5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En este capítulo, se analizarán los resultados que se obtuvieron en las distintas pruebas realizadas en la investigación.

5.1 Determinación de concentraciones en los ladrillos.

Para la obtención de la concentración de los lixiviados se utilizó la técnica de absorción atómica. Para ello, se empleo un espectrofotómetro VARIAN SpectrAA 220 FS. Para poder hacer las determinaciones, primero se debe de realizar las curvas de calibración para cada metal. Para elaborar las curvas de calibración se deben de preparar las soluciones estándar de 1, 2, 3, 4 y 5 ppm de cada metal como se describió anteriormente.

Posteriormente, cada ladrillo se somete a la prueba de extracción (PECT), conforme lo dicta la NOM-053-SEMARNAT-1993. Después a cada extracto se le hace la determinación con el equipo de absorción.

5.1.1 *Zinc.*

Es importante mencionar que cada determinación se hizo por duplicado y que los resultados mostrados son el promedio de dichas pruebas.

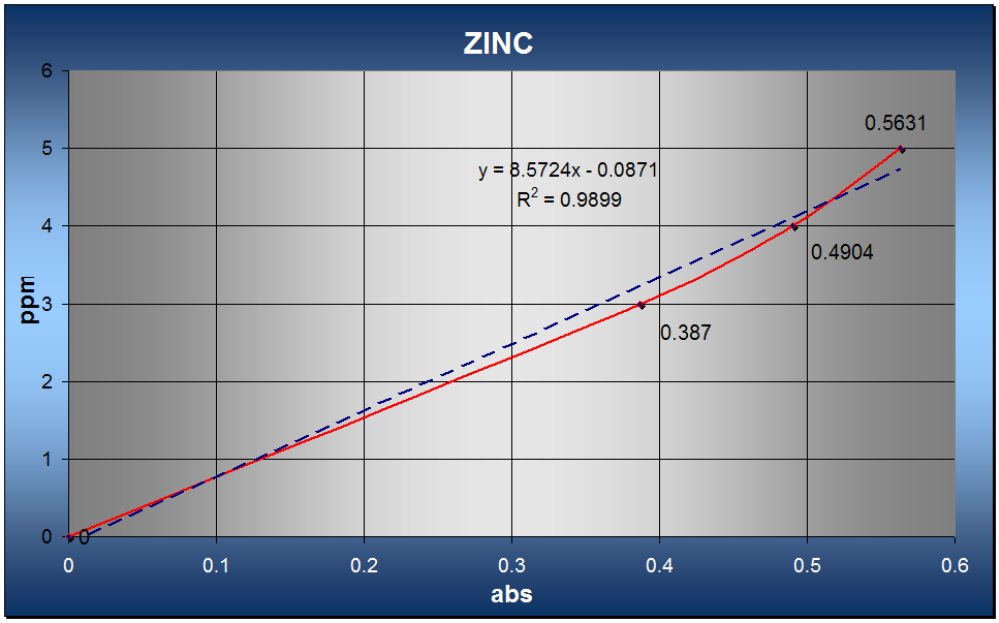

Figura 5.1 Curva de Calibración para Zinc.

En la curva representada en la figura 5.1, es posible observar que la curva de calibración obtenida con los estándares, tiene una buena regresión, $R^2 = 0.9899$.

Con esta regresión fue posible hacer todos los experimentos necesarios con los ladrillos de zinc a sus diferentes porcentajes.

Tabla 5.1 Resultados promedio obtenidos para Zn en ABS.

Promedio	
muestra (%)	**ABS**
0.05	0.0365
0.10	0.0382
0.15	0.0406

La tabla 5.1 muestra los resultados promedio obtenidos con el equipo de absorción atómica.

Figura 5.2 Resultados obtenidos con las muestras de 0.05 %, 0.10% y 0.15% Zn

En la figura 5.2 se muestran las concentraciones promedio obtenidas con los ladrillos a sus diferentes concentraciones.

$$y = 8.5724 \quad x - 0.071 \ , R^2 = 0.9899$$

Figura 5.3 Ecuación de regresión para la curva de calibración de Zn

Las concentraciones fueron calculadas con la ecuación de la línea de regresión. En la figura 5.3 muestra la ecuación de la línea de regresión. En la ecuación el término "y" representa la concentración expresada en ppm ó mg / L y "x" representa la absorbancia.

5.1.2 *Cobre.*

Las determinaciones de Cobre se hicieron por duplicado para 0.05 % y 0.10 %, para 0.15 % se hizo por triplicado. Los resultados mostrados son el promedio de dichas pruebas.

Figura 5.4 Curva de Calibración para Cobre.

En la curva representada en la figura 5.4, es posible observar que la curva de calibración obtenida con los estándares, tiene una buena regresión, $R^2 = 0.9987$.

Con esta regresión fue posible hacer todos los experimentos necesarios con los ladrillos de cobre a sus diferentes porcentajes.

Tabla 5.2 Resultados promedio obtenidos para Cu en ABS.

Promedio	
Muestra (%)	**Abs**
0.05	0.0630
0.10	0.1853
0.15	0.5100

La tabla 5.2 muestra los resultados promedio obtenidos con el equipo de absorción atómica.

Figura 5.5 Resultados obtenidos con las muestras de 0.05 %, 0.10% y 0.15% Cu

En la figura 5.5 se muestran las concentraciones promedio obtenidas con los ladrillos a sus diferentes concentraciones.

$$\boxed{y = 36.718\,x - 0.1333,\ R^2 = 0.9987}$$

Figura 5.6 Ecuación de regresión para la curva de calibración de Cu

Las concentraciones fueron calculadas con la ecuación de la línea de regresión. En la figura 5.6 muestra la ecuación de la línea de regresión. En la ecuación el término "y" representa la concentración expresada en ppm ó mg / L y "x" representa la absorbancia.

5.1.3 *Cadmio.*

Es importante mencionar que cada determinación se hizo por duplicado y que los resultados mostrados son el promedio de dichas pruebas.

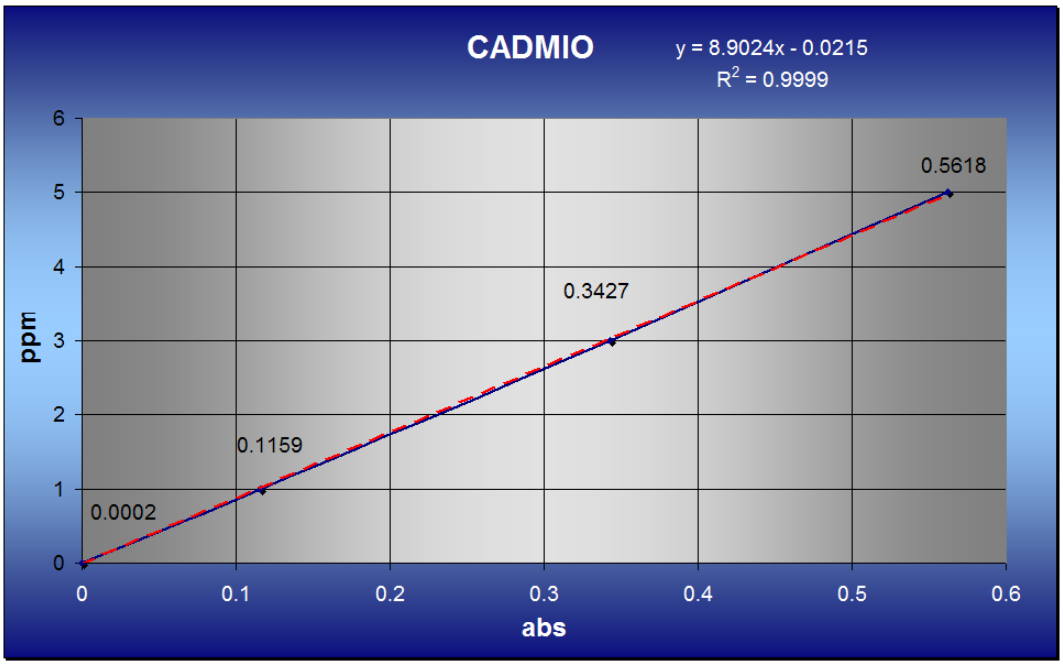

Figura 5.7 Curva de Calibración para Cd.

En la curva representada en la figura 5.7, es posible observar que la curva de calibración obtenida con los estándares, tiene una regresión de R^2 = 0.9999. Casi perfecta.

Con esta regresión se realizaron todos los experimentos necesarios con los ladrillos de Cadmio a sus diferentes porcentajes.

Tabla 5.3 Resultados promedio obtenidos para Cadmio en ABS.

Promedio	
Muestra (%)	**ABS**
0.05	0.0055
0.10	0.0144
0.15	0.0226

La tabla 5.3 muestra los resultados promedio obtenidos con el equipo de absorción atómica.

Figura 5.8 Resultados obtenidos con las muestras de 0.05 %, 0.10% y 0.15% de Cadmio.

En la figura 5.8 se muestran las concentraciones promedio obtenidas con los ladrillos a sus diferentes concentraciones.

$$\boxed{y = 8.9024\,x - 0.0215,\ R^2 = 0.9999}$$

Figura 5.9 Ecuación de regresión para la curva de calibración de Cd

Las concentraciones fueron calculadas con la ecuación de la línea de regresión. En la figura 5.9 muestra la ecuación de la línea de regresión. En la ecuación el término "y" representa la concentración expresada en ppm ó mg / L y "x" representa la absorbancia.

5.1.4 *Hierro.*

Las determinaciones de Hierro se hicieron por triplicado. Los resultados mostrados son el promedio de dichas pruebas.

Figura 5.10 Curva de Calibración para Hierro.

En la curva representada en la figura 5.10, es posible observar que la curva de calibración obtenida con los estándares, tiene una buena regresión, $R^2 = 0.9939$.

Con esta regresión fue posible hacer todos los experimentos necesarios con los ladrillos de Hierro a sus diferentes porcentajes.

Tabla 5.4 Resultados promedio obtenidos para Fe en ABS.

Promedio	
Muestra (%)	**ABS**
0.05	0.0595
0.10	0.0664
0.15	0.0774

La tabla 5.4 muestra los resultados promedio obtenidos con el equipo de absorción atómica.

Figura 5.11 Resultados obtenidos con las muestras de 0.05 %, 0.10% y 0.15% Fe.

En la figura 5.11 se muestran las concentraciones promedio obtenidas con los ladrillos a sus diferentes concentraciones.

$$\boxed{y = 39.301\,x - 0.1549\,,\ R^2 = 0.9939}$$

Figura 5.12 Ecuación de regresión para la curva de calibración de Fe.

Las concentraciones fueron calculadas con la ecuación de la línea de regresión. En la figura 5.12 muestra la ecuación de la línea de regresión. En la ecuación el término

"y" representa la concentración expresada en ppm ó mg / L y "x" representa la absorbancia.

