligero es el hecho con el arena tipo uno.

**Tabla 5-10 Cálculos con Respecto al Ladrillo Sin Cocción.**

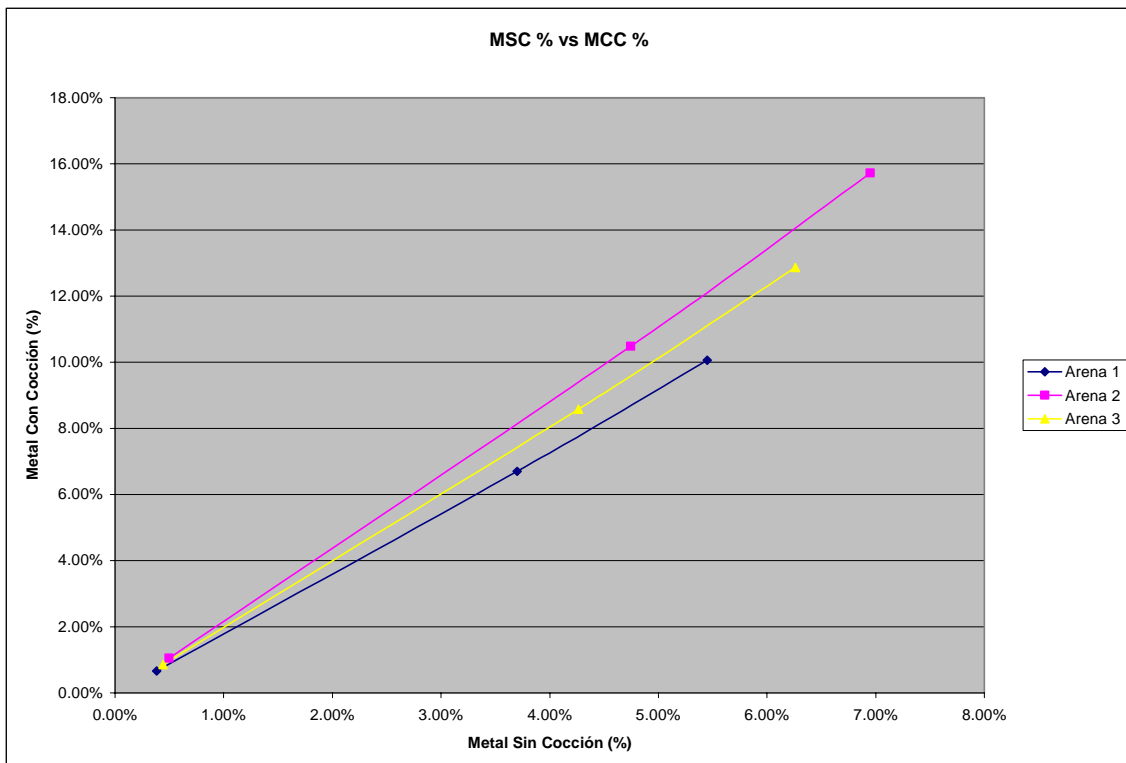
<b>Arena</b>	<b>Metales</b>	<b>Metal (%)</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>MB (%)</b>	<b>Agua (%)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Gases (%)</b>
<b>A1</b>	<b>S1</b>	0.38	9.11	50.32	38.28	1.91	2.72
<b>A1</b>	<b>S10</b>	3.70	8.81	48.64	37.00	1.85	5.96
<b>A1</b>	<b>S15</b>	5.45	8.65	47.76	36.33	1.82	7.67
<b>A2</b>	<b>S1</b>	0.50	7.33	40.76	49.55	1.86	1.29
<b>A2</b>	<b>S10</b>	4.75	7.01	39.02	47.44	1.78	5.50
<b>A2</b>	<b>S15</b>	6.95	6.85	38.12	46.34	1.74	7.69
<b>A3</b>	<b>S1</b>	0.44	8.27	44.85	44.31	2.13	1.88
<b>A3</b>	<b>S10</b>	4.26	7.96	43.13	42.61	2.05	5.65
<b>A3</b>	<b>S15</b>	6.26	7.79	42.23	41.72	2.00	7.62

**Tabla 5-11 Cálculos con Base al Ladrillo Con Cocción.**

<b>Arena</b>	<b>Metales</b>	<b>Metal (%)</b>	<b>Arena (%)</b>	<b>MB (%)</b>	<b>Agua (%)</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Gases (%)</b>
<b>A1</b>	<b>S1</b>	0.67	15.96	88.14	67.05	3.35	4.77
<b>A1</b>	<b>S10</b>	6.70	15.96	88.14	67.05	3.35	10.81
<b>A1</b>	<b>S15</b>	10.06	15.96	88.14	67.05	3.35	14.16
<b>A2</b>	<b>S1</b>	1.05	15.49	86.19	104.77	3.94	2.73
<b>A2</b>	<b>S10</b>	10.48	15.49	86.19	104.77	3.94	12.16
<b>A2</b>	<b>S15</b>	15.72	15.49	86.19	104.77	3.94	17.40
<b>A3</b>	<b>S1</b>	0.86	16.01	86.78	85.74	4.12	3.65
<b>A3</b>	<b>S10</b>	8.58	16.01	86.78	85.74	4.12	11.37
<b>A3</b>	<b>S15</b>	12.00	16.01	86.78	85.74	4.12	15.65

Si se compara la tabla 5-11, con la tabla 5-10, notaremos que todos los porcentajes aumentan, en este caso despreciaremos el porcentaje de agua, humedad y gases, ya que si el ladrillo ya esta cocido no se deben presentar ninguno de estos factores.

Ilustración 5-11 Porcentaje de Metal en Ladrillo S/C contra Porcentaje de Metal en Ladrillo C/C



Como se muestra en la gráfica anterior el porcentaje de metal en el ladrillo con cocción, es mayor que el porcentaje de metal en el ladrillo sin cocción, esto se debe que al evaporarse la humedad y al realizarse las reacciones en el ladrillo con cocción, el peso que corresponde a la humedad y al  $\text{CO}_2$  disminuye el peso final del ladrillo que corresponde a estas dos variables, mientras que el peso sólido aumenta, así aumentando el peso de metales en la cerámica.

## 5.7 LIXIVIACIÓN DE CERÁMICAS.

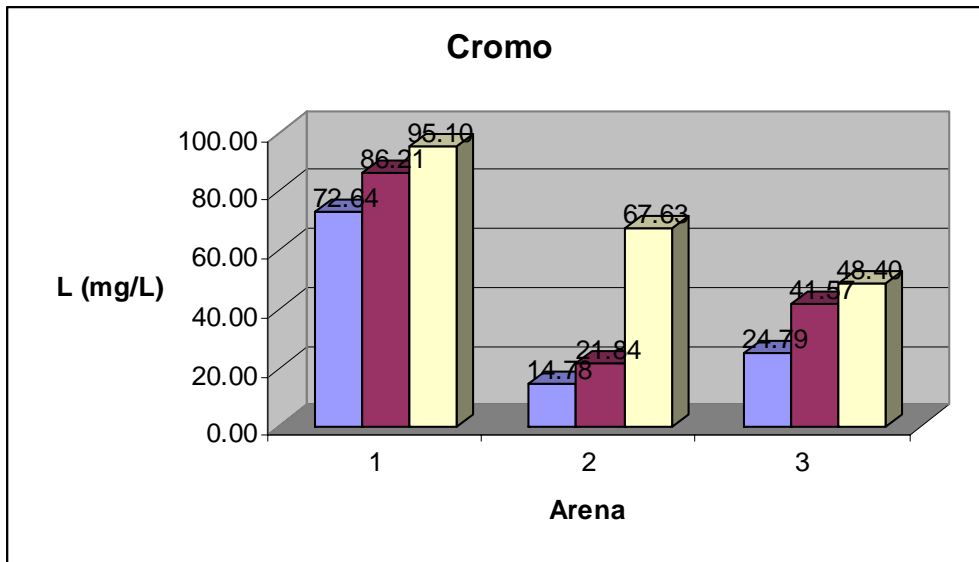
Se fabricaron 54 muestras mezclando las tres diferentes arenas, la arcilla, el barro y las soluciones de sales metálicas a concentraciones de 1%, 10% y 15% (p/v). (Ver Anexo F Procedimiento de Fabricación de Cerámica). Al determinar su lixiviación siguiendo la NOM – 053 – SEMARNAT – 1993, estos fueron los resultados: (Ver Anexo G. Determinación de Ni (Método Colorimétrico))

**Tabla 5-12 Concentraciones en el Lixiviado de las Cerámicas.**

Concentraciones de Lixiviado (mg/L)									
Arena									
% de Metal	1			2			3		
	0.38	3.70	5.45	0.50	4.75	6.95	0.44	4.26	6.26
<b>Cr</b>	72.64	86.21	95.10	14.78	21.84	67.63	24.79	41.57	48.40
<b>Ni</b>	3.94	15.56	19.23	4.71	6.56	13.34	1.22	12.34	17.95
<b>Pb</b>	2.33	16.31	23.84	4.94	8.34	15.26	1.55	11.14	13.17
<b>Cd</b>	4.08	10.83	12.82	2.77	11.70	13.03	3.62	10.63	12.93
<b>Fe</b>	6.35	16.87	27.01	1.28	7.77	27.31	4.06	9.40	47.26
<b>Cu</b>	7.87	28.30	32.76	5.92	19.88	38.38	6.56	26.09	26.96

