

6. RESULTADOS

6.1 Preparación de probetas

Los primeros resultados que fue posible obtener, se dieron a partir del momento de la elaboración de las mezclas para la construcción de las probetas, aquí se observó que la mezcla que contenía la concentración de sal de cromo de 10%, no presentó fraguado, siendo la única probeta que no pudo construirse; las otras mezclas con las concentraciones de 1, 3, 5 y 10 % de Cloruro de Níquel y Acetato de Plomo, así como las mezclas de 1, 3 y 5% del Trióxido de Cromo si presentaron el fraguado y se pudo fabricar las probetas. Las imágenes de la aplicación de esta prueba así como de los especímenes se muestran en el apéndice de fotografías.

Metal	Concentración (%)	Tiempo de fraguado (hrs)	Tiempo de curado (días)	Forma	Volumen (cm ³)	Observaciones
Cromo	0.520012	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Cromo	1.560036	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Cromo	2.600060	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Cromo	5.200120	24	*	*	*	<i>No Fraguó</i>
Níquel	0.246992	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Níquel	0.740976	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Níquel	1.234960	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Níquel	2.469920	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Plomo	0.546200	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Plomo	1.638600	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Plomo	2.730999	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal
Plomo	5.461999	24	28	Cilindro	5560	Fraguado normal

Tabla 25 Tabla de resultados de la preparación de probetas.

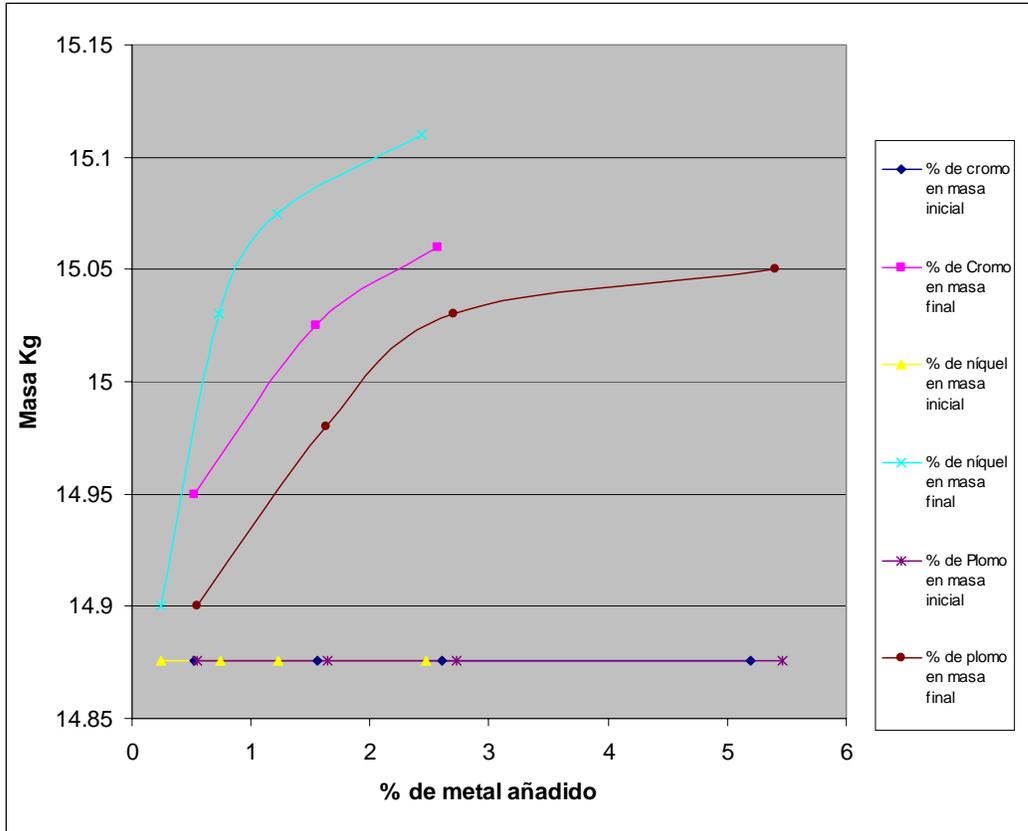
6.2 Permeabilidad

Antes de aplicar la prueba de compresión, los especímenes fueron pesados para determinar el incremento de peso que había ocurrido, principalmente por la adición de agua al ensayo, la determinación de los pesos y de los incrementos, se muestran en la tabla 27.

Metal	Concentración (%)	Peso Inicial teórico (Kg)	Peso final (Kg)	Aumento Peso (Kg)	Aumento Peso (%)
Cromo	0.520012001	14.876	14.950	0.074	0.15024
Cromo	1.560036004	14.876	15.025	0.149	0.15175
Cromo	2.600060006	14.876	15.060	0.184	0.15246
Cromo	5.200120012	14.876	-----	-----	----
Niquel	0.246992007	14.876	14.900	0.024	0.14924
Niquel	0.74097602	14.876	15.030	0.154	0.15186
Niquel	1.234960034	14.876	15.075	0.199	0.15277
Niquel	2.469920067	14.876	15.110	0.234	0.15348
Plomo	0.546199879	14.876	14.900	0.024	0.14924
Plomo	1.638599636	14.876	14.980	0.104	0.15085
Plomo	2.730999394	14.876	15.030	0.154	0.15186
Plomo	5.461998787	14.876	15.050	0.174	0.15226

Tabla 26. Determinación de incremento de pesos después del procedimiento de curado.

Una vez determinados estos pesos, se observa que existe un pequeño incremento en cuestión del peso, esto es justificado por el procedimiento de curado al que fue sometido para recuperar el agua perdida durante la reacción exotérmica ocurrida en la formación de la mezcla, adicionalmente de la reacción ocurrida por la adición de cada una de las sales metálicas usadas.