5.1.5 *Níquel.*

Figura 5.13 Curva de Calibración para Níquel.

En la curva representada en la figura 5.13, es posible observar que la curva de calibración obtenida con los estándares, tiene una regresión de $R^2 = 0.9986$.

Con esta regresión fue posible hacer todos los experimentos necesarios con los ladrillos de Níquel a sus diferentes porcentajes.

Tabla 5.5 Resultados promedio obtenidos para Ni en ABS.

Promedio	
Muestra (%)	**Abs**
0.05	0.0169
0.10	0.0245
0.15	0.0354

La tabla 5.5 muestra los resultados obtenidos con el equipo de absorción atómica.

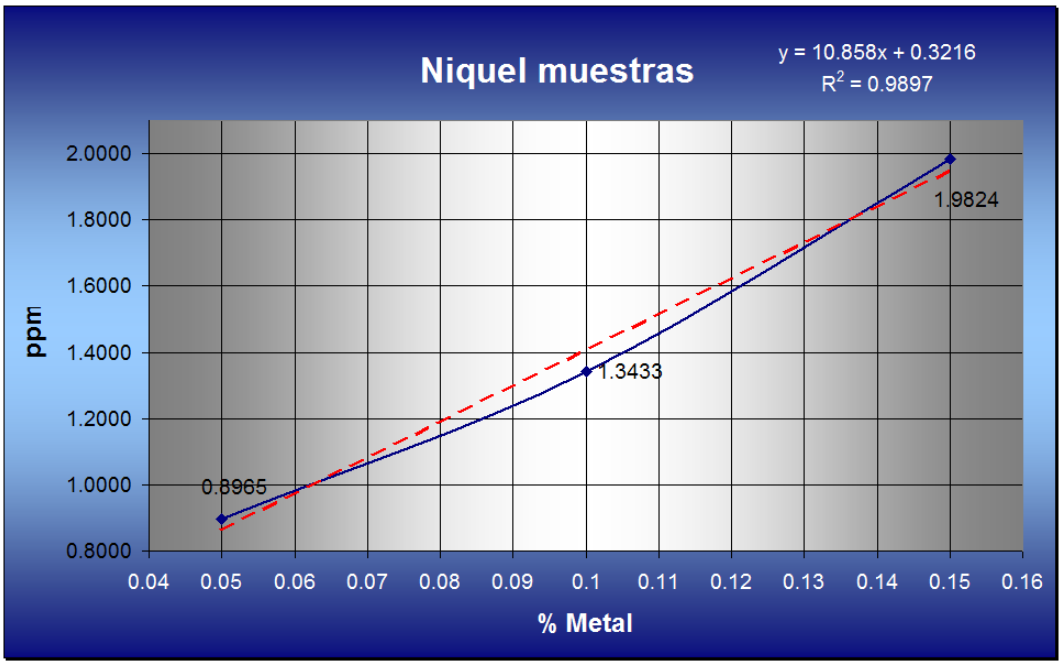

Figura 5.14 Resultados obtenidos con las muestras de 0.05 %, 0.10% y 0.15% Ni.

En la figura 5.14 se muestran las concentraciones promedio obtenidas con los ladrillos a sus diferentes concentraciones.

$$\boxed{y = 58.789\,x - 0.097\,,\ R^2 = 0.9899}$$

Figura 5.15 Ecuación de regresión para la curva de calibración de Ni

Las concentraciones fueron calculadas con la ecuación de la línea de regresión. En la figura 5.15 muestra la ecuación de la línea de regresión. En la ecuación el término "y" representa la concentración expresada en ppm ó mg / L y "x" representa la absorbancia.

5.1.6 *Cromo.*

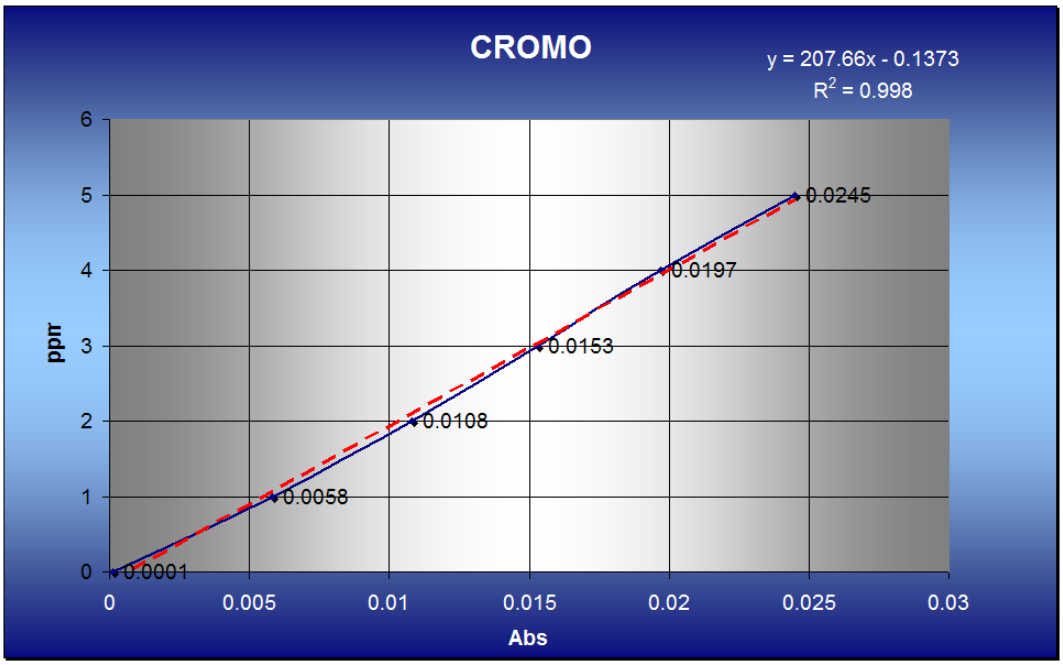

Figura 5.16 Curva de Calibración para Cromo.

En la curva representada en la figura 5.16, es posible observar que la curva de calibración obtenida con los estándares, tiene una regresión de $R^2 = 0.998$.

Al intentar hacer las determinaciones de Cromo, se tuvieron errores. El equipo daba resultados erróneos, tales como absorbancias negativas. Por ello no fue posible hacer el análisis para este metal.

Se desconoce, por qué no se pudo hacer la determinación de Cromo, se cree que la explicación podría ser que, la sílice se presenta principalmente en forma de cadenas simples o dobles formadas por tetraedros que se unen lateralmente y se conocen como inosilicatos. Estos se encuentran predominantemente en rocas ígneas; los principales son los Piroxenos y los Anfíboles. Los Piroxenos se presentan en cadenas simples, de extensión infinita con composición química general R^{+2} (SiO3)n, siendo R^{+2} un catión alcalino, o alcalino térreo y en ocasiones Fe^{+3} o Al^{+3} cristalizando en sistemas monoclínicos o rómbicos. (Bernal, 2003).

Por tanto se piensa que el Cromo posiblemente no se haya integrado a la matriz cerámica por ser un catión Cr^{+3} y no un catión Cr^{+2} por ello no se haya podido determinar su existencia en el equipo. Se concluye que hacer ladrillos con Cromo no es posible.

5.1.7 *Comparación entre metales.*

A continuación se muestran unas gráficas que nos permite comparar a los metales entre sí a los mismos porcentajes de manera gráfica.

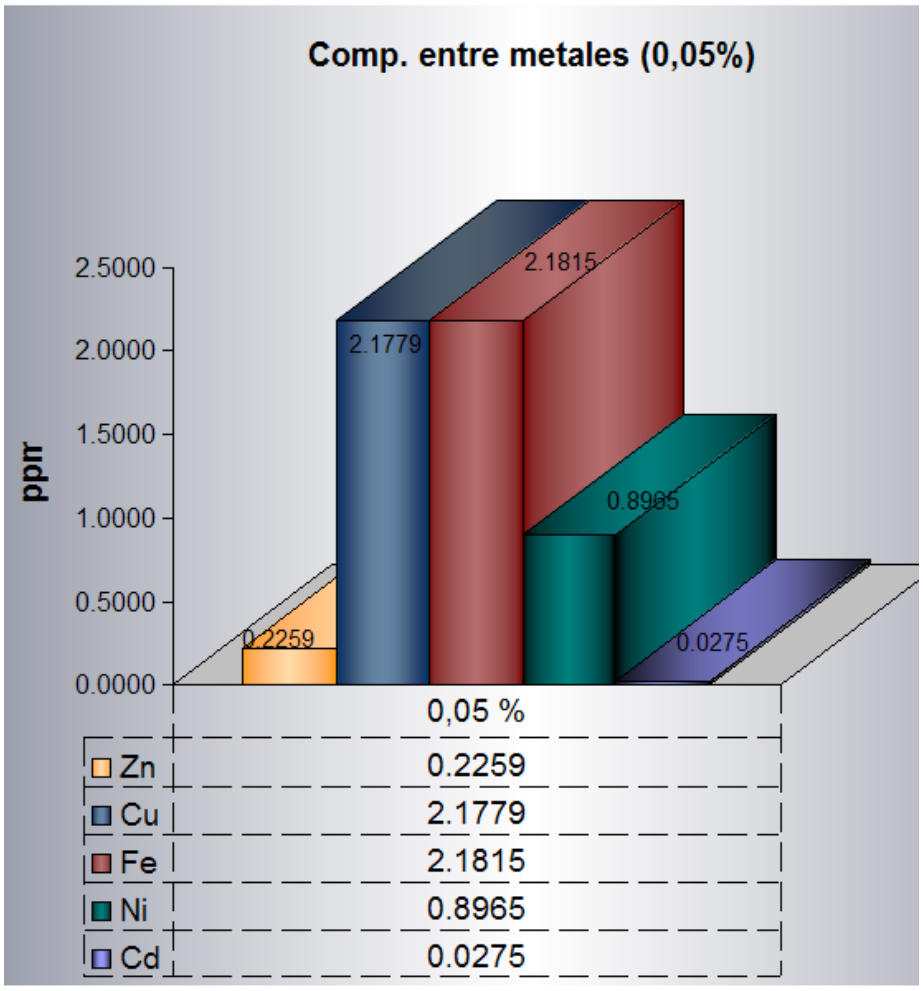

Figura 5.17 Comparación a 0.05 % de concentración en el ladrillo.

En la figura 5.17 se puede observar que todos los ladrillos a 0.05 % de metal, pueden ser elaborados, ya que, ninguno de ellos rebasa el límite de la NOM.