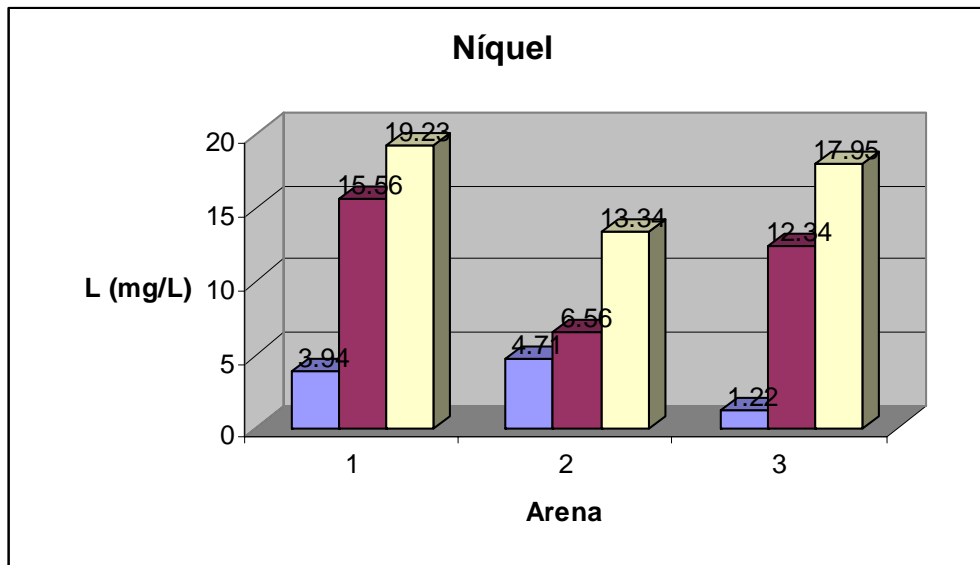
Nota: Volumen del Lixivante 150 ml

Ilustración 5-12 Concentración de Cromo en el Lixiviado de las Cerámicas con Arena 1, 2 y 3.



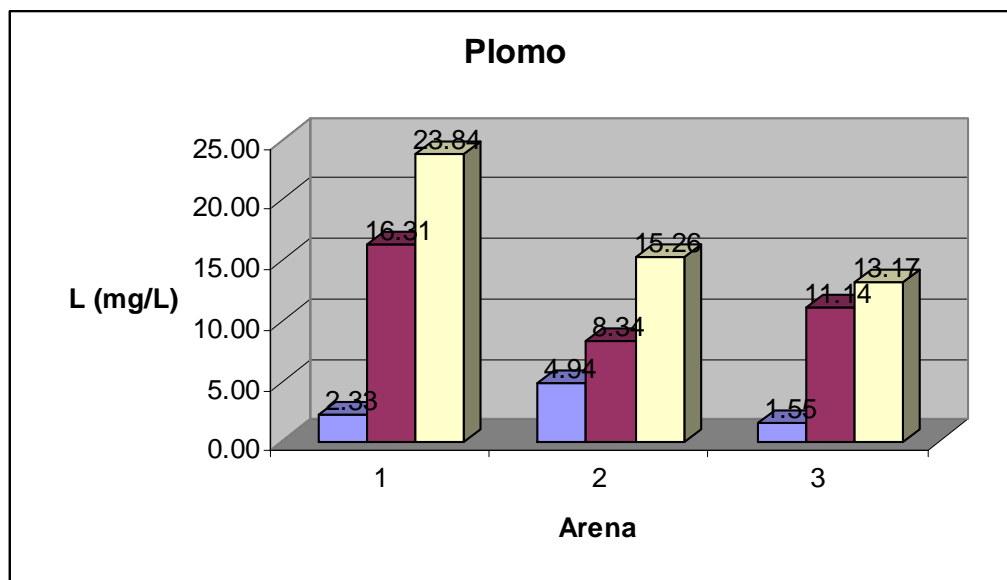
En la gráfica 5-12 se observa que la mezcla con arena tipo dos es la mezcla que menos tiene concentración de Cromo en el lixiviante, mientras que la mezcla con arena tipo uno presenta la mayor concentración.

Ilustración 5-13 Concentración de Níquel en el Lixiviado de las Cerámicas con Arena 1, 2 y 3.



En esta gráfica 5-13 también se observa que las mezclas que presentan menos concentración de Níquel en el lixiviado, son las que contienen arena tipo dos y arena tipo tres, siendo de estas dos la mezcla con arena tipo tres la que contiene menor concentración de Níquel.

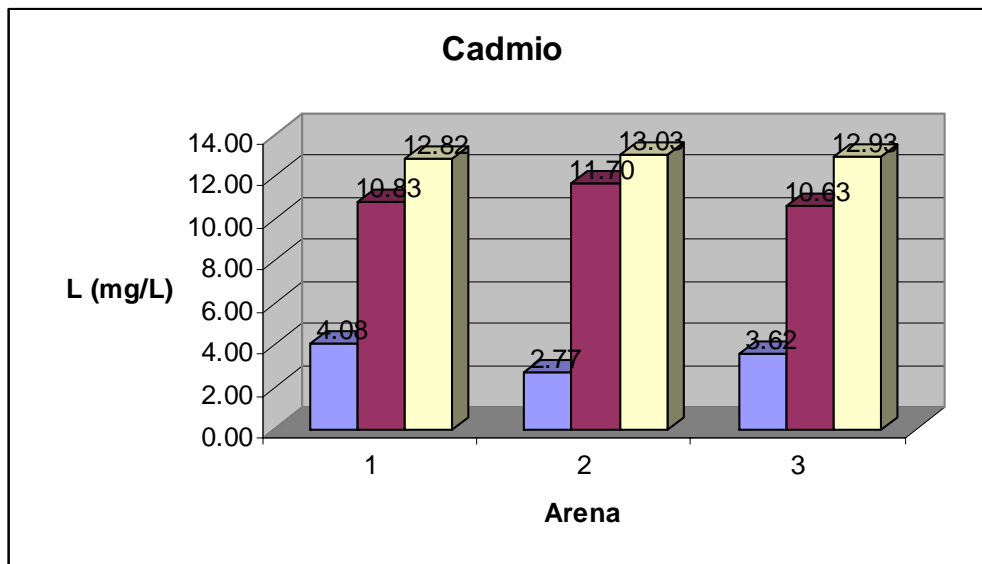
Ilustración 5-14 Concentración de Plomo en el Lixiviado de las Cerámicas con Arena 1, 2 y 3.



Para la gráfica de Plomo las mezclas con mejor eficiencia por lo tanto menor concentración de plomo en el lixiviado son las que contienen arena tipo dos y tipo tres. Al parecer la mezcla con arena tipo tres tiene mejor retención de Plomo, lo cual es falso ya que a la mezcla con arena tipo dos se le añadió mayor porcentaje de Plomo que a la mezcla con arena tipo tres.

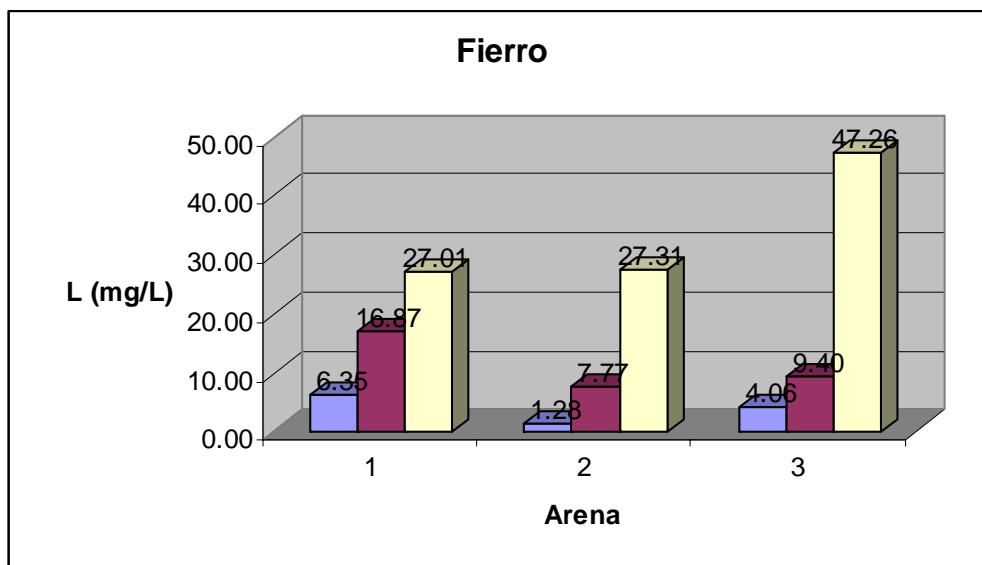


Ilustración 5-15 Concentración de Cromo en el Lixiviado de las Cerámicas con Arena 1, 2 y 3.