Gráfica 1. Variación del porcentaje de metal adicionado, respecto a la masa final o inicial.

6.3 Pruebas de compresión.

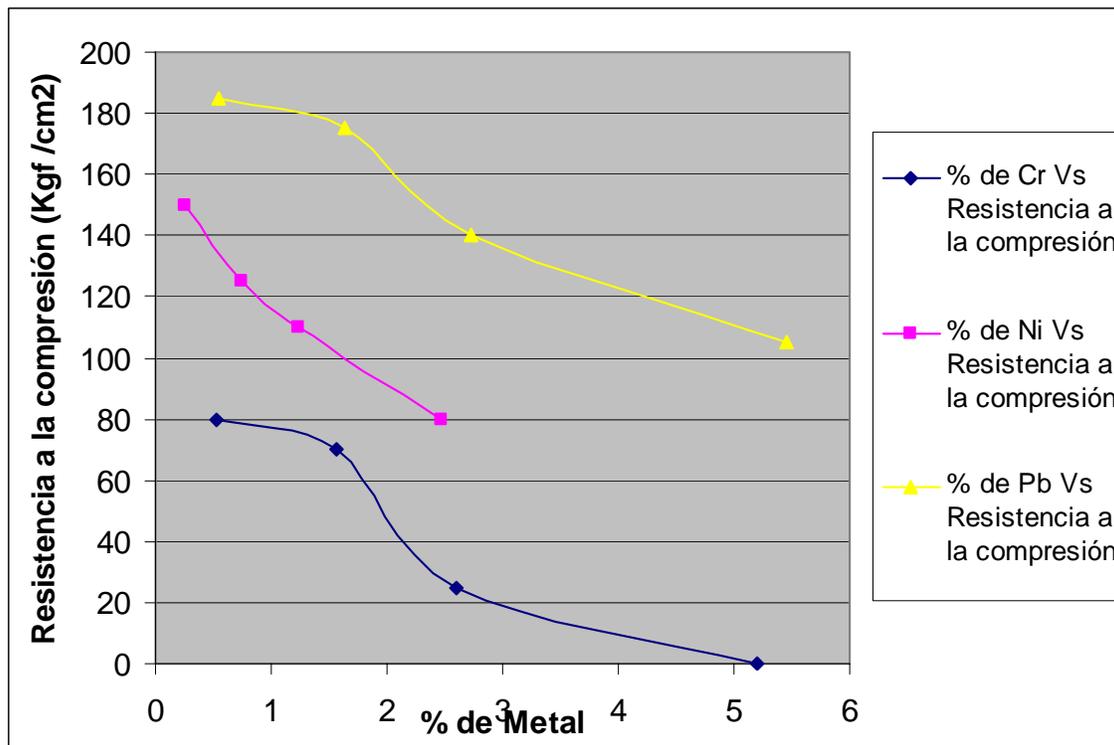
Una vez que se había cumplido el tiempo de curado, de 28 días, de las probetas, era necesario aplicar las pruebas de compresión para evaluar la afectación de las concentraciones metálicas en la resistencia a la compresión de las probetas fabricadas. Las imágenes de la aplicación de esta prueba así como de los especímenes se muestran en el apéndice de fotos.

Una vez efectuadas las pruebas, los resultados fueron los siguientes:

Metal	Concentración %	Resistencia obtenida kgf/cm2	Porcentaje obtenido respecto a lo diseñado %	Disminución respecto a lo diseñado %
Cromo	0.5200120	80	26.67	73.33
Cromo	1.5600360	70	23.33	76.67
Cromo	2.6000600	25	8.33	91.67
Cromo	5.2001200	--	--	---
Niquel	0.2469920	150	50.00	50.00
Niquel	0.7409760	125	41.67	58.33
Niquel	1.2349600	110	36.67	63.33
Niquel	2.4699201	80	26.67	73.33
Plomo	0.5461999	185	61.67	38.33
Plomo	1.6385996	175	58.33	41.67
Plomo	2.7309994	140	46.67	53.33
Plomo	5.4619988	105	35.00	65.00

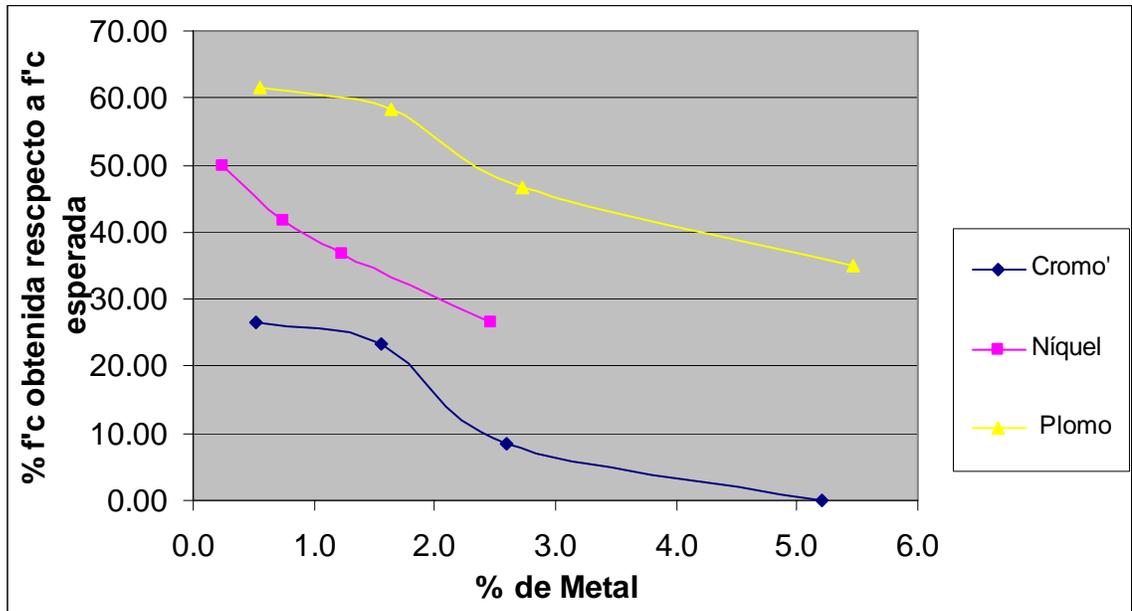
Tabla 27 Resultados de las pruebas de compresión.

