

## **7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES.**

### 7.1 Preparación de probetas

De los resultados obtenidos en la fabricación de probetas, se observa que la concentración de 5.1472868% de Cromo resultó bastante elevada para la mezcla de concreto y esto impidió que existiera un fraguado, en el caso del fraguado, este se presenta cuando se forma una especie de “red” entre los componentes del concreto, pero en este caso, la sustitución del cromo por alguno de los otros componentes, ocasionó alteraciones en la estructura lo cual se ve reflejado como la falta de fraguado de la mezcla, en cuestión de la adición de la demás proporciones metálicas, el fraguado se presentó de manera correcta, por lo que no existe interferencia en el fraguado por parte de las concentraciones metálicas.

### 7.2 Pruebas de compresión.

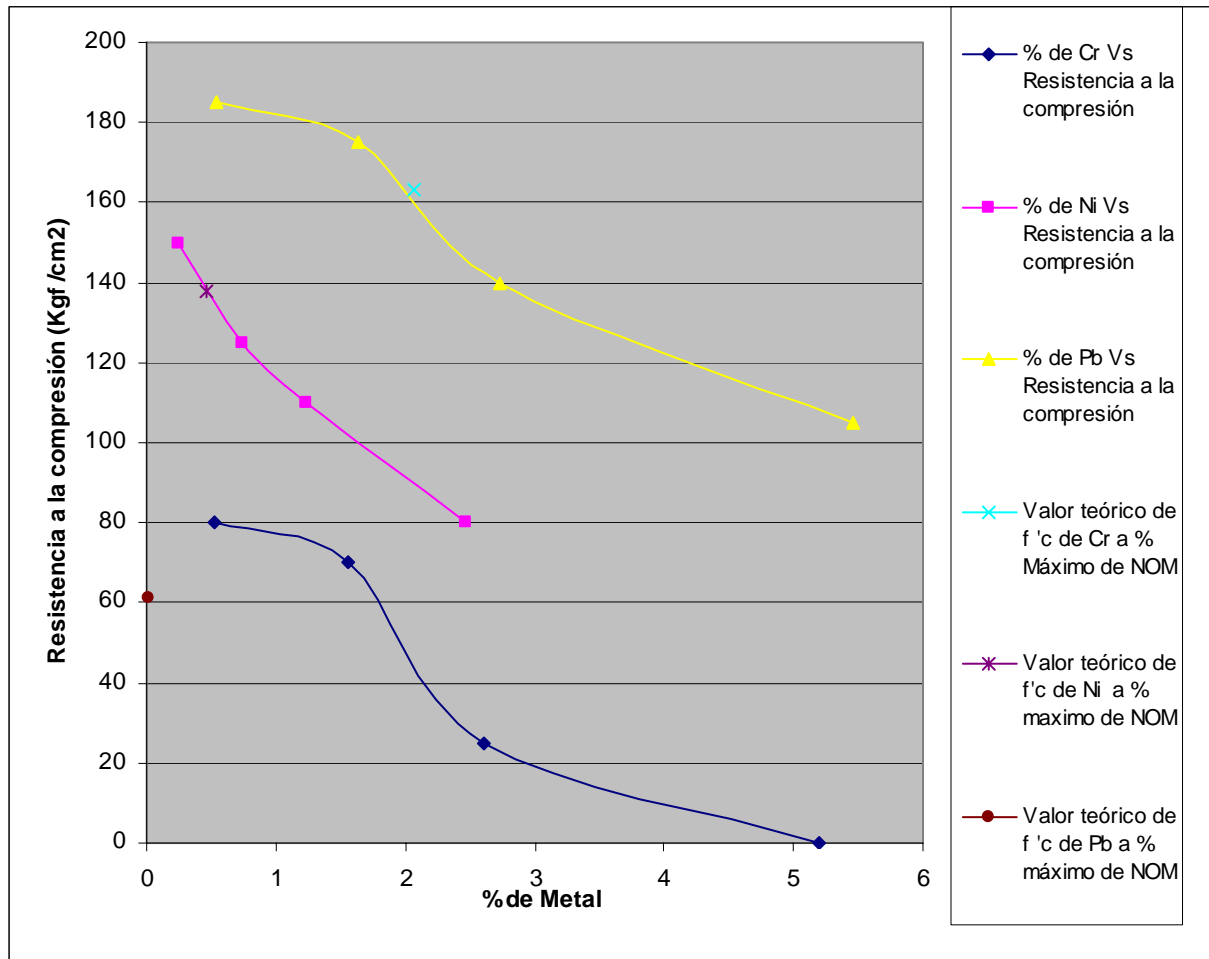
Con lo que se puede observar tanto en los resultados como en la gráfica 2, se puede determinar que a mayor concentración metálica, la resistencia a la compresión se ve seriamente afectada, de por si, las mezclas de concreto usadas habían sido diseñadas para alcanzar una resistencia de 300 Kgf/cm<sup>2</sup> y de todos los experimentos, la resistencia máxima alcanzada fue de 185 Kgf/cm<sup>2</sup> por lo que se mostró un decremento del 39% en cuanto a la resistencia esperada y la mínima resistencia obtenida fue de 25 kgf/cm<sup>2</sup> mostrando un decremento de 92% de la resistencia inicial esperada. Teniendo así valores menores de la resistencia esperada que oscilan entre aproximadamente el 30