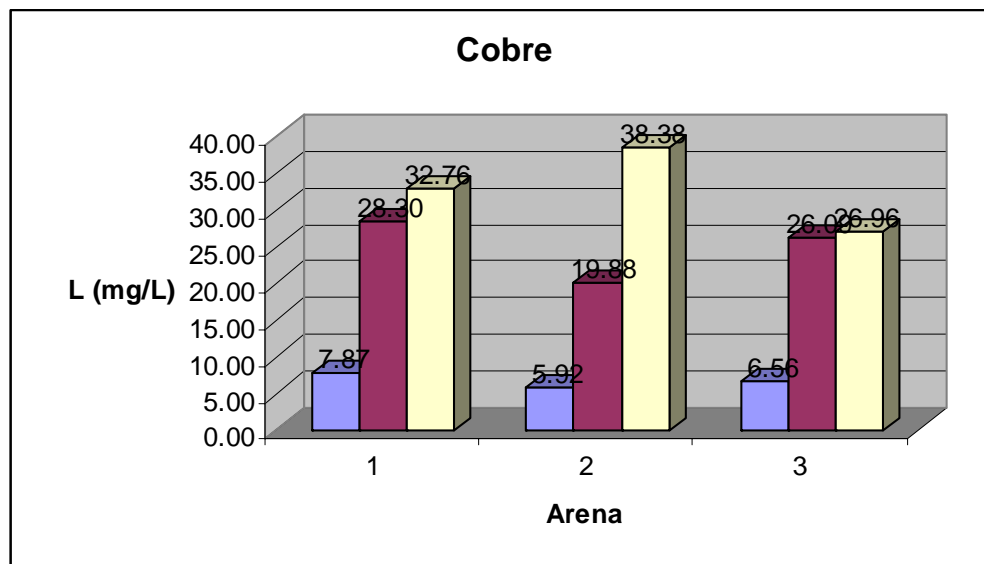
En este caso las tres mezclas presentan relativamente bajas concentraciones de cadmio en el lixiviado, sin embargo la mezcla con arena tipo dos sigue teniendo la mejor eficiencia ya que como se había dicho antes, a esta mezcla se le añadió mayor porcentaje de metales.

Ilustración 5-16 Concentración de Fierro en el Lixiviado de las Cerámicas con Arena 1, 2 y 3.



En esta gráfica no importando que cantidad de Hierro se le añadió a la mezcla, la mezcla con arena tipo dos es la que presentó menor concentración de fierro en el lixiviado. Mientras que la mezcla con arena tipo tres presenta mejor retención de metales exceptuando en el lixiviado de la cerámica con mayor concentración de metales.

Ilustración 5-17 Concentración de Cobre en el Lixiviado de las Cerámicas con Arena 1, 2 y 3.



Para el caso del cobre las mezclas con menor concentración de este metal en el lixiviado son las que contienen arena tipo dos y tipo tres, mientras que la mezcla con arena tipo uno tiene la mayor concentración de cobre en el lixiviado. Aunque este metal no tiene un límite máximo permisible para ser considerado tóxico, es importante analizar su comportamiento en el método de ceramización para su solidificación.

Tabla 5-13 Lixiviado, Metal añadido, Metal extraído y Metal retenido (Cromo)

Cromo									
Arena	Metal	Lixiviado (mg/L)	Límite NOM (mg/L)	Lixiviante (L)	Metal extraído (g)	Metal añadido (g)	Metal retenido (g)	Metal retenido (%)	Metal lixiviado (%)
A1	S1	72.64	5	0.15	0.011	0.31	0.300	96.50%	3.50%
A1	S10	86.21	5	0.15	0.013	3.12	3.106	99.59%	0.41%
A1	S15	95.10	5	0.15	0.014	4.68	4.666	99.70%	0.30%
A2	S1	14.78	5	0.15	0.002	0.50	0.494	99.55%	0.45%
A2	S10	21.84	5	0.15	0.003	4.96	4.958	99.93%	0.07%
A2	S15	67.63	5	0.15	0.010	7.44	7.431	99.86%	0.14%
A3	S1	24.79	5	0.15	0.004	0.40	0.396	99.07%	0.93%
A3	S10	41.57	5	0.15	0.006	4.01	4.005	99.84%	0.16%
A3	S15	48.40	5	0.15	0.007	6.02	6.009	99.88%	0.12%

Tabla 5-14 Lixiviado, Metal añadido, Metal extraído y Metal retenido (Níquel)

Níquel									
Arena	Metal	Lixiviado (mg/L)	Límite NOM (mg/L)	Lixiviante (L)	Metal extraído (g)	Metal añadido (g)	Metal retenido (g)	Metal retenido (%)	Metal lixiviado (%)
A1	S1	3.94	5	0.15	0.001	0.31	0.311	99.81%	0.19%
A1	S10	15.56	5	0.15	0.002	3.12	3.117	99.93%	0.07%
A1	S15	19.23	5	0.15	0.003	4.68	4.677	99.94%	0.06%
A2	S1	4.71	5	0.15	0.001	0.50	0.496	99.86%	0.14%
A2	S10	6.56	5	0.15	0.001	4.96	4.961	99.98%	0.02%
A2	S15	13.34	5	0.15	0.002	7.44	7.439	99.97%	0.03%
A3	S1	1.22	5	0.15	0.000	0.40	0.400	99.95%	0.05%
A3	S10	12.34	5	0.15	0.002	4.01	4.009	99.95%	0.05%
A3	S15	17.95	5	0.15	0.003	6.02	6.013	99.96%	0.04%

Tabla 5-15 Lixiviado, Metal añadido, Metal extraído y Metal retenido (Plomo)

Plomo									
Arena	Metal	Lixiviado (mg/L)	Límite NOM (mg/L)	Lixivante (L)	Metal extraído (g)	Metal añadido (g)	Metal retenido (g)	Metal retenido (%)	Metal lixiviado (%)
A1	S1	2.33	5	0.15	0.000	0.31	0.311	99.89%	0.11%
A1	S10	16.31	5	0.15	0.002	3.12	3.117	99.92%	0.08%
A1	S15	23.84	5	0.15	0.004	4.68	4.676	99.92%	0.08%
A2	S1	4.94	5	0.15	0.001	0.50	0.496	99.85%	0.15%
A2	S10	8.34	5	0.15	0.002	4.96	4.959	99.95%	0.05%
A2	S15	15.26	5	0.15	0.001	7.44	7.439	99.98%	0.02%
A3	S1	1.55	5	0.15	0.000	0.40	0.400	99.94%	0.06%
A3	S10	11.14	5	0.15	0.002	4.01	4.009	99.95%	0.05%
A3	S15	13.17	5	0.15	0.002	6.02	6.014	99.97%	0.03%

Tabla 5-16 Lixiviado, Metal añadido, Metal extraído y Metal retenido (Cobre)

Cobre									
Arena	Metal	Lixiviado (mg/L)	Límite NOM (mg/L)	Lixivante (L)	Metal extraído (g)	Metal añadido (g)	Metal retenido (g)	Metal retenido (%)	Metal lixiviado (%)
A1	S1	7.87	5	0.15	0.001	0.31	0.310	99.62%	0.38%
A1	S10	28.30	5	0.15	0.005	3.12	3.114	99.84%	0.16%
A1	S15	32.76	5	0.15	0.004	4.68	4.676	99.91%	0.09%
A2	S1	5.92	5	0.15	0.001	0.50	0.495	99.82%	0.18%
A2	S10	19.88	5	0.15	0.006	4.96	4.956	99.88%	0.12%
A2	S15	38.38	5	0.15	0.003	7.44	7.438	99.96%	0.04%
A3	S1	6.56	5	0.15	0.001	0.40	0.399	99.75%	0.25%
A3	S10	26.09	5	0.15	0.004	4.01	4.007	99.90%	0.10%
A3	S15	26.96	5	0.15	0.004	6.02	6.012	99.93%	0.07%

Tabla 5-17 Lixiviado, Metal añadido, Metal extraído y Metal retenido (Cadmio)

Cadmio									
Arena	Metal	Lixiviado (mg/L)	Límite NOM (mg/L)	Lixivante (L)	Metal extraído (g)	Metal añadido (g)	Metal retenido (g)	Metal retenido (%)	Metal lixiviado (%)
A1	S1	4.08	1	0.15	0.001	0.31	0.310	99.80%	0.20%
A1	S10	10.83	1	0.15	0.002	3.12	3.118	99.95%	0.05%
A1	S15	12.82	1	0.15	0.002	4.68	4.678	99.96%	0.04%
A2	S1	2.77	1	0.15	0.000	0.50	0.496	99.92%	0.08%
A2	S10	11.70	1	0.15	0.002	4.96	4.960	99.96%	0.04%
A2	S15	13.03	1	0.15	0.002	7.44	7.439	99.97%	0.03%
A3	S1	3.62	1	0.15	0.001	0.40	0.399	99.86%	0.14%
A3	S10	10.63	1	0.15	0.002	4.01	4.009	99.96%	0.04%
A3	S15	12.93	1	0.15	0.002	6.02	6.014	99.97%	0.03%

Tabla 5-18 Lixiviado, Metal añadido, Metal extraído y Metal retenido (Fierro)

Fierro									
Arena	Metal	Lixiviado (mg/L)	Límite NOM (mg/L)	Lixivante (L)	Metal extraído (g)	Metal añadido (g)	Metal retenido (g)	Metal retenido (%)	Metal lixiviado (%)
A1	S1	6.35	10	0.15	0.001	0.31	0.310	99.69%	0.31%
A1	S10	16.87	10	0.15	0.003	3.12	3.117	99.92%	0.08%
A1	S15	27.01	10	0.15	0.003	4.68	4.677	99.95%	0.05%
A2	S1	1.28	10	0.15	0.001	0.50	0.495	99.81%	0.19%
A2	S10	7.77	10	0.15	0.000	4.96	4.962	100.00%	0.00%
A2	S15	27.31	10	0.15	0.007	7.44	7.434	99.90%	0.10%
A3	S1	4.06	10	0.15	0.001	0.40	0.399	99.65%	0.35%
A3	S10	9.40	10	0.15	0.001	4.01	4.010	99.98%	0.02%
A3	S15	47.26	10	0.15	0.001	6.02	6.015	99.98%	0.02%