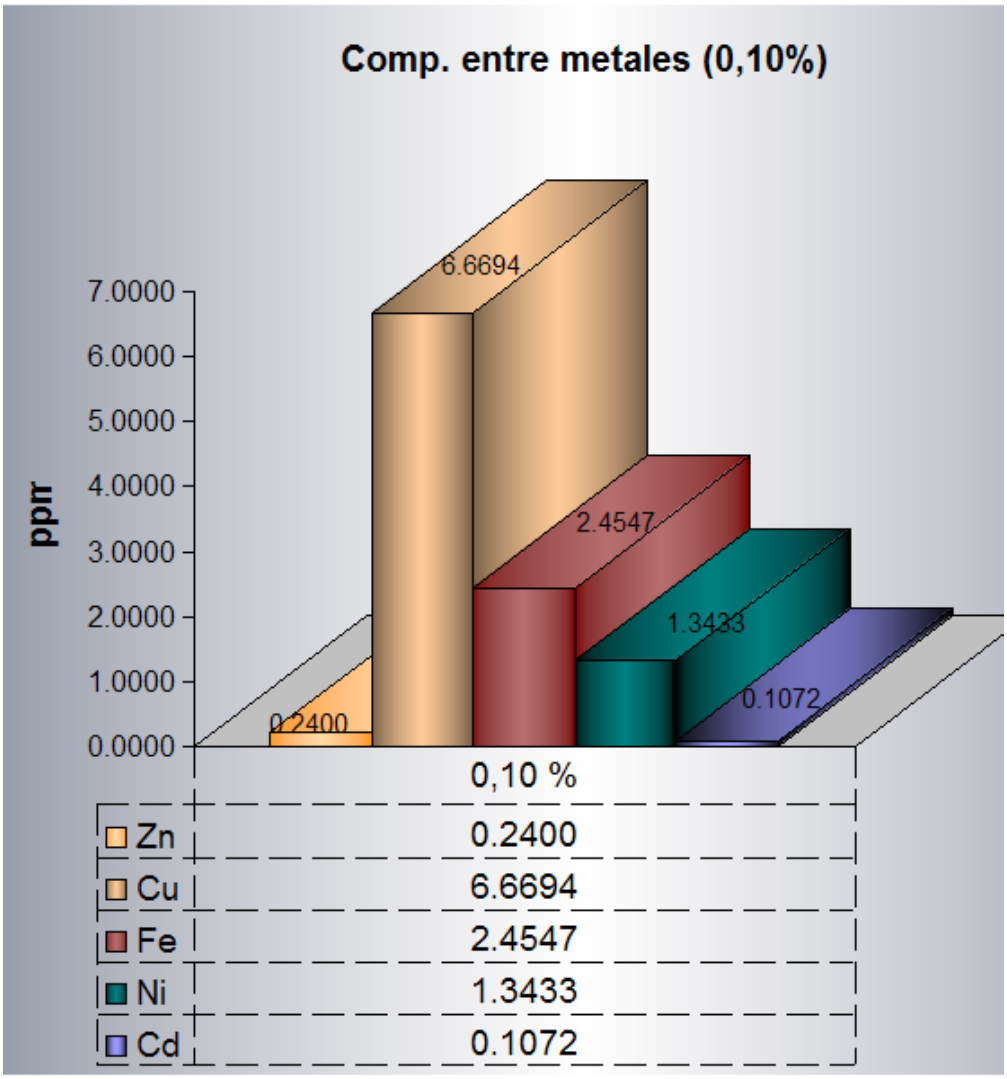

Figura 5.18 Comparación a 0.10 % de concentración en el ladrillo.

En la figura 5.18 se puede observar que los ladrillos a 0.10% todavía están dentro del límite NOM, a excepción del ladrillo elaborado con Cu.

Se cree que el cobre presentó este problema, porque no alcanzó una oxidación completa.

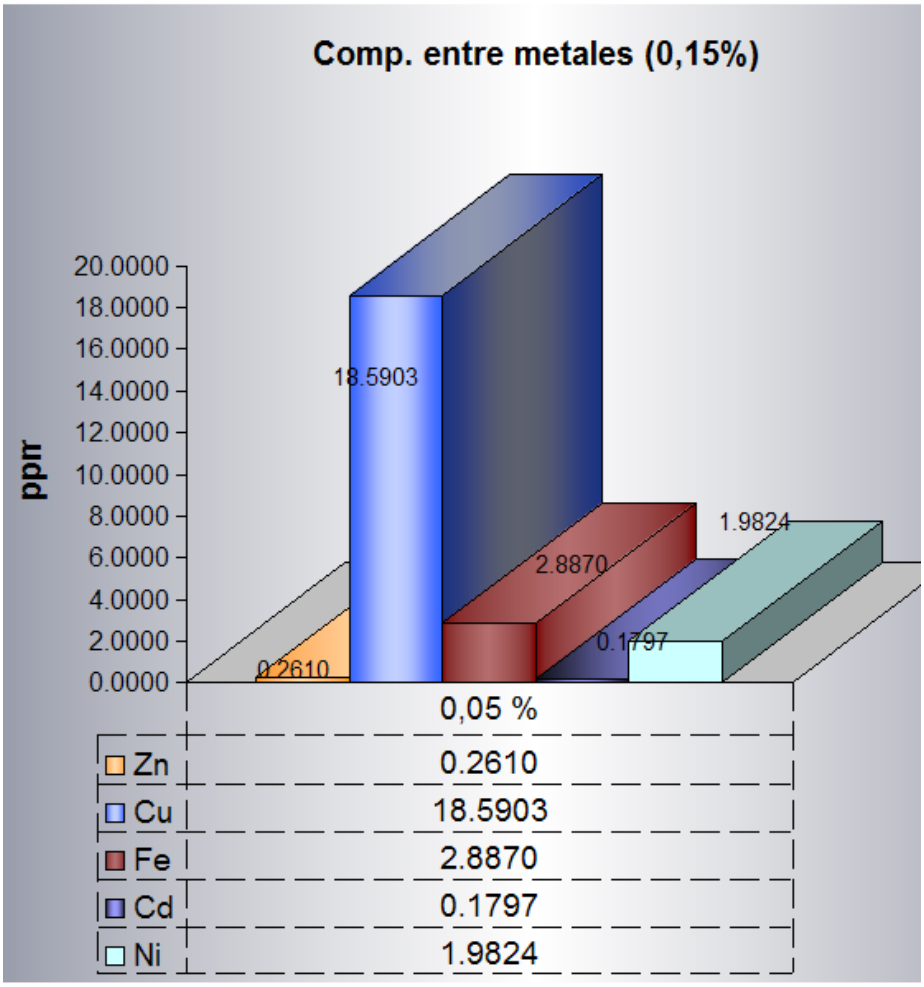

Figura 5.19 Comparación a 0.15 % en el ladrillo.

En la figura 5.19 se puede apreciar que una vez más los ladrillos con excepción del elaborado de Cobre, están dentro del límite NOM y por tanto, son considerados como no peligrosos.

Esta prueba nos permite validar la técnica. Ya que, con este procedimiento se estaría dando una reutilización a materiales tóxicos, integrándolos a un producto y dicho producto no es peligroso.

5.1.8 *Determinación de porcentajes máximos permisibles.*

Tabla 5.6 Ecuaciones de regresión para los metales.

Metal	Ecuación	R^2	R
Zinc	y = 0.3515 x + 0.2072	0.9875	0.99373
Cobre	y = 1485 x2 - 133.06 x + 5.1159	1	1
Cadmio	y = 1.5222 x - 0.0474	0.9993	0.99965
Hierro	y = 7.0545 x + 1.8023	0.9833	0.99161
Niquel	y = 10.858 x + 0.3216	0.9897	0.99484

En la tabla 5.6 es posible apreciar las ecuaciones de las líneas de regresión de los resultados obtenidos. También se muestran dos valores estadísticos, la bondad de ajuste, R^2 y los valores de R que nos permiten ver que tan bien se correlacionan los datos. En dichas ecuaciones la "y" representa la concentración en ppm ó mg/L y la "x" representa el porcentaje de metal en el ladrillo. Se utilizaron estas ecuaciones para poder determinar los porcentajes máximos que podrían existir en los ladrillos para que estos siguieran siendo catalogados como un material no peligroso.

Dentro de la NOM-052-SEMARNAT-2005 no está el límite máximo permisible en mg / L para Zn, Cobre, Hierro, Níquel. Por ello, con las ecuaciones de la figura 5.20 se calcularon los porcentajes de metal que debería tener el ladrillo, para que tuviera una concentración igual a 5 mg/L. Se eligió el valor de 5 mg / L porque es el límite máximo para Cromo, un metal que inclusive es más peligroso que los demás metales. En el caso del cadmio la norma indica que el valor máximo permisible es de 1 mg / L.

Tabla 5.7 Porcentajes máximos permisibles en la mezcla para todos los metales.

Metal	ppm	%
Niquel	5	0.4309
Cobre	5	0.0841
Cadmio	1	0.6881
Hierro	5	0.4533
Zinc	5	13.6353

Así pues en la tabla 5.7 se puede observar que, para obtener un ladrillo con 5 ppm ó mg / L y seguir cumpliendo con la NOM, se podría hacer ladrillos con hasta un

13.64 % en el caso del Zn. También se puede apreciar que para el caso del cobre, para poder hacer ladrillos que estén dentro de la normativa se podría hacer con máximo 0.08 %, lo cual se había podido apreciar antes, ya que al analizar los ladrillos de 0.10 y 0.15 % resultaban peligrosos.

Dados estos resultados se puede concluir que los ladrillos elaborados pueden ser utilizados para la construcción, ya que, no son material peligroso.

5.2 Determinación de la eficiencia de atropamiento de los ladrillos.

Para la obtención de la concentración de los lixiviados se utilizó la técnica de absorción atómica. Dichos resultados fueron citados anteriormente.

Una vez conocidas las concentraciones presentes en el lixiviado es posible conocer la concentración que quedo encapsulada en el ladrillo y de esta manera conocer la eficiencia de atropamiento.

Tabla 5.8 Datos de Zn para determinar eficiencias de atrapamiento.

Z I N C			
Metal	**Lixiviado (mg / L)**	**Lixiviante (L)**	**muestra (g)**
0.05%	0.2259	0.15	5.000
0.10%	0.2400	0.15	4.995
0.15%	0.2610	0.15	4.954

Tabla 5.9 Datos de Cd para determinar eficiencias de atrapamiento.

C A D M I O			
Metal	**Lixiviado (mg / L)**	**Lixiviante (L)**	**Muestra (g)**
0.05%	0.0275	0.15	5.042
0.10%	0.1072	0.15	4.984
0.15%	0.1797	0.15	4.978

Tabla 5.10 Datos de Hierro para determinar eficiencias de atrapamiento.

H I E R R O			
Metal	**Lixiviado (mg / L)**	**Lixiviante (L)**	**Muestra (g)**
0.05%	2.1815	0.15	5.000
0.10%	2.4547	0.15	5.036
0.15%	2.8870	0.15	5.002

Tabla 5.11 Datos de Níquel para determinar eficiencias de atrapamiento.