A continuación se muestra el comportamiento de la concentración de metal contra la resistencia a la compresión en la Gráfica 2



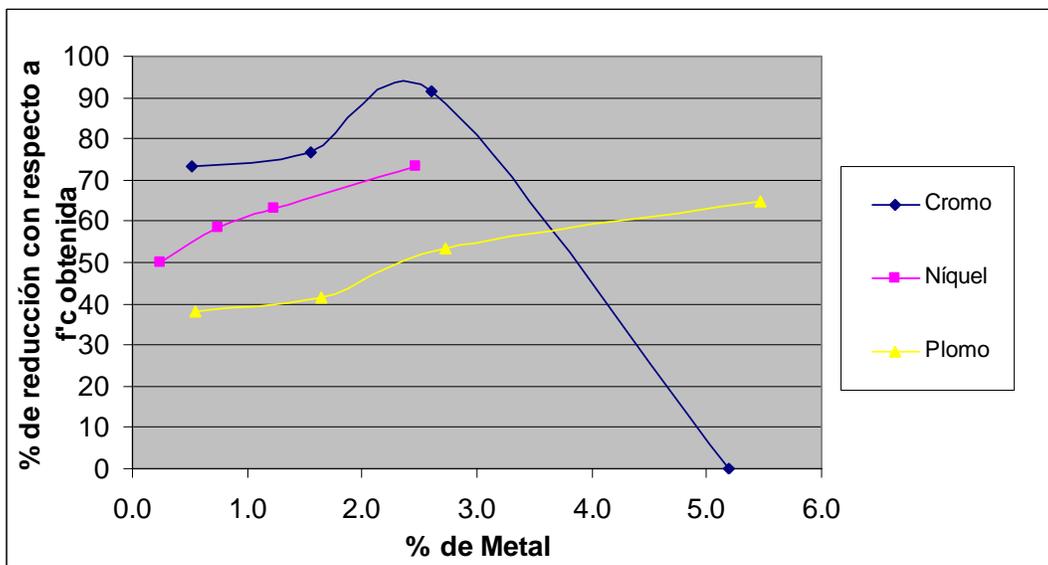
Gráfica 2. Porcentaje de metal añadido vs. Resistencia a la compresión

A continuación, la gráfica 3 muestra el porcentaje de $f'c$ obtenida con respecto a la $f'c$ esperada con respecto a la % de metal añadido.



Gráfica 3. Porcentaje de metal vs. Porcentaje de resistencia a la compresión obtenida, respecto a la resistencia a la compresión diseñada.

A continuación, la gráfica 4 muestra el porcentaje de $f'c$ reducida con respecto a la $f'c$ esperada con respecto a la % de metal añadido.



Gráfica 4. Porcentaje de metal vs. Porcentaje de reducción de $f'c$ respecto a la $f'c$ diseñada..

6.4. Análisis de Lixiviados

Una vez que se ha cumplido el tiempo de extracción para realizar la extracción según la NOM -053-SEMARNAT-1993, se filtraron los lixiviados y se realizaron diluciones para garantizar que existieran lecturas en el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, los resultados de la dilución se muestran abajo.

Para realizar las diluciones, se partió teóricamente de una lixiviación máxima del 100% para cada uno de los contenidos de las diferentes muestras, por lo que estas diluciones fueron hechas de la siguiente manera:

Metal	Concentración de metal (%)	Concentración supuesta (ppm)	Dilución 1	Concentración Esperada (ppm)	Dilución 2	Concentración Esperada (ppm)
Cromo	0.520012001	500	1/20	25	1/2	12.5
Cromo	1.560036004	1666	1/100	16.6	1/2	8.3
Cromo	2.600060006	2500	1/100	25	1/2	12.5
Cromo	5.200120012	5000	1/200	25	1/2	12.5
Plomo	0.246992007	500	1/20	25	1/2	12.5
Plomo	0.74097602	1666	1/100	16.6	1/2	8.3
Plomo	1.234960034	2500	1/100	25	1/2	12.5
Plomo	2.469920067	5000	1/200	25	1/2	12.5
Níquel	0.546199879	500	1/20	25	1/2	12.5
Níquel	1.638599636	1666	1/100	16.6	1/2	8.3
Níquel	2.730999394	2500	1/100	25	1/2	12.5
Níquel	5.461998787	5000	1/200	25	1/2	12.5

Tabla 28 Diluciones de muestras para análisis de lixiviados.