Siendo que:

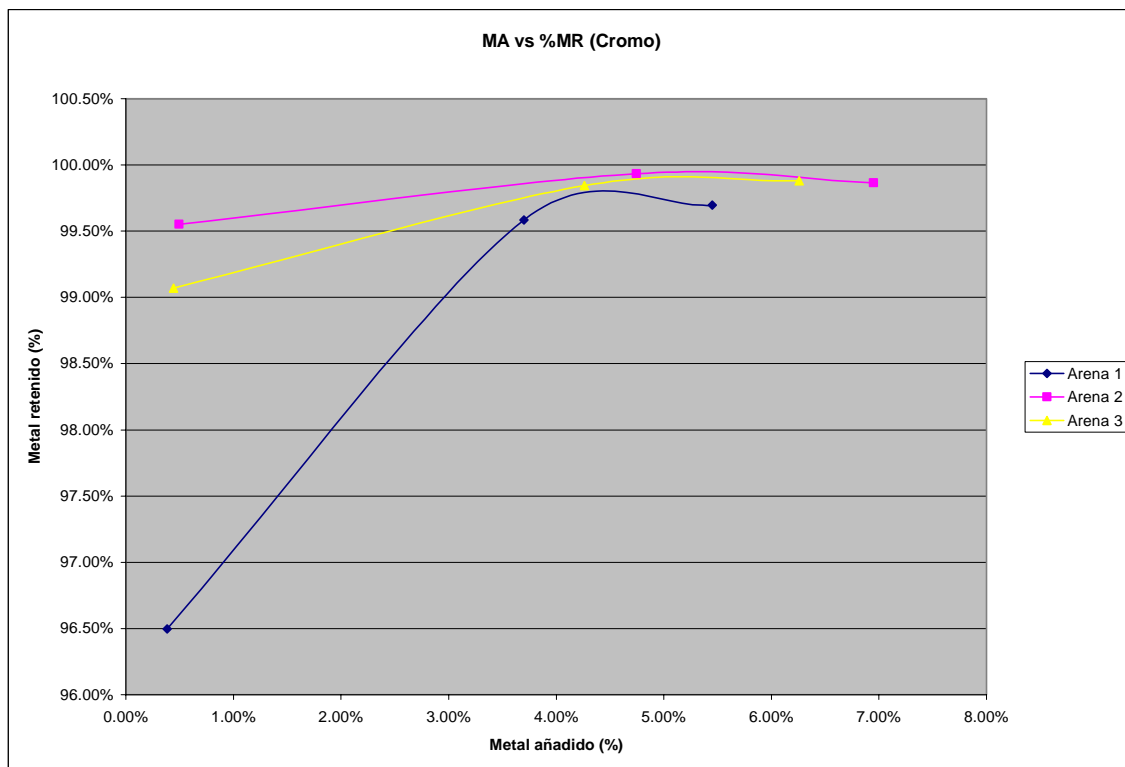
S1, S10, S15. Es la concentración de metales añadida.

A1, A2, A3. Es la mezcla con cada tipo de arena.

De la tabla 5-13 a la 5-18 se muestran los límites máximos permisibles para cada metal, el lixiviado que se obtuvo de la extracción en las cerámicas de experimentación, la cantidad de lixiviante y cálculos de metales retenidos con base a la lixiviación obtenida.

Los gramos de metal extraído se obtuvieron multiplicando el lixiviado por la cantidad de lixiviante, mientras que el metal añadido es una cantidad constante al hacer las soluciones con metales. La cantidad de metal retenido se calculó restando la cantidad de metal extraído al metal añadido.

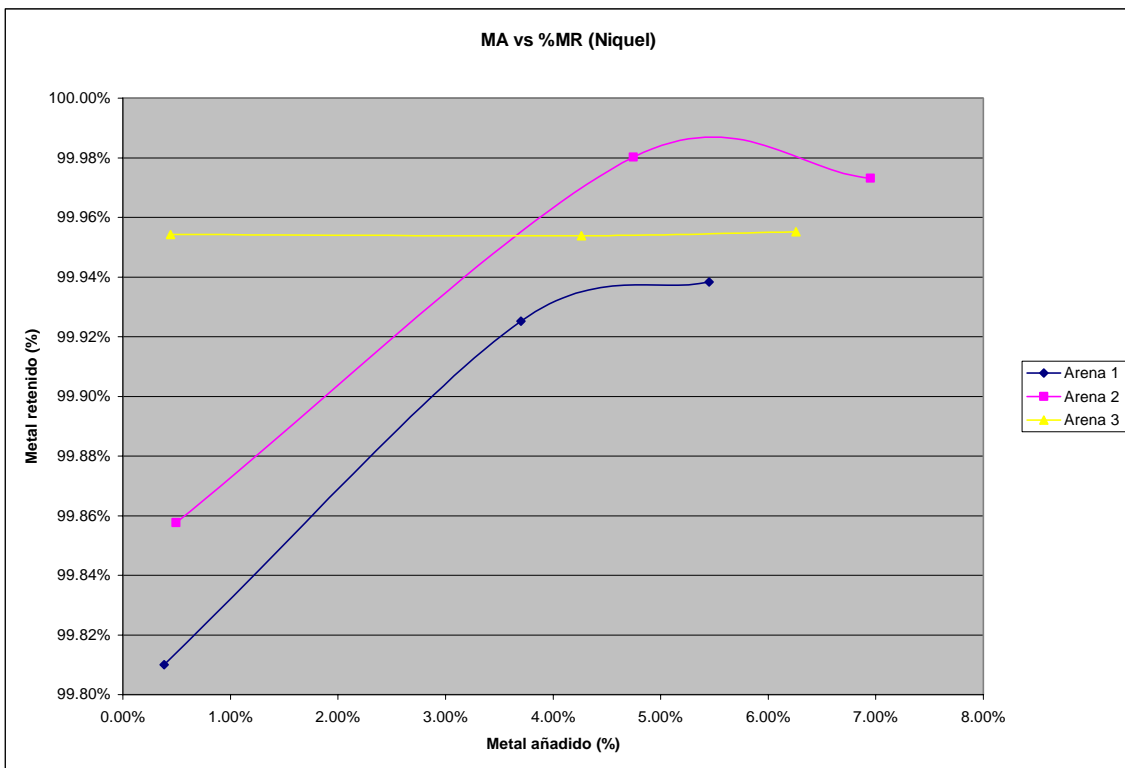
**Ilustración 5-18 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Cr)**



La gráfica nos muestra que la mezcla con arena tipo dos es la que mayor porcentaje de Cromo retenido tiene a pesar de que también muestra la mayor cantidad de metal añadido, esto se debe como ya se dijo antes a que su tamaño de partícula es menor, por lo que se necesita más agua para obtener su plasticidad y también debido a su diámetro de partícula las reacciones se realizan con más eficiencia que en un tamaño de partícula más grande.

La mezcla con menos eficiencia en términos de cromo retenido es la mezcla con arena tipo tres, para concluir que la mezcla con menos porcentaje de metal retenido es la que contiene arena tipo uno, la cual con poca cantidad de metal añadido también muestra una eficiencia muy baja con respecto a las eficiencias de las otras mezclas.

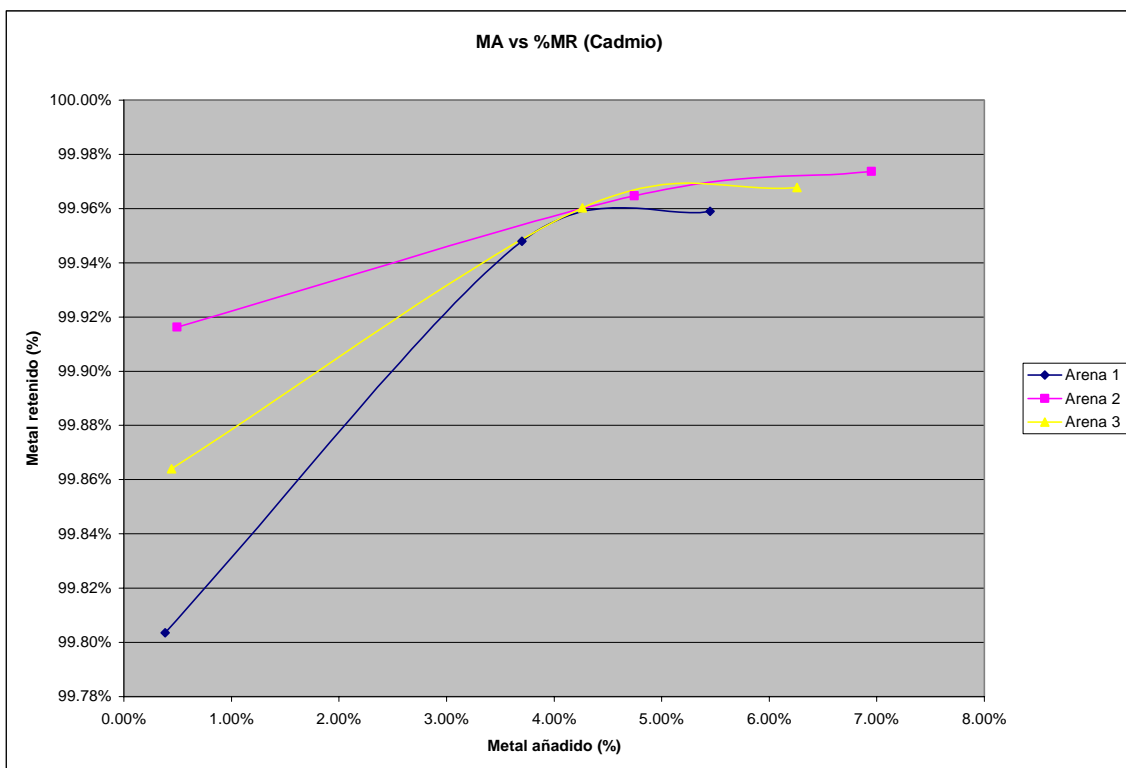
Ilustración 5-19 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Ni)



En el caso de Níquel las mezclas se comportan con la misma tendencia que en el Cromo ya que la mezcla con arena tipo dos es la que mayor eficiencia de retención muestra. Sin embargo el porcentaje de metal retenido es más alto en cualquiera de las tres mezclas no bajando del 99.80 %.