N I Q U E L			
Metal	**Lixiviado (mg / L)**	**Lixiviante (L)**	**Muestra (g)**
0.05%	0.0169	0.15	4.993
0.10%	0.0245	0.15	4.986
0.15%	0.0354	0.15	5.002

Tabla 5.12 Datos de Cobre para determinar eficiencias de atrapamiento.

C O B R E			
Metal	**Lixiviado (mg / L)**	**Lixiviante (L)**	**Muestra (g)**
0.05%	2.1779	0.15	4.998
0.10%	6.6694	0.15	4.899
0.15%	18.5903	0.15	5.015

En las tablas 5.8 a 5.12 se pueden observar los datos que se tienen para realizar los cálculos, para hacer la determinación de la eficiencia de atropamiento de los ladrillos. Las cantidades de ladrillo sometidas a la prueba se encuentran en la columna muestra, se debían pesar 5 g, por eso las cantidades varían alrededor de este valor.

Tabla 5.13 Eficiencias obtenidas con Zn a sus diferentes porcentajes.

Z I N C				
Metal	**Metal extraído (g)**	**Metal añadido (g)**	**Metal retenido (g)**	**Metal retenido (%)**
0.05%	3.3882E-05	0.002500	0.00247	98.6447
0.10%	3.6003E-05	0.004995	0.00496	99.2792
0.15%	3.9153E-05	0.007431	0.00739	99.4731

Tabla 5.14 Eficiencias obtenidas con Cd a sus diferentes porcentajes.

C A D M I O				
Metal	**Metal extraído (g)**	**Metal añadido (g)**	**Metal retenido (g)**	**Metal retenido (%)**
0.05%	4.1274E-06	0.002521	0.00252	99.8363
0.10%	1.6078E-05	0.004984	0.00497	99.6774
0.15%	2.6961E-05	0.007467	0.00744	99.6389

Tabla 5.15 Eficiencias obtenidas con Fe a sus diferentes porcentajes.

H I E R R O				
Metal	**Metal extraído (g)**	**Metal añadido (g)**	**Metal retenido (g)**	**Metal retenido (%)**
0.05%	3.2723E-04	0.002500	0.00217	86.9107
0.10%	3.6820E-04	0.005036	0.00467	92.6886
0.15%	4.3305E-04	0.007503	0.00707	94.2283

Tabla 5.16 Eficiencias obtenidas con Níquel a sus diferentes porcentajes.

N I Q U E L				
Metal	**Metal extraído (g)**	**Metal añadido (g)**	**Metal retenido (g)**	**Metal retenido (%)**
0.05%	2.5350E-06	0.002497	0.00249	99.8985
0.10%	3.6750E-06	0.004986	0.00498	99.9263
0.15%	5.3055E-06	0.007503	0.00750	99.9293

Tabla 5.17 Eficiencias obtenidas con Cu a sus diferentes porcentajes.

C O B R E				
Metal	**Metal extraído (g)**	**Metal añadido (g)**	**Metal retenido (g)**	**Metal retenido (%)**
0.05%	3.2668E-04	0.002499	0.00217	86.9274
0.10%	1.0004E-03	0.004899	0.00390	79.5794
0.15%	2.7885E-03	0.007523	0.00473	62.9306

En las tablas 5.13 a 5.17 se muestran los valores obtenidos a partir de los ladrillos de cada metal. Los gramos de metal extraído se obtuvieron multiplicando el lixiviado por la cantidad de lixiviante, mientras que metal añadido es el resultado de multiplicar la muestra por el porcentaje de metal. La cantidad de metal retenido se calculó restando la cantidad de metal extraído al metal añadido.

Es importante mencionar que no se pudo hacer los cálculos con el Cromo, porque se tuvo problemas con este metal, como ya anteriormente se explicó.

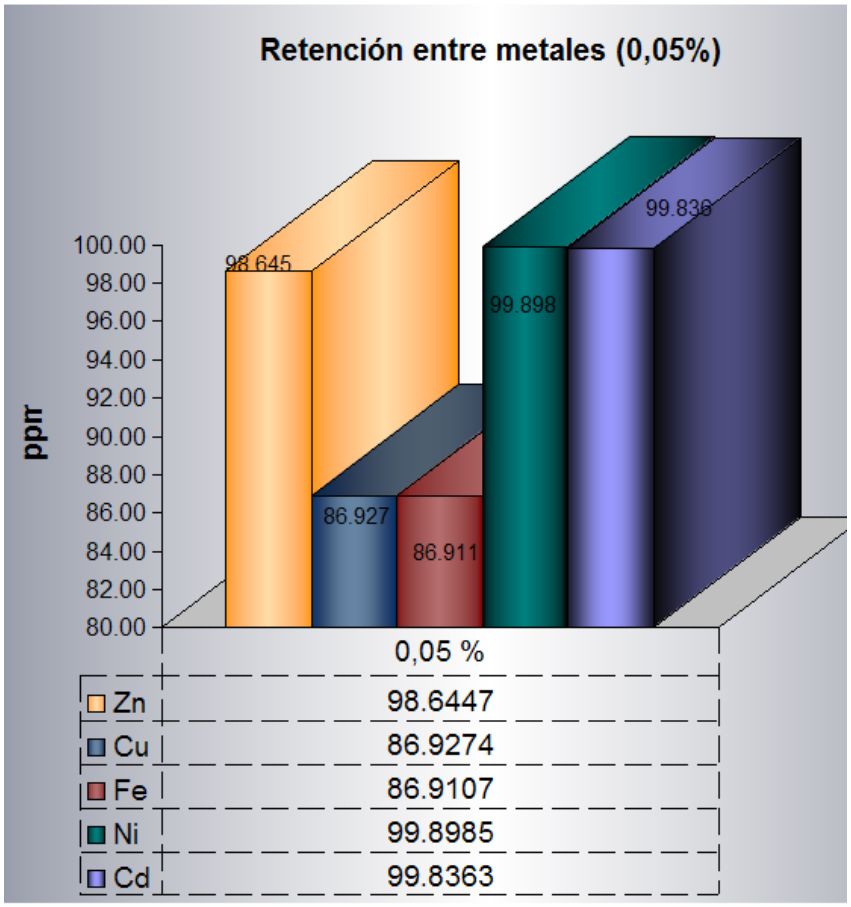

Figura 5.20 Retenciones a 0.05 %.

En la figura 5.20 es posible comparar las eficiencias de retención de cada metal, se puede observar que casi en todos los casos es muy alta, con la excepción del Cobre y el Hierro.

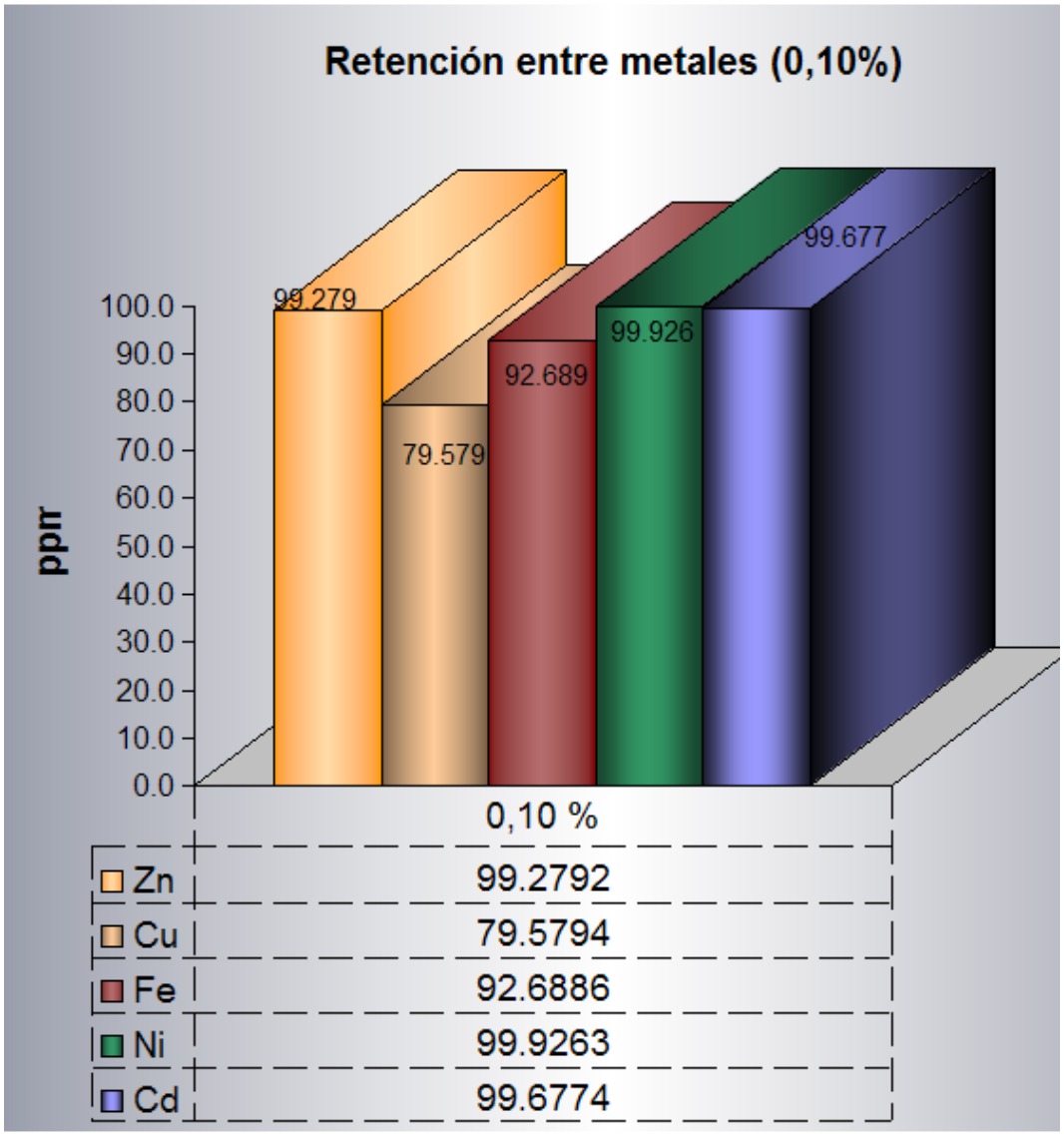

Figura 5.21 Retenciones a 0.10 %.

En es la figura 5.21 se muestran los porcentajes de retención de metal para los ladrillos con concentraciones al 0.10 %. Se observa un comportamiento muy similar al de el 0.05 %, sólo que en esta ocasión el Cobre es el único metal que no atrapa de manera eficiente. Se cree que el cobre no se atrapó de manera correcta en la estructura del ladrillo, debido a que no se oxidó completamente.