También fue necesario preparar algunos estándares los cuales se realizan a partir del compuesto metálico o en su defecto de sales con pureza elevada, para realizar los estándares se utilizó: Plomo metálico, Dicromato de potasio y Cloruro de Níquel, estos estándares tenían que tener una concentración de 1000 partes por millón, y a partir de esta concentración se prepararon

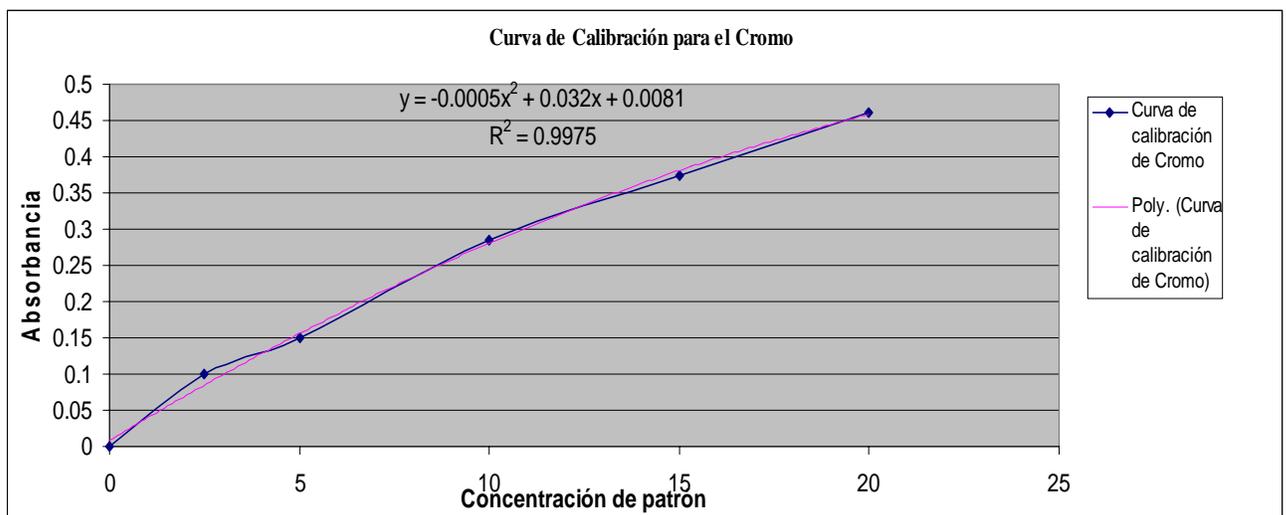
concentraciones patrón para obtener una curva de calibración, las soluciones preparadas fueron las siguientes:

Plomo	Níquel	Cromo
5ppm	2.5ppm	2.5ppm
10ppm	5ppm	5ppm
20ppm	10ppm	10ppm
25ppm	15ppm	15ppm
30ppm	20ppm	20ppm

Tabla 29. Concentraciones para la curva patrón de cada uno de los metales a determinar.

Con estas soluciones a estas concentraciones, se elaboró la curva de calibración, midiendo su absorbancia y graficando concentración vs absorbancia. Las curvas se ven de la siguiente manera.

6.4.1 CROMO



Grafica 5. Curva de calibración para la determinación de cromo en el espectrofotómetro.

Una vez preparadas las soluciones patrón, las soluciones diluidas de los lixiviados y la curva de calibración correctamente, se inició la lectura para determinar la concentración de los metales en cada una de las diluciones, para esto, es necesario introducir un blanco que en este caso fue elaborado a base de 5 ml de Ácido Nítrico aforado a 1000 ml de agua destilada. Una vez que el blanco marca 0 de absorbancia, cada muestra puede ser determinada, esta determinación se lleva a cabo introduciendo un pequeño tubo de plástico a la solución y observando la concentración obtenida. Cabe mencionar que este aparato solo puede determinar concentraciones de 0 a 50 ppm de allí, que es necesario realizar diluciones para poder obtener valores de lectura. Los resultados obtenidos de la medición de Cromo son los siguientes:

Resultados de la determinación de Cromo					
Conc de sal (%)	Cromo en los ensayos (%)	Conc final lixiviada (mg/L)	Masa lixiv total (g)	Masa en cemento de metal (g)	Retención (%)
1	0.5147%	145.84	43.9732	76.5669	42.5690
3	1.5441%	509.8	153.7169	229.7008	33.0795
5	2.5736%	797.4	240.4273	382.8346	37.1981
10 (1)	5.1473%	1000000 (1)	765.6692 (1)	765.6692	0.0000

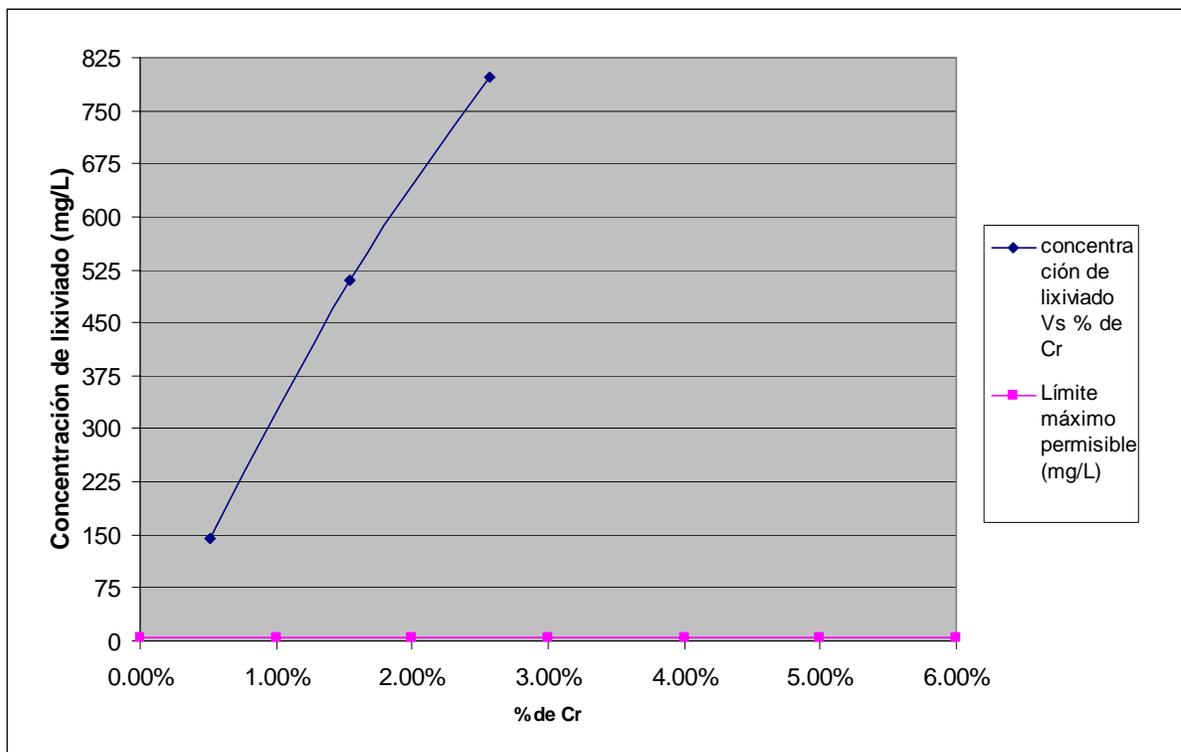
Tabla 30. Concentraciones de lixiviados de Cromo