La mezcla con arena tipo tres muestra que no importando la cantidad de níquel añadido, su eficiencia es casi la misma. Mientras que en las otras dos mezclas muestra una tendencia a que entre mayor es la cantidad de metal añadido, mayor es la eficiencia en la retención de metales.

Ilustración 5-20 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Cd)

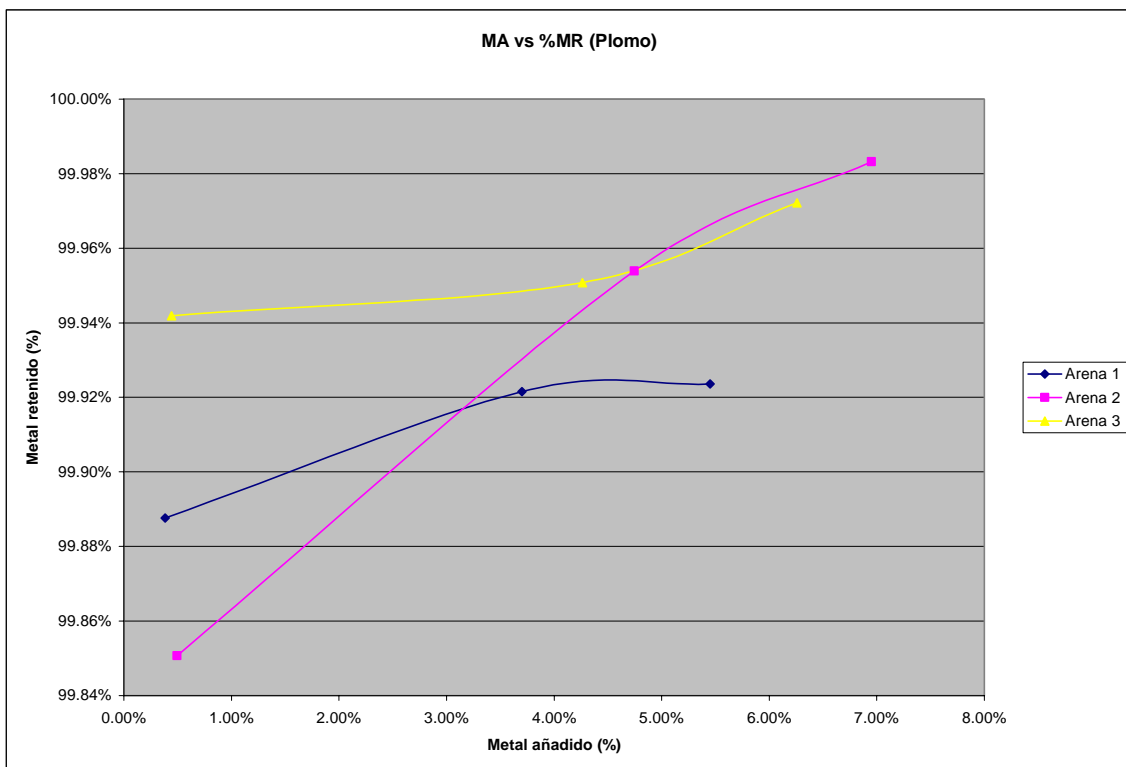


En el caso de Cadmio, las mezclas se comportan muy parecido al caso del Níquel ya que la mezcla con arena tipo dos es la que mayor porcentaje de metal retenido muestra. La mezcla con arena tipo tres muestra casi las mismas eficiencias que la mezcla con arena tipo dos, sin embargo se le añadió menor



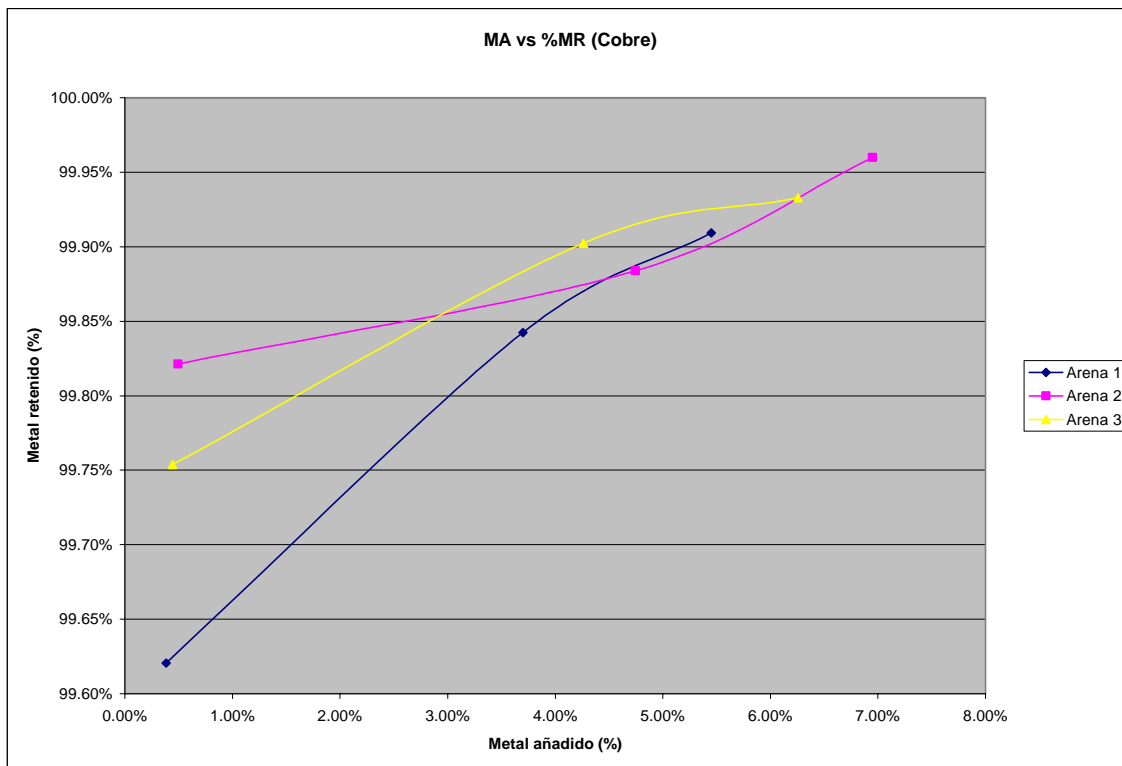
porcentaje de metal. La eficiencia de estas mezclas es mayor del 99.80% lo que demuestra su alta capacidad de retención.

Ilustración 5-21 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Pb)



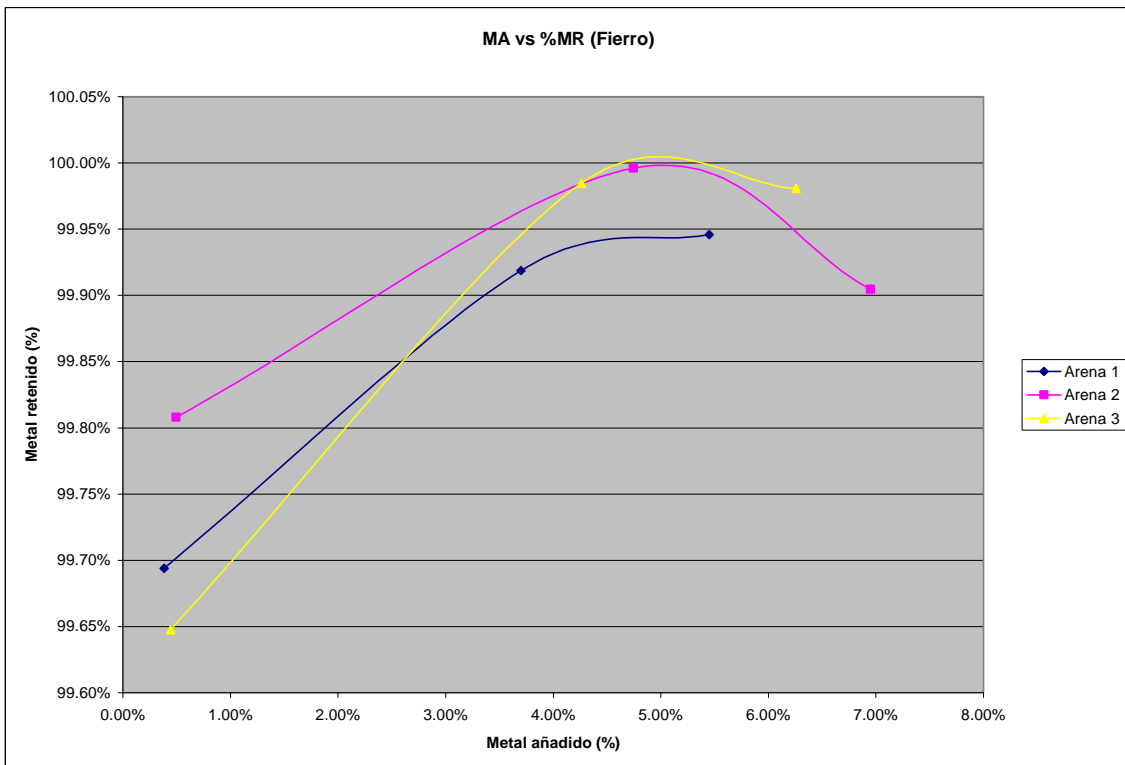
Al igual que en los metales anteriores, la mezcla con arena tipo dos tiene la mejor eficiencia en retención de metales, llegando casi a un 99.99% de retención. La mezcla con arena tipo tres, muestra un comportamiento casi de eficiencia uniforme al ir aumentando el porcentaje de Plomo añadido, este comportamiento uniforme ya se había observado en el caso de Níquel. La mezcla con arena tipo uno sigue la misma tendencia que en los metales pasados, teniendo la menor eficiencia de retención.