y el 90%. Obviamente estos valores, distan mucho de los diseñados, aunque pueden ser clasificados para distintos usos.

Según datos de cementera Cruz Azul, algunos usos que se pueden dar al cemento, según su resistencia a la compresión se clasifican como sigue:

Usos	Pisos firmes y banquetas	Trabes y cadenas	Zapatas, losas castillos	Losas y columnas especiales
$f'c$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	100	150	200	250

Tabla 36. Posibles usos del concreto en base a su  $f'c$



Gráfica 13. Valores teóricos de  $f'c$  si se hicieran ensayos con la concentración máxima para alcanzar los límites de la NOM.

Como se puede observar en la gráfica 13 y en las tablas de resultados, las preparaciones de Plomo fueron las que se vieron afectadas en los valores de resistencia a la compresión, en base a las f 'c de diseño, en este orden, las probetas de Níquel son las que no siguen, teniendo por último que las preparaciones con  $\text{Cr}^{6+}$  son las que otorgaron los resultados menores.

### 7.3 Análisis de lixiviados por Espectrofotometría de Absorción Atómica.

En la prueba aplicada a las muestras sin diluir, se esperaba tener una concentración elevada, esto se pensó de esta manera, debido a la relación posible que podría existir entre la concentración de lixiviados con la resistencia a la compresión, en los cuales, el lixiviado del ensayo con mayor concentración de metal añadido, presentó la mayor concentración de partes por millón.

#### 7.3.1 CROMO

La detección de cromo por el método de Espectrofotometría por absorción atómica, arrojó datos con los cuales, se concluye que definitivamente es necesario manejar concentraciones de metales mas bajas que las que fueron utilizadas para poder alcanzar el límite máximo permisible (5ppm); este valor resulta aproximado a agregar una concentración de 0.01503% o lo que es igual a 150 mg de Cromo / Kg de mezcla de diseño de concreto (o 2.2358627 gramos de metal en un ensayo cilíndrico de 14876g como el manejado para fines de este trabajo). Los valores que se obtuvieron respecto a la Normatividad en lixiviado de 5 mg/L, rebasan por mucho los límites establecidos, el valor máximo obtenido, aproximadamente representa 158

veces el valor de la norma y el mínimo obtenido, representa aproximadamente 28 veces el valor de la norma.

El cromo como ya se había mencionado anteriormente, tiene serias interferencias con la formación del concreto, debido a que sustituyen componentes normales en el concreto por iones  $\text{Cr}^{6+}$  los cuales interfieren con el tamaño del poro, produciendo así una disminución en el “agarre” del metal dentro de la matriz de concreto.