Resultados de la determinación de Cromo					
Conc de sal (%)	Cromo en los ensayos (%)	Conc final lixiviada (mg/L)	Limite NOM-052 (mg/L)	Veces fuera de la NOM 052	Máximo de Cromo para NOM (%)
1	0.5147%	145.84	5	28.168	0.01503%
3	1.5441%	509.8	5	100.96	0.01503%
5	2.5736%	797.4	5	158.48	0.01503%
10 (1)	5.1473%	1000000 (1)	5	199999 (1)	0.01503%

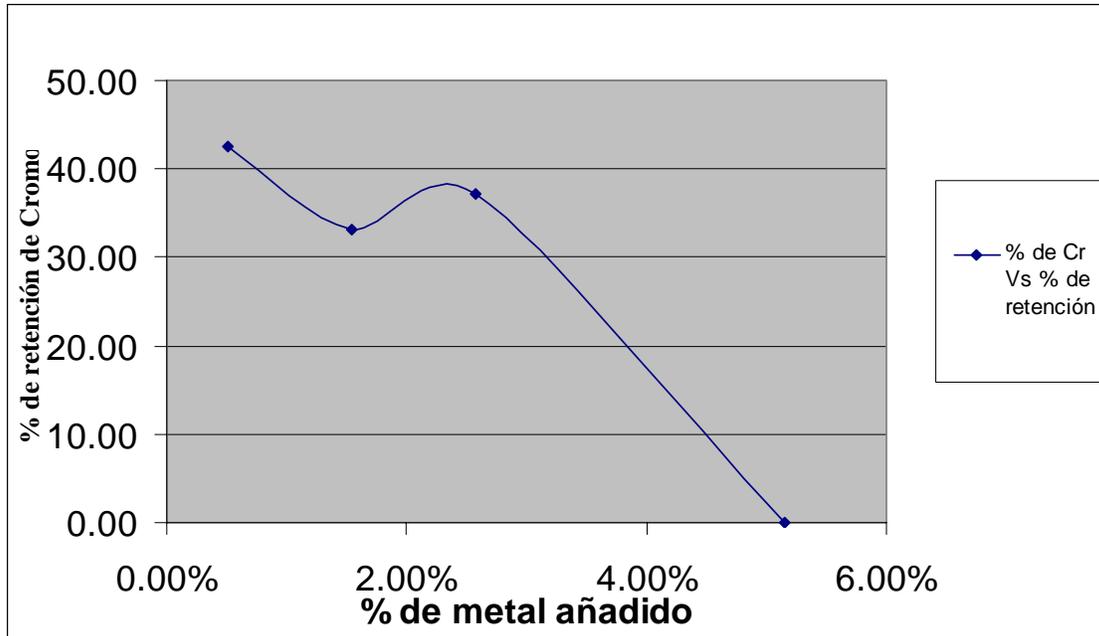
Tabla 31. Tabla comparativa de la concentración obtenida con la Normatividad Mexicana

(1) Estos son valores teóricos, debido a que como se mencionó desde el inicio, las pruebas a la concentración de Cromo con 5.1473% no fueron aplicadas, debido a que la probeta no presentó fraguado

En la Tabla 30 se muestra en la última columna el máximo de porcentaje de cromo como metal, que puede ser añadido para poder cumplir con la Normatividad Mexicana en su límite máximo permisible de 5 partes por millón o 5 mg/L.



Grafica 6. Porcentaje de Cromo añadido vs. Concentración de lixiviado



Gráfica 7. Porcentaje de retención vs. % metal añadido

En la Gráfica 7 el punto que toca el eje de las X (% de metal añadido) en $Y = 0$; representa el valor supuesto de una lixiviación total de la concentración de metal añadido, debido a que no se presentó fraguado en la probeta con 10% de sal de cromo.