Ilustración 5-22 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Cu)



La mezcla con arena tipo dos muestra la mejor eficiencia de retención de metal a más altas concentraciones. El porcentaje de retención varía del 99.60 % al casi 99.96%. Al igual que en gráficas anteriores la mezcla con arena tipo tres también tiene una alta capacidad de retención de Cobre, mientras que la mezcla con arena tipo uno muestra un poco de deficiencia en la retención de éste metal, sin embargo no es una diferencia muy grande de eficiencias entre una mezcla y otra.

Ilustración 5-23 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Fe)



También en esta gráfica la mezcla con arena tipo dos muestra una alta eficiencia en retención de fierro, seguida muy de cerca por la mezcla con arena tipo tres. La mezcla con arena tipo uno es la que menor porcentaje de metal retenido muestra. En esta gráfica se visualiza el comportamiento de la curva cuando existe cristalización, ya que al tener un alto porcentaje de metal añadido, el porcentaje de metal retenido también baja, puesto que el metal cristalizado no se determina en la prueba de lixiviación.

Ilustración 5-24 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Arena 1)

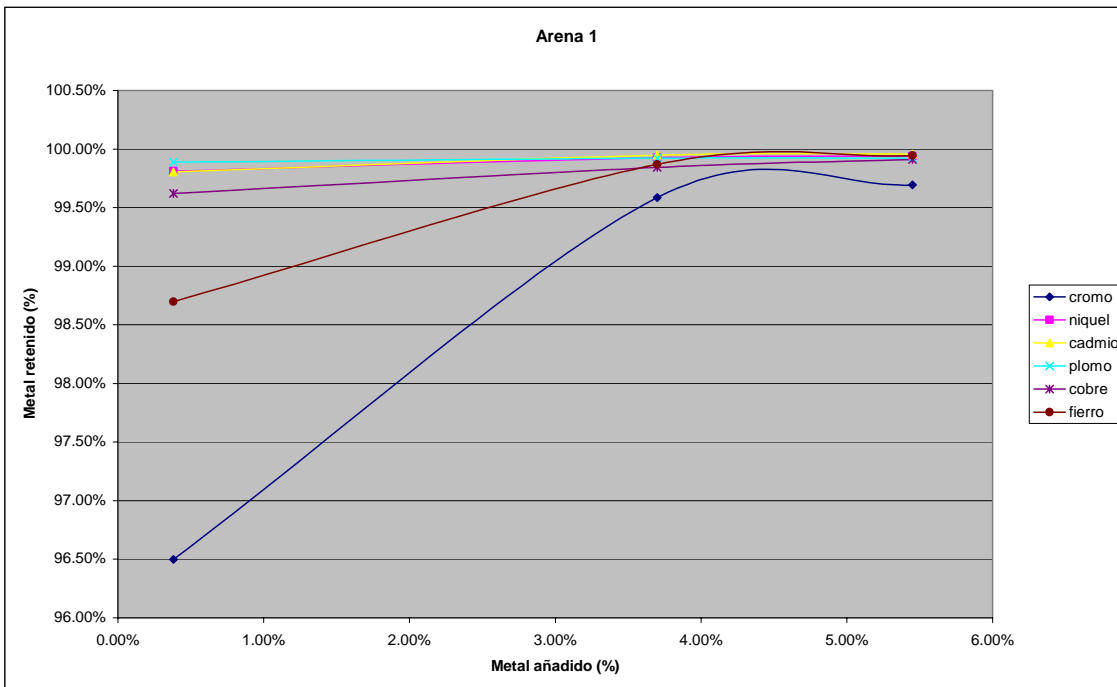


Ilustración 5-25 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Arena 2)

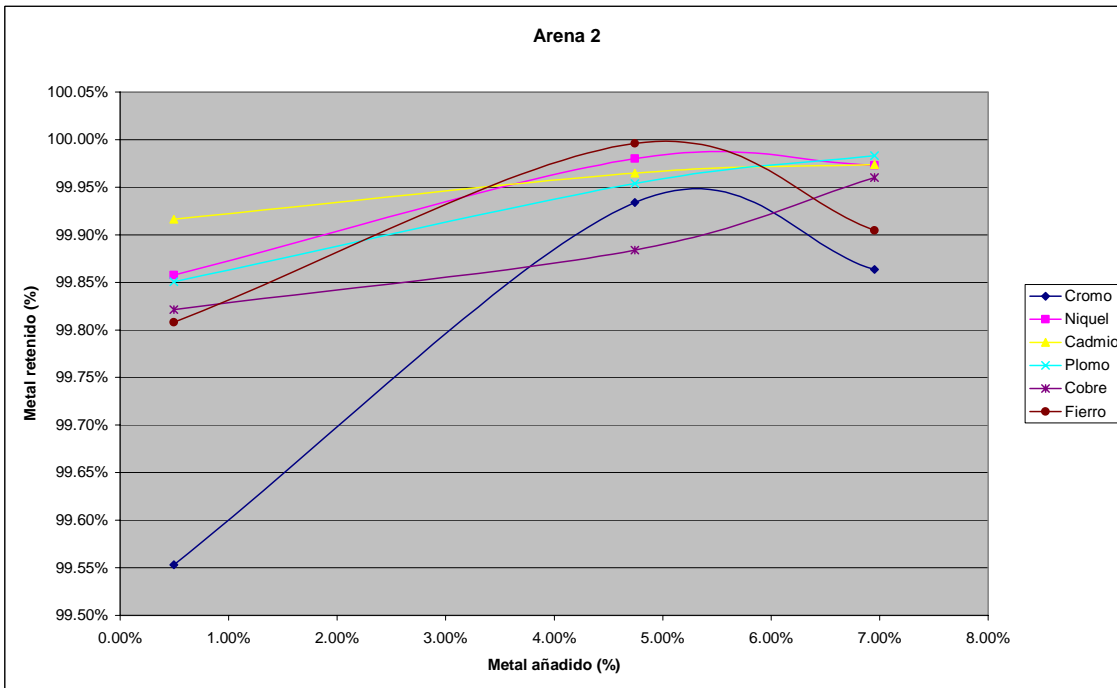
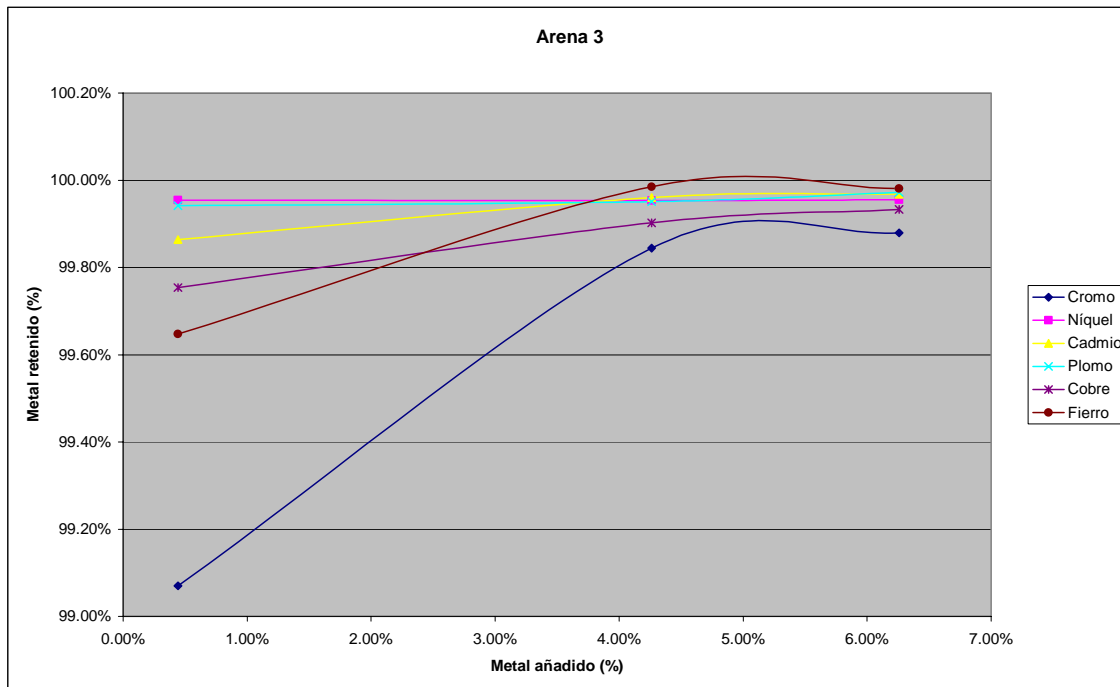


Ilustración 5-26 Porcentaje de Metal Añadido contra Porcentaje de Metal Retenido (Arena 3)



En estas gráficas se empalmaron las curvas de cada metal con un tipo de arena, para así analizar el comportamiento de cada mezcla con cada tipo de arena dependiendo el metal con el que se trabajó. En las tres mezclas, se observa que las eficiencias son casi constantes a medida que sube el porcentaje de metal añadido, excepto en el caso del Cromo donde en las tres mezclas en el menor porcentaje de metal añadido, la eficiencia es mucho más baja que en los otros metales y al subir el porcentaje de metal añadido, el porcentaje de metal retenido aumenta en gran medida para llegar casi a la máxima eficiencia.