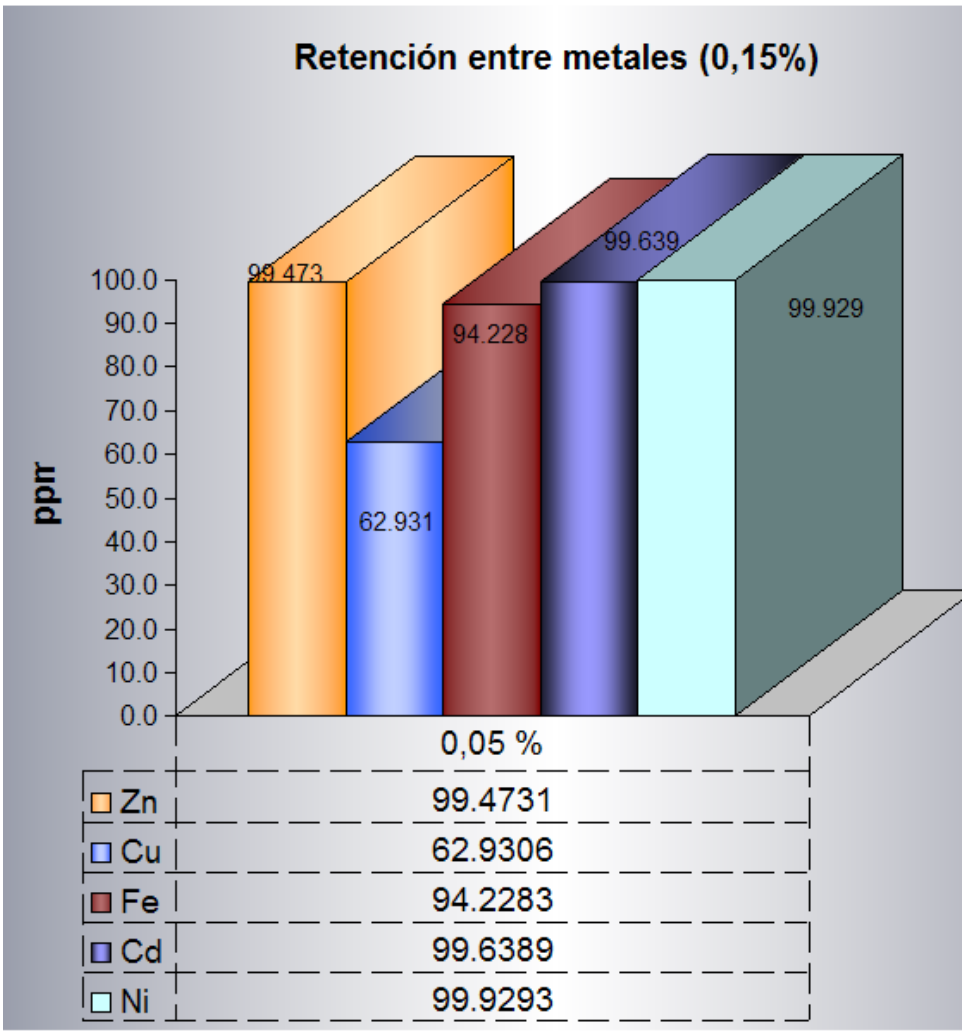

Figura 5.22 Retenciones a 0.15 %.

En la figura 5.22 se muestra un comportamiento similar al de 0.05 % y 0.10 %. Se puede observar que para cada uno de los porcentajes empleados sin importar el metal, la eficiencia de atropamiento es muy alta, a excepción del cobre. Por tanto, se puede decir que los ladrillos hechos también cumplen esta prueba y pueden ser utilizados para la industria de la construcción.

Los valores obtenidos con esta prueba, nos dan, sin duda un buen parámetro para la validación de la técnica, ya que, es posible comprobar que los metales fueron atrapados eficazmente por la estructura cristalina del ladrillo.

5.3 Determinación de la resistencia a la compresión de los ladrillos.

La prueba de compresión es sin duda, uno de los parámetros más importantes en la industria de la construcción. Con los resultados de esta prueba es posible conocer si el material elaborado, en este caso ladrillos, serán poder utilizados para la elaboración de muros o casas. Para ello en esta investigación la comparación se hizo contra la NMX-404-ONNCCE-2005.

Tabla 5.18 Resistencia mínima a compresión sobre área bruta.

Tipo de pieza	Resistencia de diseño (f*p) N/mm^2 (kg_f/cm^2)
Bloques de concreto vibrocomprimido	6 (60)
Tabicones	10 (100)
Tabique (ladrillo) recocido	6 (60)
Tabique (ladrillo) extruido o prensado (hueco vertical)	10 (100)
Tabique (ladrillo) multiperforado	10 (100)

Fuente. ONNCCE.

Las determinaciones realizadas se efectuaron, como se menciono anteriormente.

Tabla 5.19 Medidas de las formas.

Forma	largo (cm)	ancho (cm)	diametro (cm)
cuadro	2.5	2.5	----------
rectángulo	3.5	1	----------
círculo	----------	----------	2.5

Tabla 5.20 Áreas de los ladrillos con forma.

Forma	Area (cm^2)	Area ladrillos (cm^2)
Cuadros	12.5	52.4
Círculos	9.82	55.08
Rectángulos	7	57.9

En la tabla 5.19 se muestran las medidas de las formas que tienen los ladrillos. Con estas medidas se calcularon las áreas mostradas en la tabla 5.20. El ladrillo sin forma tiene las siguientes dimensiones: largo 11 cm, ancho 5.9 cm y área 64.9 cm^2. Por tanto el área de los ladrillos con forma es el resultado del área del ladrillo sin forma, menos el área de las formas.

Los resultados mostrados fueron obtenidos, tras dividir los Kg_f ejercidos sobre el ladrillo, entre el área de contacto. Para cada forma existe un área diferente.

5.3.1 *Sin Metal.*

La finalidad de analizar la resistencia a la compresión que tienen los ladrillos sin metal, fue para poder conocer el comportamiento del ladrillo conforme se le agregaba más metal.

Las pruebas a los ladrillos sin metal, fueron realizadas por duplicado para cada forma.

Tabla 5.21 Resultados para los ladrillos sin metal.

Sin Metal			
Concentración	**Kg_f (promedio)**	**Forma**	**Resistencia promedio (kg/cm^2)**
------	10812.5	rectángulo	186.74
------	20500.0	cuadro	391.22
------	24000	círculo	435.71

5.3.2 *Cobre.*

Este metal se analizó por duplicado, a cada concentración y con cada forma. Se hizo este estudio completo, con la finalidad de poder predecir el comportamiento de los demás metales.

Tabla 5.22 Resultados para ladrillos de Cu al 0.05 %.

Concentración al 0.15 % de Cu		
Forma	**Kg_f**	**Resistencia (kg/cm^2)**
cuadro	12250	233.78
círculo	13750	249.63
rectángulo	7050	121.76

Tabla 5.23 Resultados para ladrillos de Cu al 0.10 %.

Concentración al 0.10 % de Cu		
Forma	**Kg_f**	**Resistencia (kg/cm^2)**
cuadro	14250	271.95
círculo	16875	306.36
rectángulo	7575	130.83

Tabla 5.24 Resultados para ladrillos de Cu al 0.15 %.

Concentración al 0.05 % de Cu		
Forma	**Kg_f**	**Resistencia (kg/cm^2)**
cuadro	15575	297.23
círculo	18575	337.22
rectángulo	8500	146.80

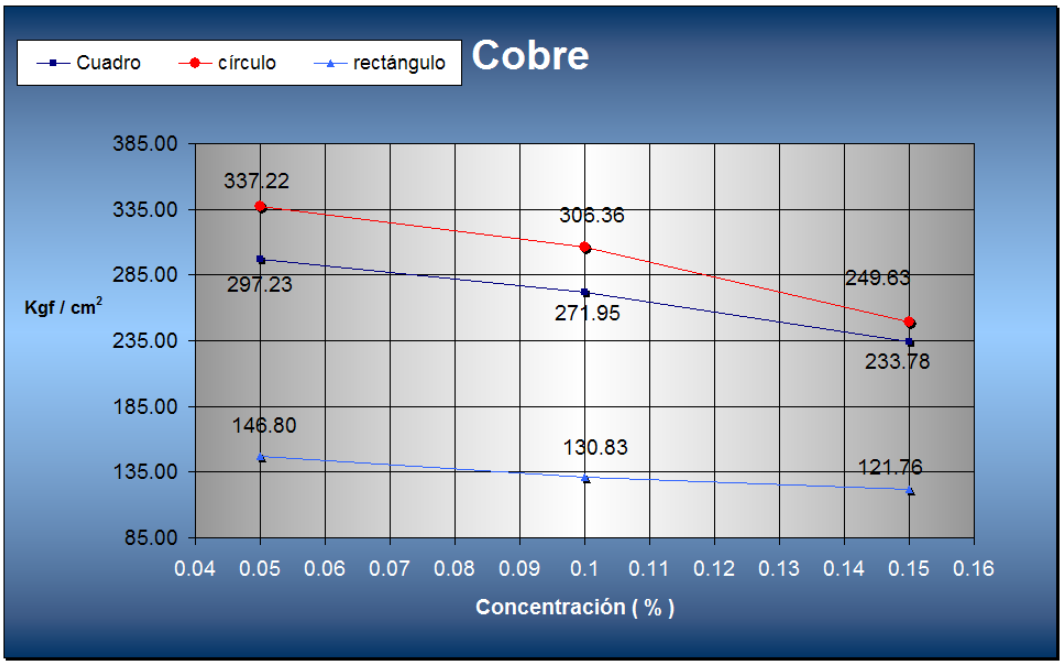

Figura 5.23 Comportamiento del Cobre.

De la tabla 5.22 a la tabla 5.24 se muestran los resultados obtenidos para cobre. En la figura 5.23 se puede ver que la forma es una variable, ya que, para todos los casos la resistencia cambia con la forma sin importar la concentración. Siendo más resistente el círculo, después el cuadro y por último el rectángulo.

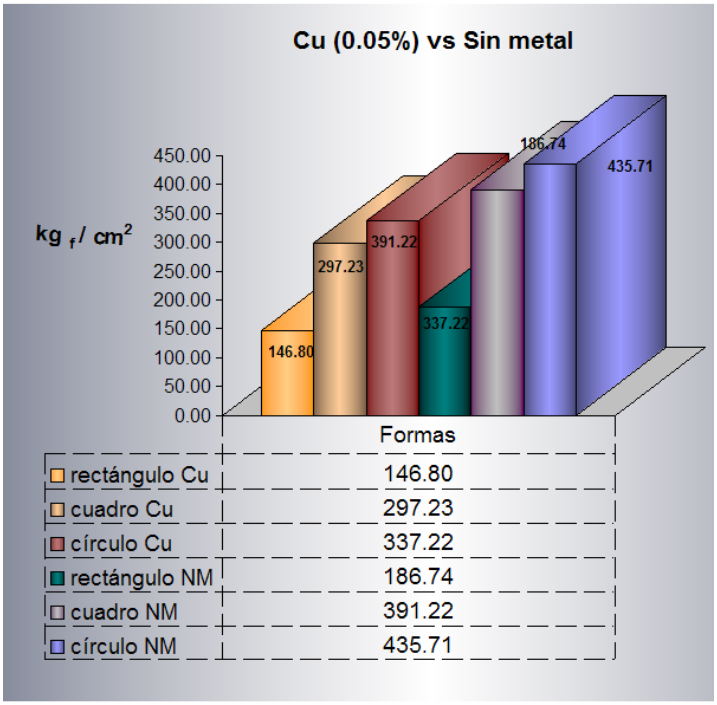

Figura 5.24 Comparación del Cobre al 0.05 % contra ladrillo sin metal.