6.4.2 NÍQUEL.

En el caso de la determinación de Níquel, esta se realizó mediante el método PAN, usando el espectrofotómetro DR/4000, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

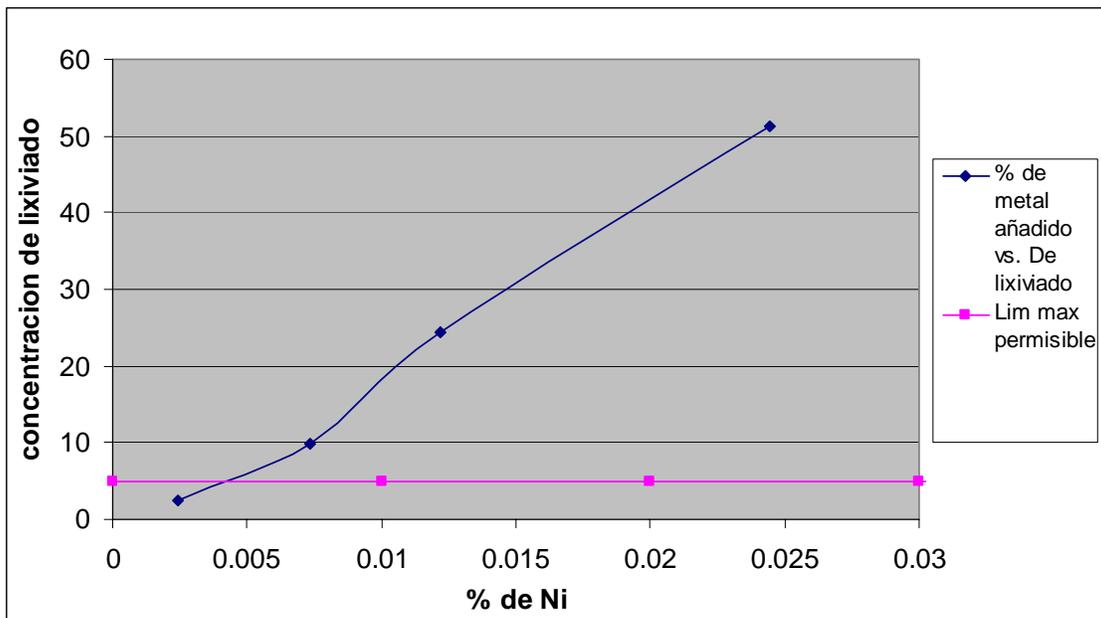
Resultados de la determinación de Níquel.					
Conc de sal (%)	Cromo en los ensayos (%)	Conc final lixiviada (mg/L)	Masa lixiv total (g)	Masa en cemento de metal (g)	Retención (%)
1	0.2444%	2.4	0.7236	36.3616	98.0099
3	0.7333%	9.8	2.9549	109.0847	97.2912
5	1.2222%	24.3	7.3268	181.8078	95.9700
10	2.4444%	51.2	15.4370	363.6156	95.7546

Tabla 32. Resultados obtenidos en la determinación de Níquel por método PAN.

Resultados de la determinación de Níquel					
Conc de sal (%)	Cromo en los ensayos (%)	Conc final lixiviada (mg/L)	Limite NOM-052 (mg/L)	Veces fuera de la NOM 052	Máximo de Cromo para NOM (%)
1	0.2444%	2.4	5	0.52	0.46117%
3	0.7333%	9.8	5	0.96	0.46117%
5	1.2222%	24.3	5	3.86	0.46117%
10	2.4444%	51.2	5	9.24	0.46117%

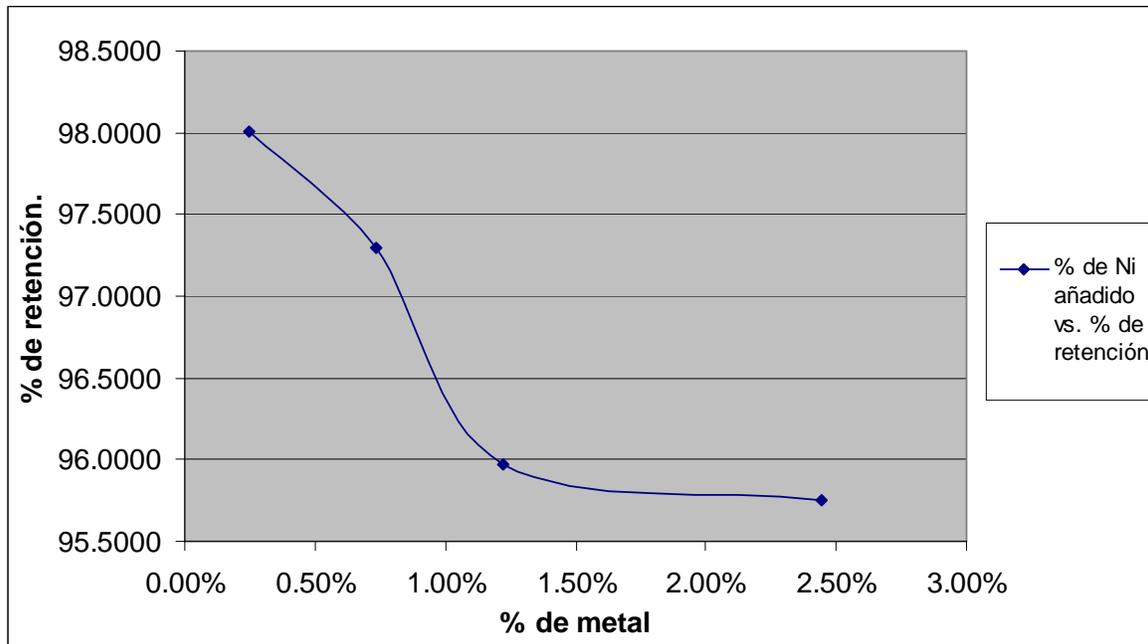
Tabla 33 Valores de retención y valores debajo de la Norma.