Con los resultados observados en estas pruebas, es posible llegar a varias conclusiones:

- ✗ El cromo presenta interferencias muy marcadas en esta técnica de estabilización / solidificación por cementación
- ✗ Afecta la mezcla para formar el bloque de concreto.
- ✗ Afecta sustancialmente la resistencia a la compresión proporcionalmente a la concentración de metal añadido.
- ✗ Presenta una concentración elevada de material lixiviado cuando se realiza la extracción PECT
- ✗ Es necesario utilizar concentraciones menores a las utilizadas para que, en base a la tendencia mostrada en la gráfica 6, no se rebase el límite máximo permisible de 5 ppm; siendo esta concentración de 0.01503%, que equivale a una concentración de 150 mg de Cromo / Kg de mezcla de diseño de concreto

### 7.3.2 NIQUEL.

La determinación de Níquel se llevó a cabo mediante el método PAN 1-2 Pyridyalzo-2-Naftol usando el espectrofotómetro DR/2400 que es capaz de determinar concentraciones de 0 a 1 mg/L, detallado en el Anexo 5.

En la tabla 28, puede observarse la concentración de los lixiviados de los ensayos a distintas concentraciones de sal, sometidos a extracción PECT, en esta tabla, se puede observar la tendencia que es proporcional a la concentración de metal añadido, por lo que a menor concentración de metal añadido, el lixiviado, tendrá una menor concentración, de estos valores, solo la menor concentración de metal (0.24%), proporcionó un lixiviado con una concentración que no rebasa el límite máximo permisible de la NOM-052 de 5ppm; las concentraciones de 0.73%, 1.53% y de 2.42% producen lixiviados con una concentración que sobrepasa los 5 mg/L

La concentración máxima de níquel que puede introducirse sin que produzca lixiviados por encima de de la normatividad es de 0.2469%, lo cual es equivalente a 4612.71 mg de Níquel por Kg. de mezcla de diseño de concreto (o para fines de este trabajo, 4.6127 gramos de Níquel por Kilogramo de mezcla proporcionada).

Respecto a los porcentajes de retención de Níquel, se obtienen valores bastante elevados de entre 95 y 98%, lo cual muestra que es una técnica eficiente en cuanto a la retención por solidificación, aunque debido a la cantidad grande que se le introdujo, la concentración de lixiviados, como ya se dijo, es mayor a la concentración máxima permisible por la SEMARNAT.

Como algunas conclusiones respecto a los resultados obtenidos en estas pruebas, se tienen las siguientes:

- ✘ El níquel no presenta interferencias grandes en la técnica de estabilización / solidificación por cementación.
- ✘ No se muestra una afectación grave al momento de elaborar las mezclas con el concreto.
- ✘ La resistencia a la compresión en los ensayos con Níquel, presentan una disminución máxima del 73%, lo cual puede limitar los posibles usos o alternativas de reuso como las que se muestran en la tabla 37
- ✘ Al realizarse la extracción PECT, la concentración máxima lixiviada, está aproximadamente 9 veces fuera de la Normatividad Mexicana.
- ✘ Es necesario utilizar concentraciones menores a las utilizadas para que, en base a la tendencia mostrada en la gráfica 5, no se rebase el límite máximo permisible de 5 ppm; siendo esta concentración de 0.4611%; lo cual es equivalente a 4612.71 mg de Níquel por Kg. de mezcla de diseño de concreto.

### 7.3.3 PLOMO

La detección de plomo por el método de Espectrofotometría por absorción atómica nos mostró que las concentraciones de lixiviados como se puede observar en la tabla 34 y 35, fueron relativamente bajas en comparación a las concentraciones observadas en el níquel y el cromo, la masa total lixiviada representó una fracción muy pequeña respecto a la cantidad introducida, y esto está totalmente reflejado en los porcentajes de retención, los cuales se encuentran todos por arriba del 99.3% de retención.