En la figura 5.24 se comparan las resistencias del ladrillo sin metal (NM) contra el ladrillo a 0.05 % de Cobre. Se puede apreciar que la presencia del metal disminuye la resistencia del ladrillo. Además la forma más resistente es el círculo, seguido del cuadro y por último el rectángulo. Y de acuerdo a la NMX-404-ONNCCE, la resistencia mínima es de 100 kg/cm^2, por tanto estos ladrillos sí sirven para la construcción.

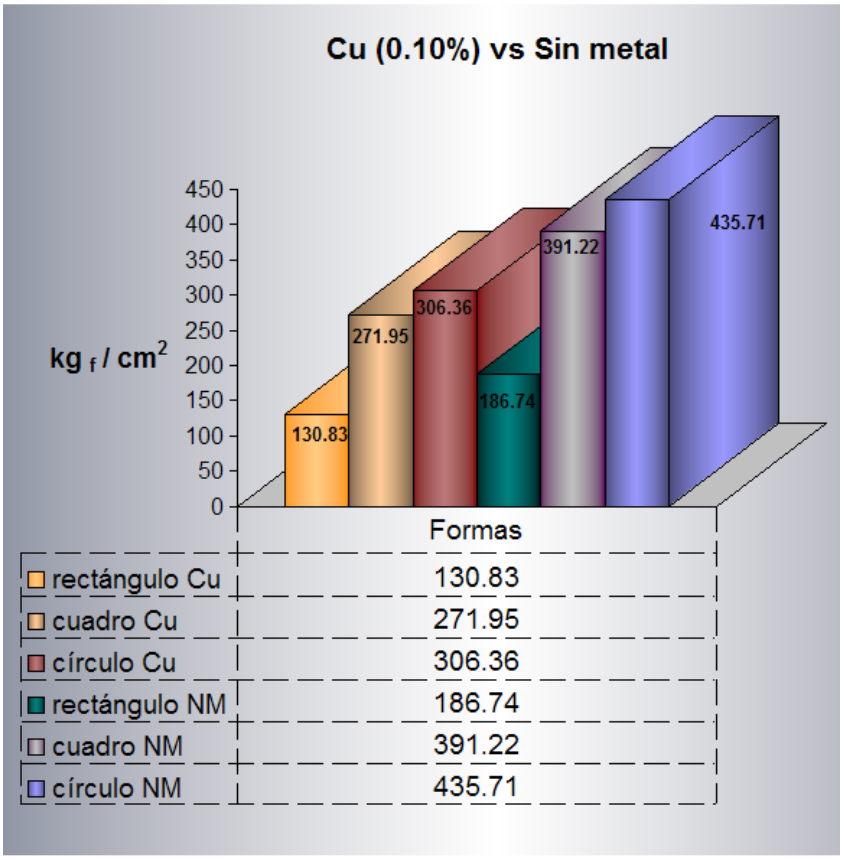

Figura 5.25 Comparación del cobre al 0.10 % contra el ladrillo sin metal.

En la figura 5.25 se comparan las resistencias del ladrillo sin metal (NM) contra el ladrillo a 0.10 % de Cobre. Se puede apreciar que la presencia del metal disminuye la resistencia del ladrillo y que es aún menor que la resistencia mostrada a 0.05 %.

Una vez más estos ladrillos siguen cumpliendo con la NMX-404-ONNCCE, y por tanto, los ladrillos al 0.10 % sirven para la construcción.

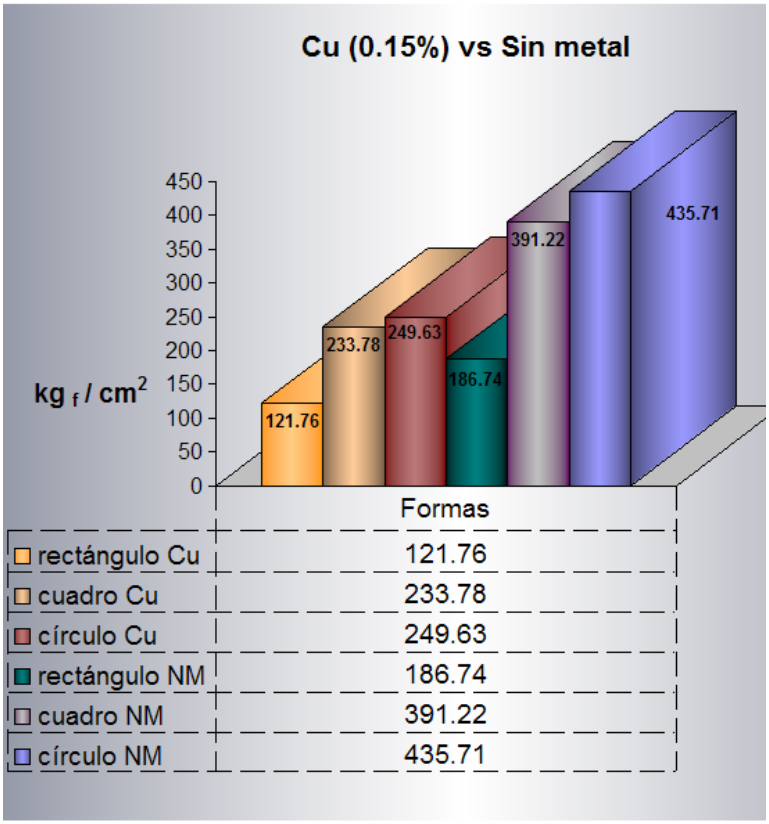

Figura 5.26 Comparación del cobre al 0.15 % contra el ladrillo sin metal.

En la figura 5.26 se comparan las resistencias del ladrillo sin metal (NM) contra el ladrillo a 0.15 % de Cobre. Se puede apreciar que la presencia del metal disminuye la resistencia del ladrillo y que es aún menor que la resistencia mostrada a los ladrillos de 0.05 % y 0.10 % de Cobre.

Sin embargo, aunque la resistencia es menor a mayor concentración, los ladrillos elaborados con un 0.15 % de Cobre siguen cumpliendo la norma y siguen siendo un material aprobado para la industria de la construcción.

Así pues se tomaron todos los datos obtenidos con el Cobre y se regresionaron para obtener ecuaciones que permitiera predecir el comportamiento de los demás metales a diferentes concentraciones y diferentes formas.

$$y = -875.96\ x + 385.33,\ R^2 = 0.9717$$

Figura 5.27 Ecuación lineal de regresión para círculo.

$$y = -634.54\ x + 331.11,\ R^2 = 0.9864$$

Figura 5.28 Ecuación lineal de regresión para cuadro.

$$y = -250.43\ x + 158.18,\ R^2 = 0.9753$$

Figura 5.29 Ecuación lineal de regresión para rectángulo.

En las figuras 5.27, 5.28 y 5.29, es posible apreciar las diferentes ecuaciones obtenidas con los datos de cobre para poder predecir el comportamiento del resto de los metales. En estas ecuaciones el valor de "x" representa la concentración o porcentaje de metal, "y" representa la resistencia en kg_f / cm^2.

Así con todas estas ecuaciones es posible predecir la resistencia que se podría obtener con un metal a determinada concentración y con determinada forma.

Para poder hacer la predicción de otro metal, a partir, de las ecuaciones que fueron obtenidas, también fue necesario conocer valores reales de los demás metales. Lo que se hizo fue que se predijo una resistencia con las ecuaciones y después se le resto el valor real obtenido.

5.3.3 *Zinc.*

Este metal se analizó por duplicado, a cada concentración y las formas de manera aleatoria. Los resultados mostrados son el promedio de las pruebas.

Tabla 5.25 Resultados para ladrillos de Zinc.

Zinc			
Concentración	**Kg_f (promedio)**	**Forma**	**Resistencia promedio (kg/cm^2)**
0.15	7062.5	rectángulo	121.98
0.10	10812.5	cuadro	206.35
0.05	11875	círculo	215.59

En la tabla 5.25 se pueden apreciar los resultados obtenidos con la prensa hidráulica para los ladrillos de Zinc a diferentes concentraciones y diferentes formas.

Tabla 5.26 Predicciones para ladrillos de Zinc.

Z I N C			
Forma	**Resistencia promedio (kgf/cm^2)**		
	0.05%	0.10%	0.15%
círculo	219.90	176.10	132.30
cuadro	233.78	202.05	170.33
rectángulo	148.18	128.75	109.32

En la tabla 5.26 se muestran las predicciones hechas con las ecuaciones obtenidas con el cobre.

Tabla 5.27 Comparación para Zn.

DATOS ZINC				
Concentración	**Forma**	**Resistencia experimental (kgf/cm^2)**	**Resistencia predicha (kgf/cm^2)**	**% Error**
0.05	circulo	215.59	219.90	2.00
0.10	cuadro	206.35	202.05	2.08
0.15	rectangulo	121.98	109.32	10.38

En la tabla 5.27 se muestra la comparación realizada entre los datos experimentales y los datos predichos con las ecuaciones obtenidas anteriormente. Se puede observar que para 0.05 y 0.10 % el error es muy pequeño, mientras que para 0.15% el error ya es algo representativo.