En la Tabla 31 se puede observar que existe una tendencia de concentración de lixiviados proporcional a la cantidad de metal añadido, se observa que existe un exceso de concentración de lixiviado respecto a la Normatividad Mexicana, a partir de la muestra conteniendo 0.73% de metal, asimismo se observa el valor máximo que puede aceptar el ensayo sin que se presente un rebase a la concentración máxima permitida, este valor esta dado por una concentración en porcentaje de 0.4611%, que representa 46.11 gramos de Níquel por kilogramo de concreto mezclado (o para fines de esta tesis, 68.61 gramos de níquel en la masa necesaria para formar el cilindro de pruebas.



Grafica 8. Concentración de lixiviado vs. % de Níquel añadido

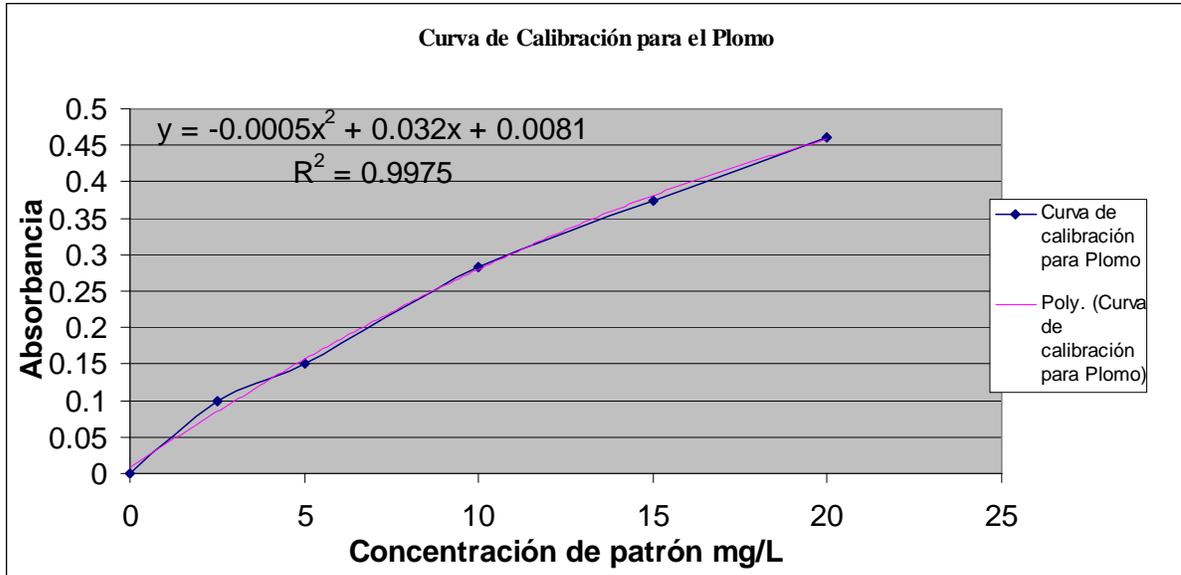
En la gráfica 8, se muestra la concentración de metal añadido con respecto a la concentración de lixiviado en partes por millón, en la cual es posible observar una tendencia proporcional de uno a otro, también se muestra con la línea horizontal, el límite máximo permisible en la NOM 053 SEMARNAT.



Gráfica 9. Porcentaje de Níquel añadido vs. Porcentaje de retención en muestra

6.4.3 PLOMO

Para la determinación de Plomo por espectrofotometría de Absorción Atómica, es necesario preparar una curva de calibración con concentraciones, cuyas absorbancias deben seguir una tendencia como la que se muestra en rosado en la grafica 10, la curva de calibración elaborada, es la que se presenta en azul.



Grafica 10. Curva de calibración para la determinación de Plomo en el espectrofotómetro

Una vez preparadas las soluciones patrón, las soluciones diluidas de los lixiviados y la curva de calibración correctamente, se inició la lectura para determinar la concentración de los metales en cada una de las diluciones, para esto, es necesario introducir un blanco que en este caso fue elaborado a base de 5 ml de Ácido Nítrico aforado a 1000 ml de agua destilada. Una vez que el blanco marca 0 de absorbancia, cada muestra puede ser determinada, esta determinación se lleva a cabo introduciendo un pequeño tubo a la solución y observando la concentración obtenida. Cabe mencionar que este aparato solo puede determinar concentraciones de 0 a 50 ppm de allí, que es necesario realizar diluciones para poder obtener valores de lectura. Los resultados obtenidos de la medición de Plomo son los siguientes:

Resultados de la determinación de Plomo					
Conc de sal (%)	Plomo en los ensayos (%)	Conc final lixiviada (mg/L)	Limite NOM-052 (mg/L)	Veces fuera de la NOM 052	Máximo de Plomo para NOM (%)
1	0.5406%	1.78	5	0.644	2.0609%
3	1.6219%	4.12	5	0.176	2.0609%
5	3.3861%	7.45	5	-0.49	2.0609%
10	5.3706%	13.4	5	-1.68	2.0609%