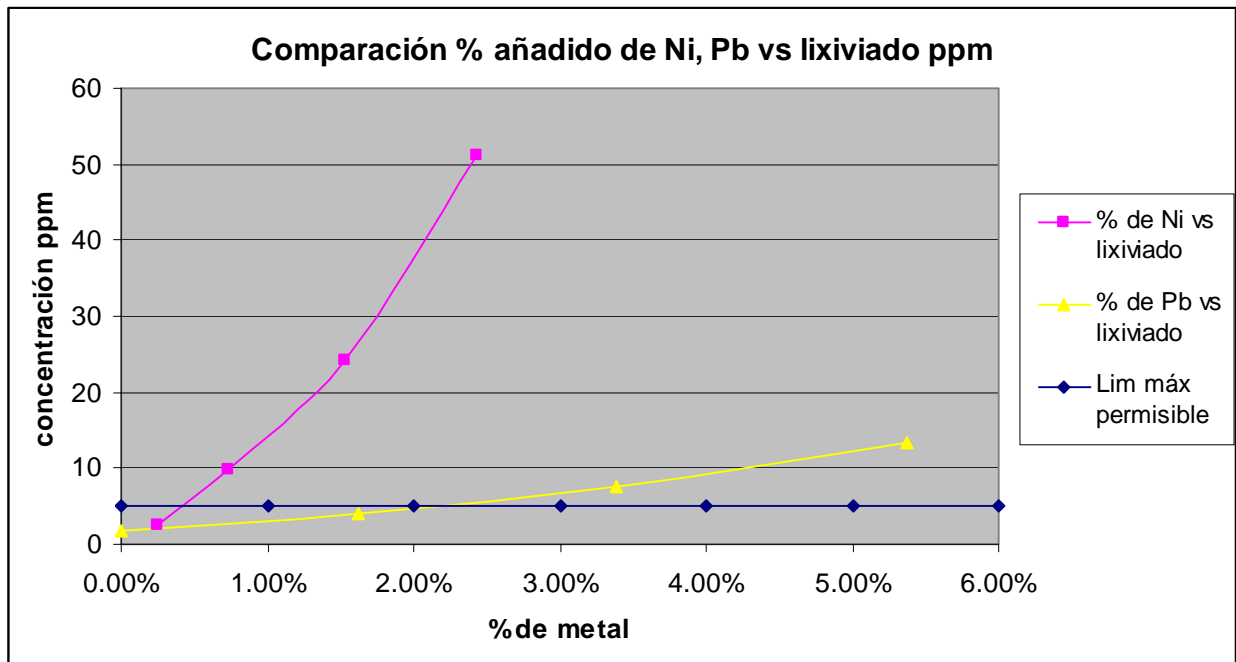
En cuanto al cumplimiento con la NOM-052-SEMARNAT, en el caso de las concentraciones de metales lixiviados, las primeras dos concentraciones manejadas de plomo (0.54 y 1.62 %) nos otorgan resultados por debajo de la norma como podemos observar en la gráfica 13.

La concentración óptima en porcentaje para no sobrepasar el límite de 5 partes por millón, está dada por 2.06 % de metal dentro de la matriz o lo que es equivalente a 20.60 gramos de plomo por kilogramo de concreto. Los valores obtenidos, como ya se mencionó no exceden en gran cantidad al límite máximo establecido, el rebase máximo está dado por un 168% respecto a la norma, esto es menos del doble de la Norma, por lo que se supone que haciendo algunas modificaciones a las proporciones de mezclas o usando algún tipo de aditivo, se puede mejorar este rebase de la Normatividad y lograr que se puedan disminuir las concentraciones de lixiviados por debajo de la Normatividad Mexicana.

Con respecto al plomo, puede concluirse, en base a los resultados observados en las pruebas aplicadas, que:

- ✘ Presenta interferencias casi insignificantes en la técnica de solidificación /estabilización por cementación en las concentraciones utilizadas.
- ✘ Ante la formación del bloque de concreto, no presenta complicaciones.
- ✘ No afecta sustancialmente la resistencia a la compresión, de hecho fue el metal que menos interferencia tuvo respecto a este renglón.
- ✘ La concentración del material lixiviado muestra valores menores a los obtenidos en la lixiviación de los otros metales.