Ilustración 5-27 Porcentaje de Metal Añadido contra Concentración en el Lixiviado (Cr)

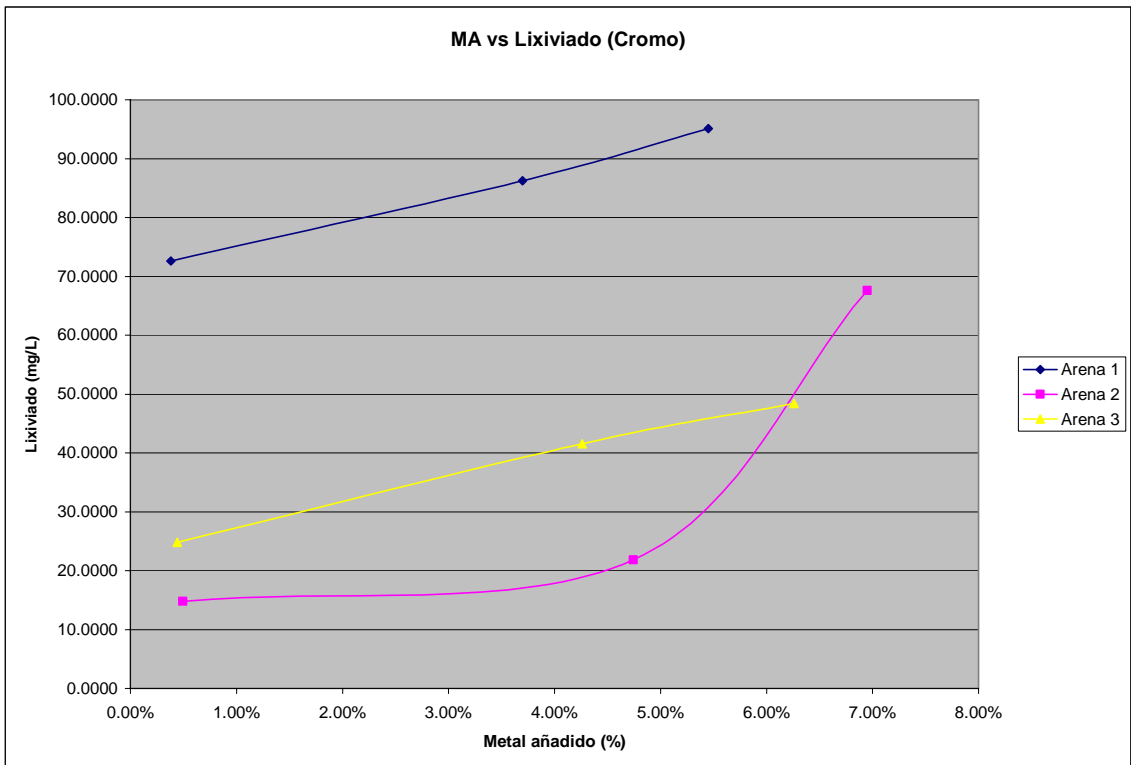


Ilustración 5-28 Porcentaje de Metal Añadido contra Concentración en el Lixiviado (Ni)

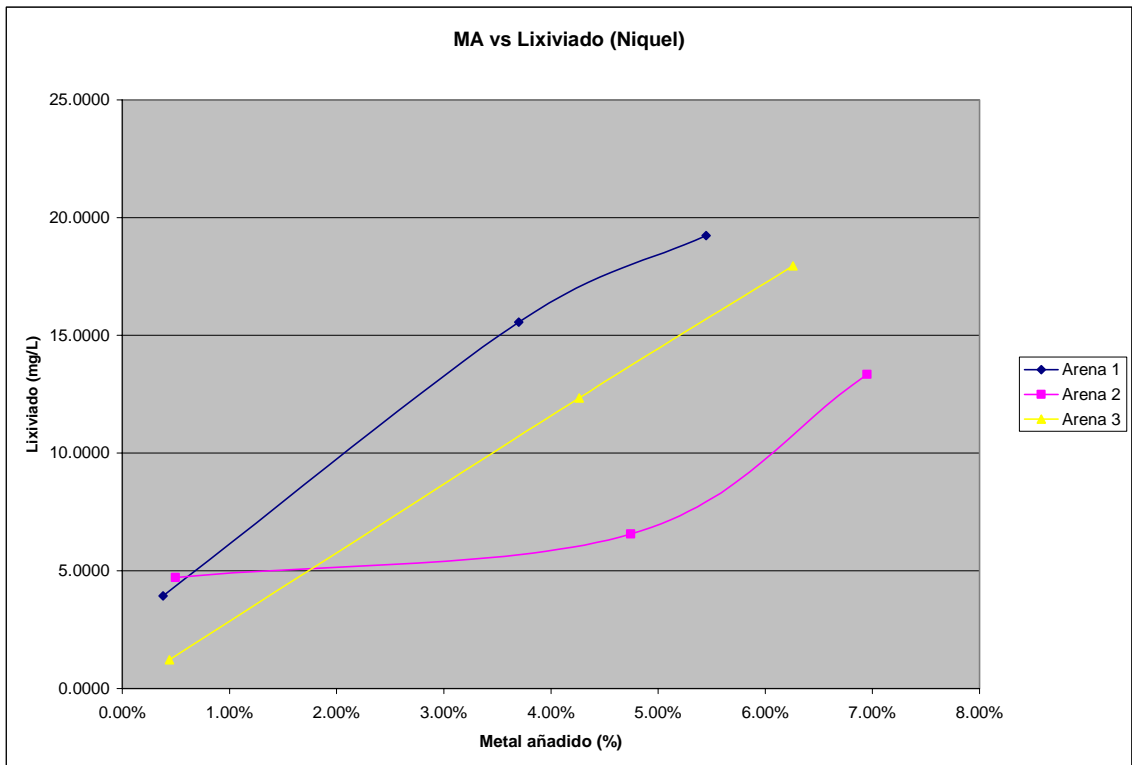


Ilustración 5-29 Porcentaje de Metal Añadido contra Concentración en el Lixiviado (Cd)

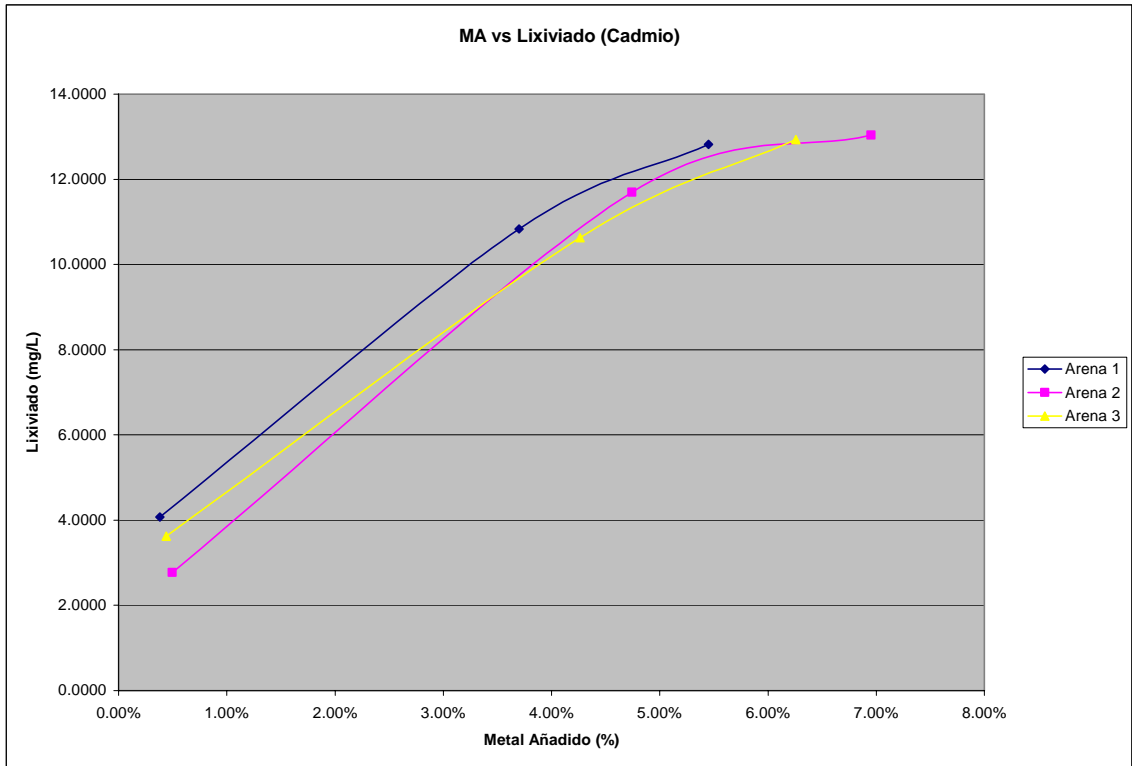




Ilustración 5-30 Porcentaje de Metal Añadido contra Concentración en el Lixiviado (Pb)