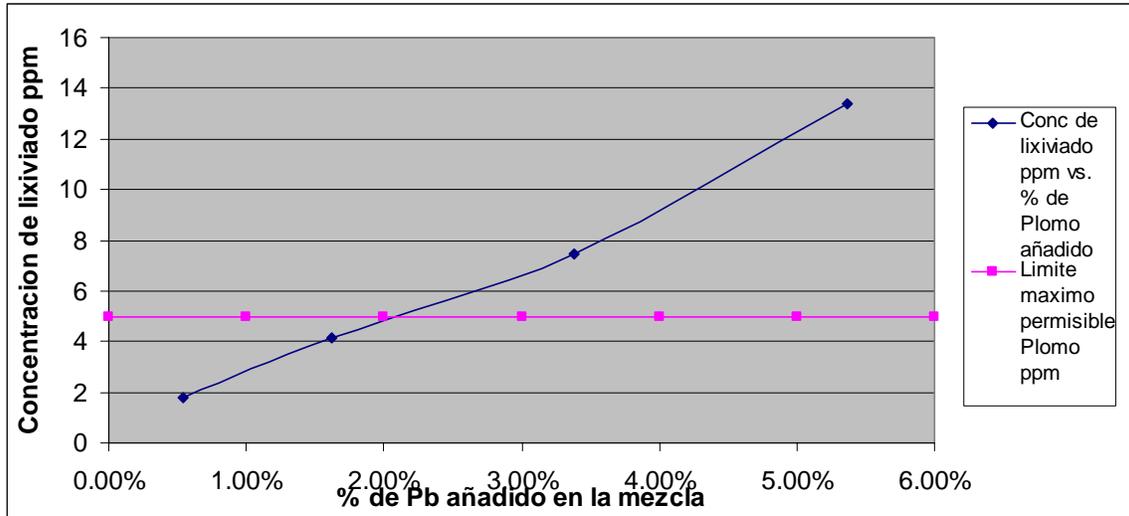
Tabla 34. Resultados obtenidos en la determinación de plomo por Absorción Atómica

Los resultados obtenidos muestran un comportamiento aceptable en las dos primeras determinaciones, usando .54% y 1.62% del metal, respecto a la NOM-052, debido a que no rebasaron el límite máximo permisible de la concentración de lixiviados para este metal (5ppm); en cuestión de las muestras 3 y 4, el comportamiento fue aceptable, debido a que no se presentó ningún disparo en los valores de concentración, por lo que se cree que si se hiciera un cambio en la proporción de los materiales o en la adición de algún componente que mejorara las características de retención del ensayo, los valores de concentración disminuirían.

Resultados de la determinación de Plomo					
Conc de sal (%)	Cromo en los ensayos (%)	Conc final lixiviada (mg/L)	Masa lixiv total (g)	Masa en cemento de metal (g)	Retención (%)
1	0.5406%	1.78	0.5367	80.4255	99.3327
3	1.6219%	4.12	1.2423	241.2764	99.4851
5	3.3861%	7.45	1.7993	402.1273	99.5526
10	5.3706%	13.4	4.0670	804.2546	99.4943

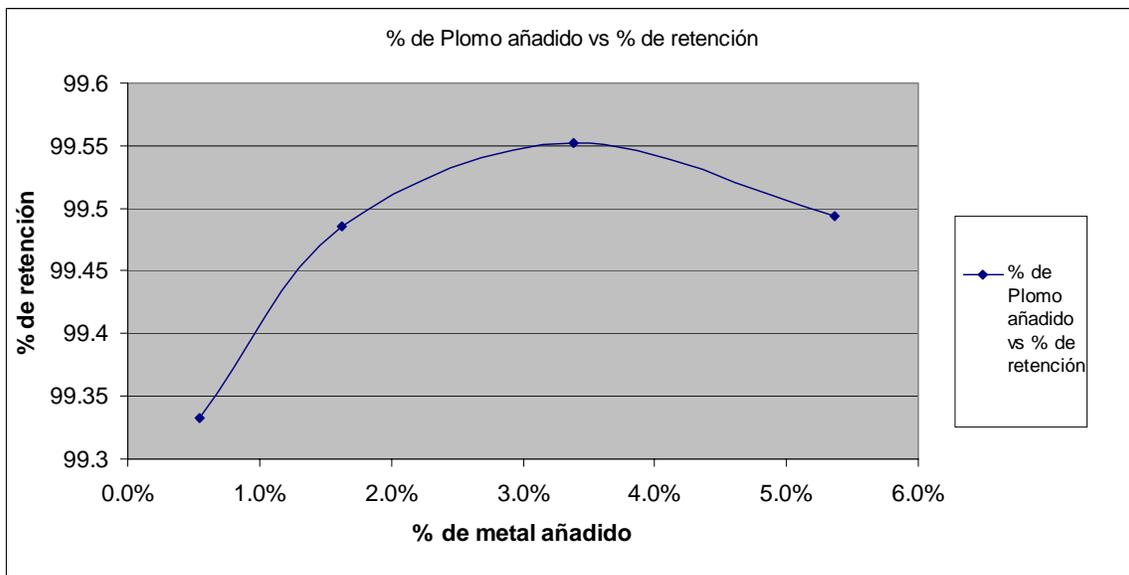
Tabla 35 Valores de retención y valores debajo de la Norma para Plomo.

En esta tabla, se muestra el porcentaje de retención de cada uno de los ensayos, así como el límite de concentración en porcentaje del metal, que el ensayo puede retener sin que exista algún rebase de los límites máximos permisibles por la Normatividad Mexicana.



Grafica 11. % de Plomo añadido vs. Concentración de lixiviado

En la gráfica 11, se representa con la línea horizontal, el límite máximo permisible de concentración de Plomo establecido por la NOM-052-SEMARNAT, y con la línea azul se representa la tendencia de la variación de la concentración de lixiviado con respecto al porcentaje de metal añadido, y se observa claramente, que existen dos muestras dentro de los límites y dos muestras fuera de él.



Gráfica 12 % de retención vs. Concentraciones de Plomo

En la Gráfica 12, se muestra la relación que existe entre el % de retención de la muestra respecto al % de metal añadido.

NOTA: Cabe mencionar que para realizar determinaciones de Plomo a concentraciones bajas (aproximadamente 10 partes por millón), es necesario aplicar un tratamiento de la muestra previo en Horno de Grafito, pero debido a que en el Manual del Espectrofotómetro de Absorción Atómica con que se realizaron las determinaciones, se menciona que se otorga una confiabilidad en la determinación de concentraciones arriba de 1 parte por millón, este tratamiento previo no fue necesario para realizar estas determinaciones.