- ✘ Para no rebasar el límite máximo permisibles de 5 partes por millón, el límite de concentración que es posible usar para proporciones como las usadas en esta tesis, no debe de rebasar el 2.06092% de metal, o lo que es equivalente a 20.60 gramos de plomo por kilogramo de concreto



*Grafica 14. Comparación entre el % de metal añadido vs. Concentración de lixiviados ppm.*

**NOTA:** En la gráfica 14 no se incluyo el Cromo, debido a que los valores obtenidos de lixiviación son muy altos y esto ocasionaría poca claridad en la gráfica.



#### 7.4 RECOMENDACIONES Y OPCIONES PARA REUSO.

En base a todos los resultados obtenidos en las pruebas de resistencia a la compresión y de determinación de concentración de lixiviados, se pueden tomar algunas decisiones en cuanto a la posibilidad de implementación o de reuso, tomando en cuenta, que si se tienen bloques en lugares libres de humedad o de contacto directo, los resultados de la prueba de lixiviación podrían ser mas “tolerables” debido a que la probabilidad de ocurrencia de la existencia de lixiviados sería mínima. Una vez que se han tomado en cuenta estos factores y en base a la tabla 36, con datos recomendados por la cementera “Cementos Cruz Azul”, se puede emitir la siguiente tabla con algunas posibilidades de reuso, en el caso por ejemplo del plomo con 0.54% y con 1.62% de Plomo, quizá también podría implementarse como separador de carreteras, debido que los niveles de lixiviación a los que quizá podrían estar expuestos por contacto con lluvia, no rebasarían los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-052, además de que la resistencia a la compresión no es considerable como baja.

<b>Posibilidades o alternativas de reuso</b>			
Metal	Concentracion %	Resistencia a la compresion f'c kg/cm2	Posibilidad de reuso
Cromo	0.51%	80	Pisos, banquetas
Cromo	1.54%	70	Pisos, banquetas
Cromo	3.22%	25	Pisos, banquetas
Cromo	5.11%	-----	-----
Niquel	0.24%	150	Pisos, banquetas, trabes, cadenas
Niquel	0.73%	125	Pisos, banquetas
Niquel	1.53%	110	Pisos, banquetas
Niquel	2.43%	80	Pisos, banquetas
Plomo	0.54%	185	Pisos, banquetas, trabes, cadenas *Separadores de autopistas
Plomo	1.62%	175	Pisos, banquetas, trabes, cadenas *Separadores de autopistas
Plomo	3.39%	140	Pisos, banquetas
Plomo	5.37%	105	Pisos, banquetas

*Tabla 37. Posibilidades o Alternativas de reuso de los materiales obtenidos.*

## 7.5 POSIBILIDADES PARA TRABAJOS FUTUROS.

Puede ser que existan distintas áreas de oportunidad para trabajos futuros acerca de este tema, dentro de los que se pueden mencionar los siguientes:

- Replanteamiento de la proporción de la mezcla para formar el concreto,
- Observación del comportamiento cuando se utilizan mezclas mixtas de los metales,
- Modificaciones en cuanto al tipo de cemento,
- Inclusión de aditivos.
- Modificación en cuanto al uso de tamaño de gravas.

## 7.6 CONCLUSIONES GENERALES.

Durante las pruebas aplicadas en este trabajo, se ha podido comprobar que la técnica de estabilización / solidificación mediante el uso de cemento, es una técnica eficiente, confiable en cuanto a los resultados otorgados en la prueba de compresión (excepto por los puntos detallados en la sección 7.3 de este texto); así como en las pruebas de lixiviados, aquellos ensayos cuyas concentraciones son menores a las 5 partes por millón, pueden catalogarse, una vez que han sido solidificados y estabilizados, como materiales No peligrosos, en base a la NOM-052- de la SEMARNAT.

Sería importante tomar en cuenta que en los ensayos cuyas concentraciones sobrepasan el límite establecido por la NOM-052, si estos no se encuentran en contacto directo con alguna fuente lixivadora, no existe posibilidad de que existan lixiviados, por lo tanto, puede ser una buena opción como técnica de encapsulamiento.