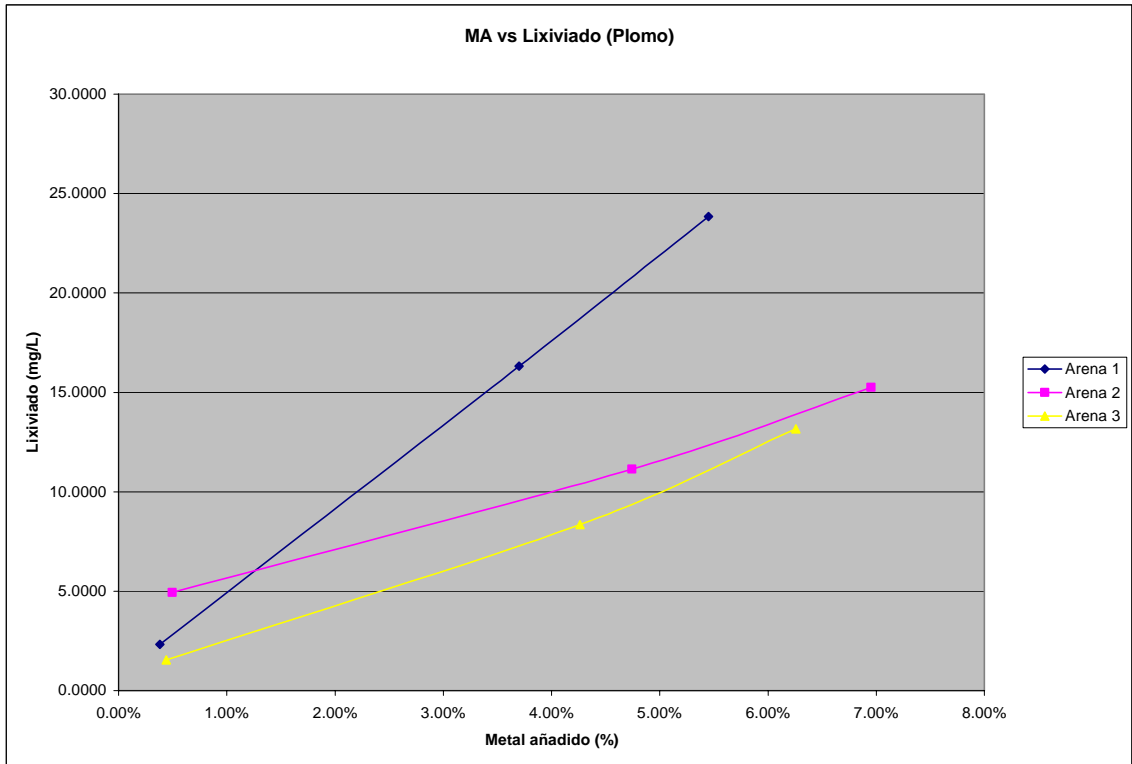


Ilustración 5-31 Porcentaje de Metal Añadido contra Concentración en el Lixiviado (Cu)

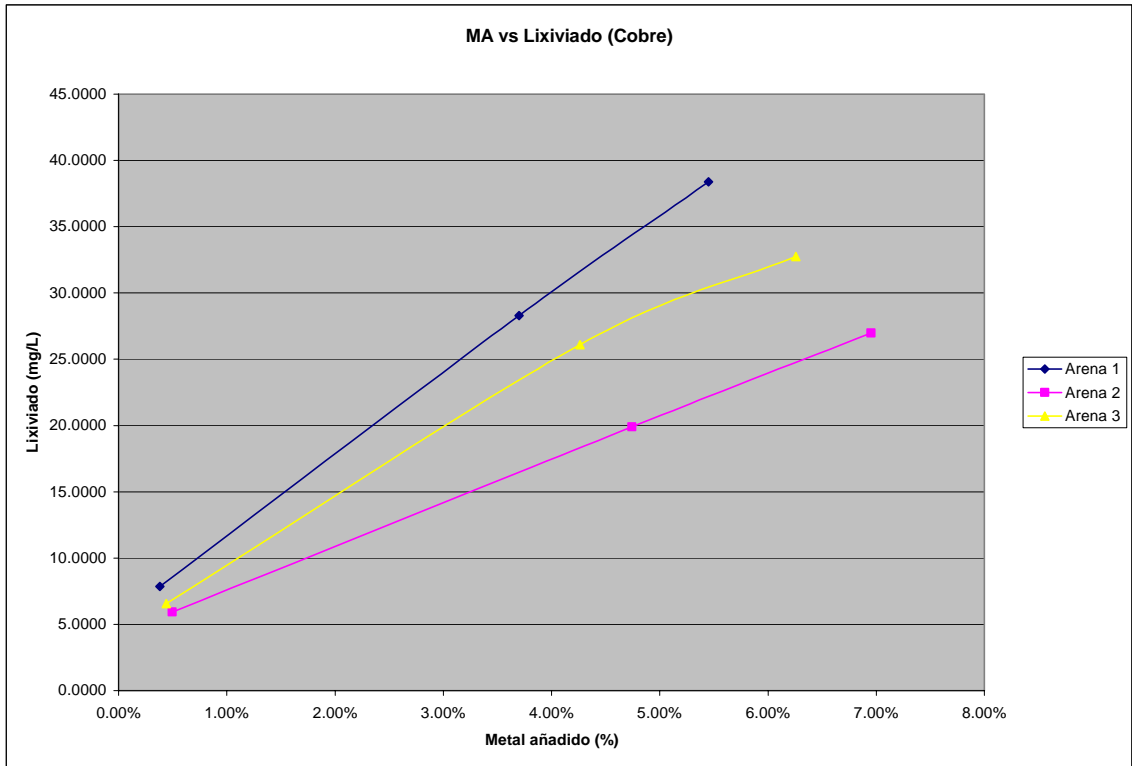
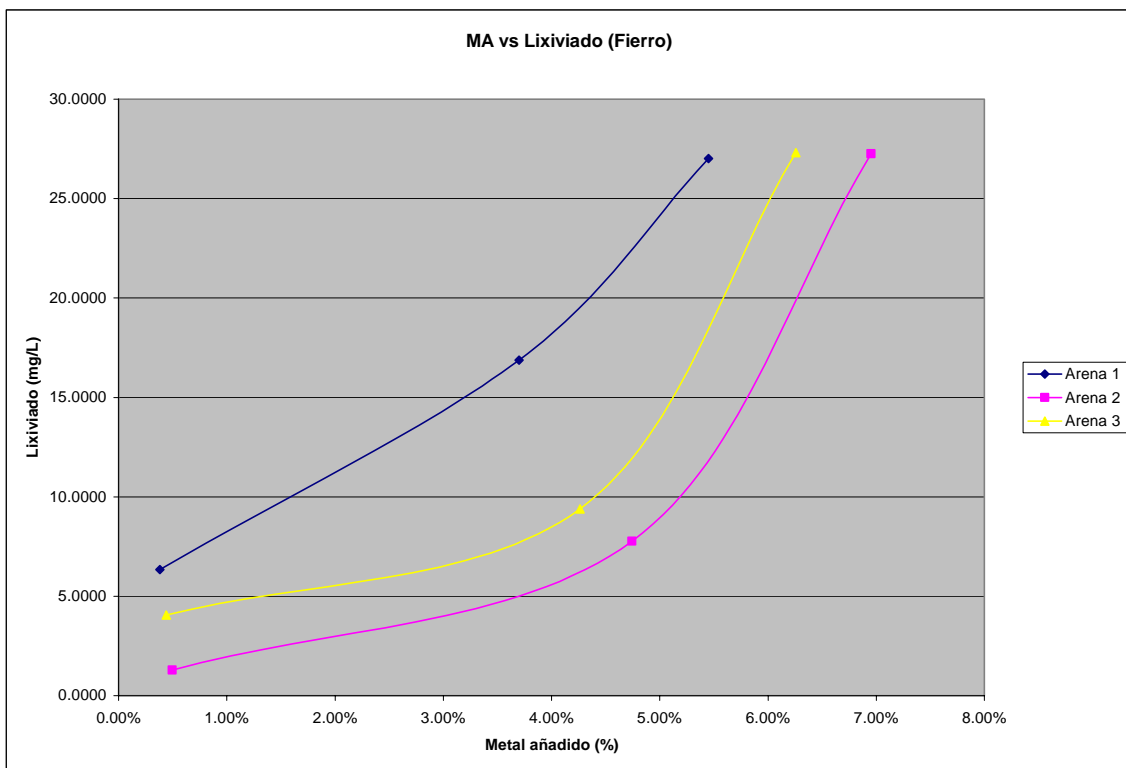


Ilustración 5-32 Porcentaje de Metal Añadido contra Concentración en el Lixiviado (Fe)



Entre más metal añadido mayor será la concentración de metal lixiviado. Con las gráficas obtenidas se puede obtener la concentración máxima de metal a añadir para obtener un lixiviado que llegue a la concentración máxima permitida conforme a la NOM – 052 – SEMARNAT – 1993. La concentración máxima a añadir se puede obtener haciendo una regresión de las gráficas obtenidas y par un valor de “y” del límite máximo permisible.