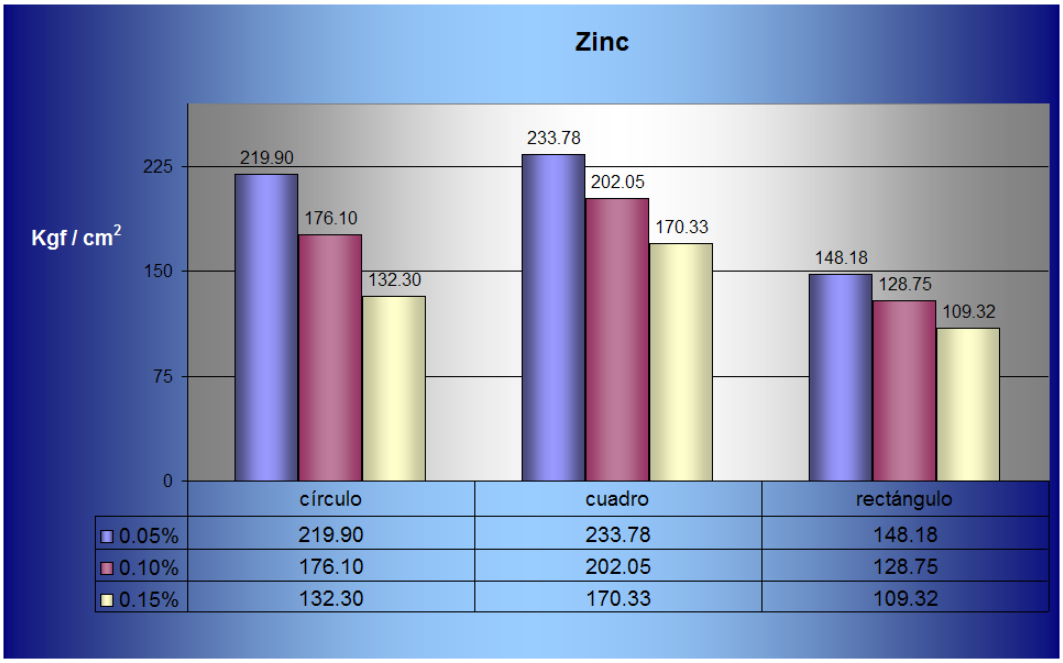

Figura 5.30 Resistencias de los ladrillos de Zinc.

En la figura 5.30 se puede apreciar que la existencia del Zinc en la matriz cerámica modifica mucho la resistencia a la compresión. Así pues, mientras mayor es el porcentaje agregado, menor es la resistencia a la compresión.

De acuerdo a la NMX-404-ONNCCE-2005. La resistencia mínima para los ladrillos o tabiques debe ser de 100 kg/cm^2. Por tanto los ladrillos de Zinc, cumplen la norma, sin importar forma y porcentaje de metal añadido.

5.3.4 *Cadmio.*

Este metal se analizó por duplicado, a cada concentración y las formas de manera aleatoria. Los resultados mostrados son el promedio de las pruebas.

Tabla 5.28 Resultados para ladrillos de Cadmio.

Cadmio			
Concentración	**Kg_f (promedio)**	**Forma**	**Resistencia promedio (kg/cm^2)**
0.15	2375	cuadro	45.32
0.10	2762.5	rectángulo	47.71
0.05	4250	círculo	77.16

En la tabla 5.28 se pueden apreciar los resultados obtenidos con la prensa hidráulica para los ladrillos de Cadmio a diferentes concentraciones y diferentes formas.

Tabla 5.29 Predicciones para ladrillos de Cadmio.

C A D M I O			
Forma	**Resistencia promedio (kgf/cm^2)**		
	0.05%	0.10%	0.15%
círculo	81.47	68.53	50.60
cuadro	72.76	53.92	47.47
rectángulo	62.54	50.02	37.50

En la tabla 5.29 se muestran las predicciones hechas con las ecuaciones obtenidas con el cobre.

Tabla 5.30 Comparación para Cd.

DATOS CADMIO				
Concentración	**Forma**	**Resistencia experimental (kgf/cm^2)**	**Resistencia predicha (kgf/cm^2)**	**% Error**
0.05	circulo	77.16	81.47	5.59
0.10	rectangulo	47.71	50.02	4.84
0.15	cuadro	45.32	47.47	4.74

En la tabla 5.30 se muestra la comparación realizada entre los datos experimentales y los datos predichos con las ecuaciones. Se puede observar que las predicciones hechas son buenas para el Cadmio porque los errores se encuentran alrededor del 5 %.

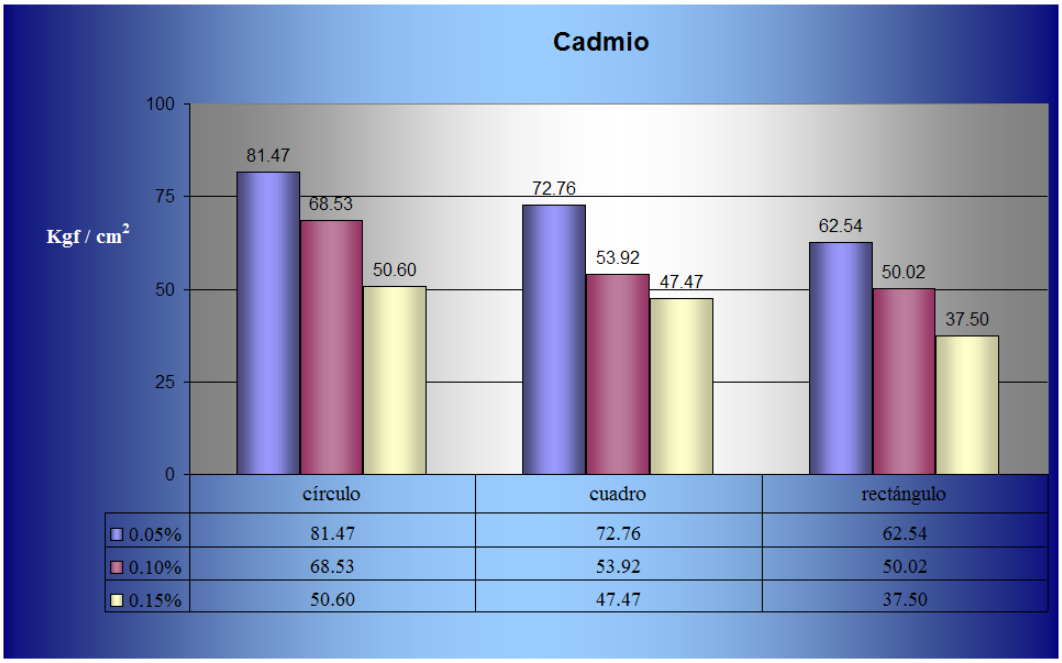

Figura 5.31 Comparación ladrillos de Cadmio.

En la figura 5.31 se puede apreciar que la existencia del Cadmio en la matriz cerámica modifica mucho la resistencia a la compresión, conforme se va agregando en mayor proporción.

A su vez, el Cadmio muestra una resistencia de menor magnitud con respecto al Zinc y al Cobre.

De acuerdo a la NMX-404-ONNCCE-2005. La resistencia mínima para los ladrillos o tabiques debe ser de 100 kg/cm^2. Por tanto los ladrillos de Cadmio no cumplen con la norma, sin importar forma ni concentración.

Se concluye que los ladrillos de Cadmio no sirven para la construcción, sin embargo podría elaborarse un material cerámico que sea utilizado para decoración, como una teja.

5.3.5 *Cromo.*

Este metal se analizó por duplicado, a cada concentración y las formas de manera aleatoria. Los resultados mostrados son el promedio de las pruebas.

Tabla 5.31 Resultados de los ladrillos de Cromo.

Cromo			
Concentración	**Kg_f (promedio)**	**Forma**	**Resistencia promedio (kg/cm^2)**
0.15	1812.5	cuadro	34.59
0.10	1625.0	rectángulo	28.07
0.05	3562.5	círculo	64.68

En la tabla 5.31 se pueden apreciar los resultados obtenidos con la prensa hidráulica para los ladrillos de Cadmio a diferentes concentraciones y diferentes formas.

Tabla 5.32 Predicciones para los ladrillos de Cromo.

C R O M O			
Forma	**Resistencia promedio (kgf/cm^2)**		
	0.05%	0.10%	0.15%
círculo	68.99	56.05	38.12
cuadro	62.03	43.18	36.74
rectángulo	42.90	30.37	17.85

En la tabla 5.32 se muestran las predicciones hechas con las ecuaciones obtenidas con el cobre.

Tabla 5.33 Comparación para Cromo.

DATOS CROMO				
Concentración	**Forma**	**Resistencia experimental (kgf/cm^2)**	**Resistencia predicha (kgf/cm^2)**	**% Error**
0.05	circulo	64.68	68.99	6.67
0.10	rectangulo	28.07	30.37	8.22
0.15	cuadro	34.59	36.74	6.22

En la tabla 5.33 se muestra la comparación realizada entre los datos experimentales y los datos predichos con las ecuaciones. Se puede observar que las predicciones hechas para el Cromo los errores oscilan del 6 al 8 %.

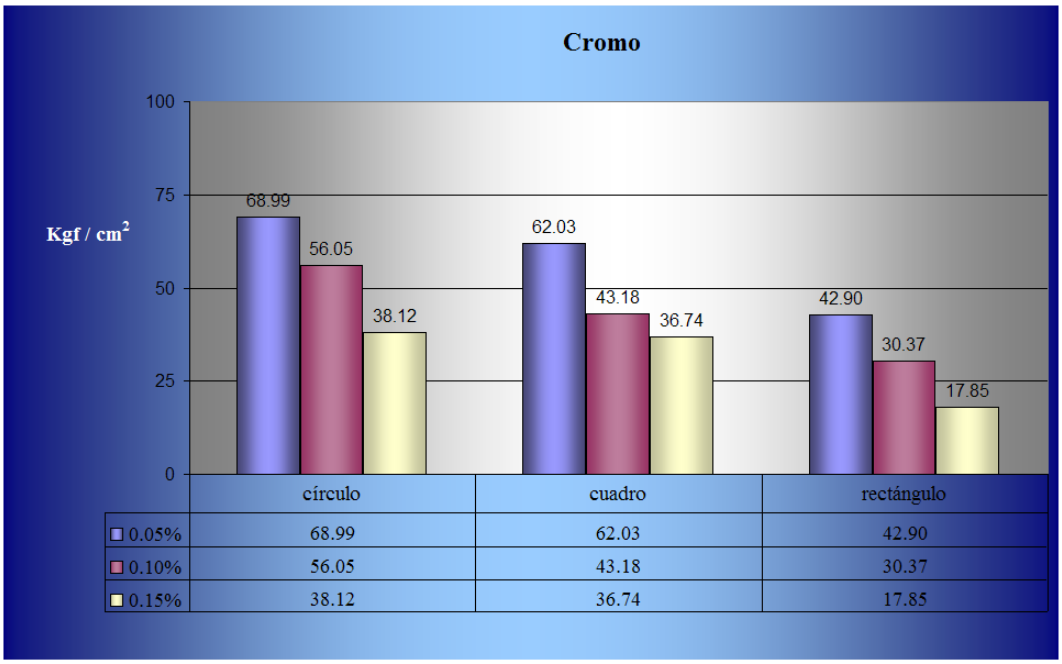

Figura 5.32 Comparación ladrillos de Cromo.

En la figura 5.32 se puede apreciar que la existencia del Cromo en la matriz cerámica modifica mucho la resistencia a la compresión y que como en el caso de los demás metales, mientras mayor sea la concentración menor será la resistencia a la compresión.

De acuerdo a la NMX-404-ONNCCE-2005. La resistencia mínima para los ladrillos o tabiques debe ser de 100 kg/cm^2. Por tanto los ladrillos de Cromo, al igual que los de Cadmio, no cumplen con la norma.

Se concluye que los ladrillos de Cromo al igual que los de Cadmio no sirven para la construcción, sin embargo podría elaborarse un material cerámico que sea utilizado para decoración, como una teja o incluso macetas.

5.3.6 *Níquel.*

Este metal se analizó por duplicado, a cada concentración y las formas de manera aleatoria. Los resultados mostrados son el promedio de las pruebas.

Tabla 5.34 Resultados para los ladrillos de Níquel.

Niquel			
Concentración	**Kg_f (promedio)**	**Forma**	**Resistencia promedio (kg/cm^2)**
0.15	9562.5	rectángulo	165.16
0.10	14375.0	cuadro	274.33
0.05	17000.0	círculo	308.63

En la tabla 5.34 se pueden apreciar los resultados obtenidos con la prensa hidráulica para los ladrillos de Níquel.

Tabla 5.35 Predicciones para ladrillos de Níquel.

N I Q U E L			
Forma	**Resistencia promedio (kgf/cm^2)**		
	0.05%	0.10%	0.15%
círculo	312.94	269.14	225.34
cuadro	301.77	270.04	238.31
rectángulo	189.05	176.53	164.01

En la tabla 5.35 se muestran las predicciones hechas con las ecuaciones obtenidas con el cobre.

Tabla 5.36 Comparación para Níquel.

DATOS NIQUEL				
Concentración	**Forma**	**Resistencia experimental (kgf/cm^2)**	**Resistencia predicha (kgf/cm^2)**	**% Error**
0.05	circulo	308.63	312.94	1.40
0.10	cuadro	274.33	270.04	1.56
0.15	rectángulo	165.16	164.01	0.69

En la tabla 5.36 se muestra la comparación realizada entre los datos experimentales y los datos predichos con las ecuaciones de cobre. Se puede observar que las predicciones hechas para el Níquel, son excelentes, ya que los errores son muy chicos, el error mayor es de 1.56 %.

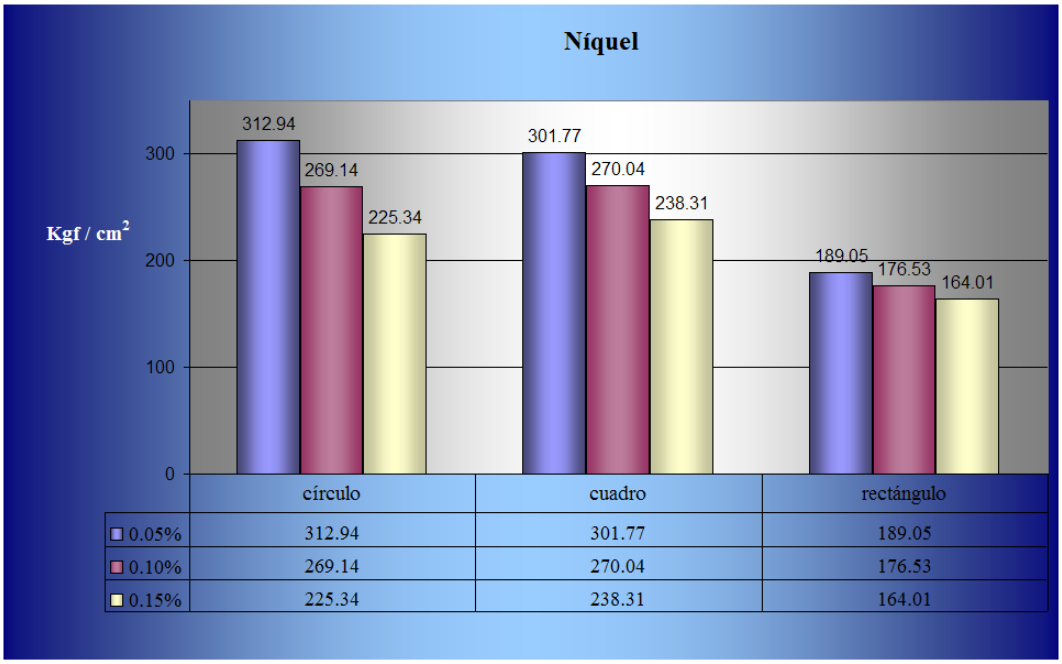

Figura 5.33 Comparación entre ladrillos de Níquel.

En la figura 5.33 se puede apreciar que la existencia del metal como en todos los demás casos cerámica modifica la resistencia a la compresión, sólo que en este caso, el níquel modifica en menor medida.

De acuerdo a la NMX-404-ONNCCE-2005. La resistencia mínima para los ladrillos o tabiques debe ser de 100 kg/cm^2. Por tanto los ladrillos de Níquel en todas sus concentraciones y para todas las formas están por arriba de la norma.

Se concluye que los ladrillos elaborados con Níquel, pueden ser utilizados en la industria de la construcción y podrán ser utilizados hasta para edificar casas.

5.3.7 *Hierro.*

Este metal se analizó por duplicado, a cada concentración y las formas de manera aleatoria. Los resultados mostrados son el promedio de las pruebas.

Tabla 5.37 Resultados para ladrillos de Hierro.

Hierro			
Concentración	**Kg_f (promedio)**	**Forma**	**Resistencia promedio (kg/cm^2)**
0.15	1875	círculo	34.04
0.10	1625.0	cuadro	31.01
0.05	2000	rectángulo	34.54

En la tabla 5.37 se pueden apreciar los resultados obtenidos con la prensa hidráulica para los ladrillos de Níquel.

Tabla 5.38 Predicciones para ladrillos de Hierro.

H I E R R O			
Forma	Resistencia promedio (kgf/cm^2)		
	0.05%	0.10%	0.15%
círculo	125.95	82.15	38.35
cuadro	58.45	26.72	0.00
rectángulo	33.40	20.87	8.35

En la tabla 5.38 se muestran las predicciones hechas con las ecuaciones obtenidas con el cobre.

Tabla 5.39 Comparación para Hierro.

DATOS HIERRO				
Concentración	**Forma**	**Resistencia experimental (kgf/cm^2)**	**Resistencia predicha (kgf/cm^2)**	**% Error**
0.05	rectángulo	34.54	33.40	3.32
0.10	cuadro	31.01	26.72	13.84
0.15	circulo	34.04	38.35	12.66

En la tabla 5.39 se muestra la comparación realizada entre los datos experimentales y los datos predichos con las ecuaciones de cobre. Se puede observar que las predicciones hechas para el Hierro, no son del todo buenas, ya que, los errores para 0.10 % y 0.15 % son grandes y están alrededor de 13 %.

Incluso a causa de los errores de predicción aparece un valor de cero, en los ladrillos a 0.15 %.

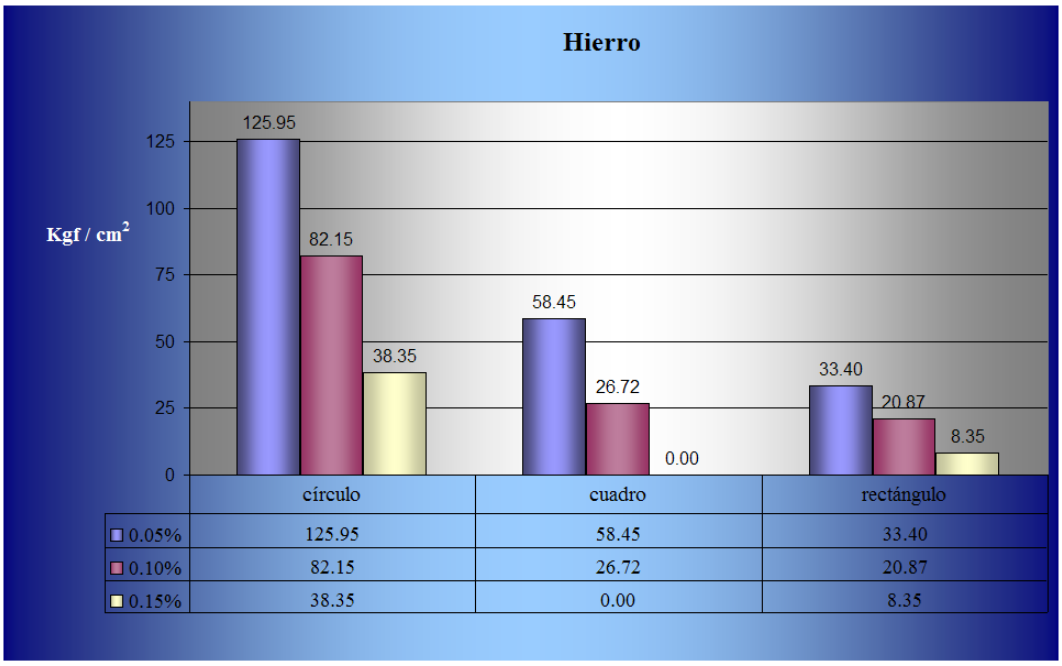

Figura 5.34 Comparación entre ladrillos de Hierro.

En la figura 5.34 se pueden apreciar las resistencias para Hierro. Al igual que el resto de los metales, las menores resistencias se presentan a las concentraciones más altas.

De acuerdo a la NMX-404-ONNCCE-2005. La resistencia mínima para los ladrillos o tabiques debe ser de 100 kg/cm^2. Por tanto, se podría decir que los ladrillos de Hierro, en general no cumplen con la norma, ya que sólo la forma circular con 0.05% de concentración es capaz de cumplir la resistencia mínima.

Se puede concluir que el Hierro al igual que el Cadmio y Cromo no se puede utilizar en la construcción. Sin embargo se podrían elaborar materiales cerámicos con fines decorativos como tejas o macetas.

5.3.8 *Comparación con trabajos anteriores.*

Tabla 5.40 Comparación de resultados con los trabajos anteriores.

Componente	Cruz, Dora Karen (2005)	Sánchez, Benjamín. Guzmán Ignacio (2007)
Sin metal	97.2	Rectángulo 186.74 Cuadro 391.22 Círculo 435.71
Cr 0.1 %	113.04	Rectángulo 186.74 Cuadro 391.22 Círculo 435.72
Cu 0.1 %	116.76	Rectángulo 186.74 Cuadro 391.22 Círculo 435.73
Fe 0.1 %	101.5	Rectángulo 186.74 Cuadro 391.22 Círculo 435.74
Ni 0.1 %	130.83	Rectángulo 186.74 Cuadro 391.22 Círculo 435.75

En la tabla 5.40 es posible observar y comparar los resultados obtenidos en los diferentes trabajos.

Se puede apreciar que en el ladrillo que no contiene metal, se superó por mucho el valor de la resistencia a la compresión de los trabajos anteriores.

También se puede decir que los resultados son consistentes a los obtenidos por Cruz, Dora Karen, ya que el ladrillo disminuye su resistencia al agregarle el metal.

Se concluye que la técnica empleada mejoró por mucho los valores de resistencia obtenidos anteriormente.