

USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES CON CROMO EN LA CONSTRUCCIÓN: INFORME DE AVANCE

M.C. Panigatti¹, H. Begliardo¹, J. D. Sota², R. Boglione¹,
C. Griffa¹, M. Perassi¹, L. Suarez¹, F. Thimental¹

¹ Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Rafaela- Bv.Roca 989 – 2300 Rafaela (SF) – Tel/Fax (03492)-432710/432702- laboratorio.civil@frra.utn.edu.ar – www.frra.utn.edu.ar

² Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional La Plata Centro de Investigaciones Viales – LEMaC, - Calle 60 esq. 24 – 1900, La Plata (Bs.As.) - jdsota@netverk.com.ar – www.frlp.utn.edu.ar/lemac

Resumen:

La UTN FRRa, con el asesoramiento de investigadores de UTN FRLP, se encuentra estudiando la inclusión de residuos con cromo en las obras civiles, derivados de procesos de industrias de la ciudad, utilizando el cemento pórtland del hormigón como matriz de fijación.

El trabajo que se presenta reseña las tareas emprendidas hasta el presente, las cuales incluyen la caracterización físico-química de los residuos, el acopio y análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, y la dosificación del hormigón patrón con la elaboración de los primeros pastones de prueba.

Palabras claves: cromo, hormigón, matriz de fijación, residuos de procesos, metalmecánica.

I. INTRODUCCIÓN

Las industrias metalúrgicas poseen dentro de los procesos productivos, aquellos que comprenden tratamientos superficiales, entre los que se puede citar el cromado y el niquelado. En particular, el proceso de cromado en las piezas metálicas, es muy utilizado para lograr un incremento en las propiedades mecánicas de resistencia al desgaste y de protección frente a la corrosión. Dicho proceso posee como efluente soluciones conteniendo Cr(VI), las cuales una vez tratadas, se obtiene un residuo sólido con Cr(III) y otros metales.

La disposición de estos residuos, considerados peligrosos, se ha transformado en un problema importante debido a la limitación de lugares adecuados donde disponerlos y a los estándares ambientales cada vez más exigentes.

Actualmente, la experiencia internacional demuestra que es posible diseñar construcciones con la inclusión de residuos, debiendo estos ser analizados previamente. Kindness et al. (1994) demostraron que la capacidad de inmovilización de Cr en matrices con cemento pórtland depende del estado de oxidación de dicho elemento. El Cr (III) se incorpora efectivamente en la fase sólida, con bajos niveles de Cr en el agua de poro. En cambio el Cr(VI) se incorpora en las fases hidratadas de cemento, y el agua de poro contiene niveles elevados de dicho elemento.

El objetivo del presente trabajo es resumir las tareas realizadas hasta el momento en el estudio de factibilidad de incorporación de residuos con cromo en hormigón.

II. METODOLOGÍA

En el presente trabajo se resumen las tareas desarrolladas hasta el momento. En una primera etapa, se realizaron muestreos y caracterización de los residuos correspondientes a dos empresas metalmeccánicas, los cuales se denominaron Residuo 1 y Residuo 2 (Figura N° 1). En la caracterización físico-química de los mismos, se realizaron las siguientes determinaciones: pH (Método electrométrico), Humedad (Evaporación y secado en estufa a 105 °C), Sólidos Volátiles (Secado en mufla 550 °C), Sólidos Solubles en Éter Etilico (Extracción con éter etílico y evaporación), contenido de Cr, Pb, Cu, Fe y Ni (Espectrometría de Absorción Atómica de Llama). También se determinó el contenido de Cr(VI) luego de realizar el ensayo de lixiviado (Ensayo TCLP, EPA – 1310 A). Asimismo, se efectuó el análisis elemental de ambos residuos por Rayos X con Sonda de electrones. A través de éste, se obtuvieron resultados semicuantitativos de aquellos elementos presentes en las muestras.

Residuo 1



Residuo 2



Figura N° 1: Fotos correspondientes a los Residuos utilizados en el estudio.

Paralelamente a la caracterización físico-química indicada, se procedió al acopio de los agregados gruesos y finos a emplear para la confección de los hormigones de prueba en Laboratorio, sobre los cuales se efectuaron las siguientes determinaciones: análisis granulométricos, módulo de finura, absorción de agua y densidades relativas en estado seco y en condición de saturados y superficie seca. Todo ello fue realizado con ajuste a las Normas IRAM correspondientes.

Los agregados analizados responden a las designaciones y procedencias que se indican en Tabla 1.

Tabla 1: Agregados: tipos, designación y procedencia.

Tipo de agregado	Designación Comercial	Procedencia
Arena	"Fina"	Santa Fe (Río Paraná)
	"Mediana"	Santa Fe
	"Gruesa"	Córdoba
Piedra partida granítica	"6-19"	Córdoba
	"10-30"	Córdoba

Asimismo, se procuró realizar un análisis granulométrico sobre el Residuo 1 en estado seco. Frente al grado de pulverización del mismo, se descartó esta vía. Alternativamente, se implementó un procedimiento interno de tamizado por vía húmeda.

Finalmente, y con los datos obtenidos, se procedió a la selección de la combinación agregados más adecuada, y a la dosificación del *hormigón patrón* con la elaboración de los primeros pastones de prueba. Las pautas de diseño del mismo debían responder a lo siguiente:

Premisas de diseño para el hormigón patrón (Hormigón 1):

- Mínimo: 350 kg/m³ de cemento CPC 40, con la consideración alternativa de empleo de CPF 40
- Asentamiento medido en el cono de Abrams: 6 cm.
- Curva continua de agregados.
- Empleo de aditivo superfluidificante.
- Relación agua/material cementicio $\approx 0,35$
- Agregado Grueso: piedra partida de origen granítico, mezcla de tamaños comerciales "10-30" y "6-19".
- Agregado Fino: mezcla de arena fina, procedente del río Paraná (Santa Fe) y arena gruesa procedente de la Provincia de Córdoba.
- Porcentaje de residuo industrial con Cromo a incorporar: máximo 10%, como reemplazo de agregado, en peso del cemento.

Además se elaboraran hormigones con adiciones en tres porcentajes menores al máximo establecido como límite:

Hormigones a elaborar:

- Hormigón 2: Hormigón patrón + 3 % de residuo con Cromo.
- Hormigón 3: Hormigón patrón + 5 % de residuo con Cromo.
- Hormigón 4: Hormigón patrón + 7 % de residuo con Cromo.
- Hormigón 5: Hormigón patrón + 10 % de residuo con Cromo.

El porcentaje está referido al peso del cemento.

El procedimiento consistirá en trabajar el residuo como parte de la fracción fina de los agregados, para ello se ajustará el porcentaje de participación de los mismos en función del porcentaje creciente del residuo.

III. RESULTADOS

IIIa. Residuos

Los elementos químicos identificados en los residuos, por análisis con Rayos X con Sonda de electrones, y su distribución porcentual expresada en % m/m se detallan a continuación en la Tabla 2.:

Tabla 2: Porcentajes de los elementos químicos

Muestra	Relaciones relativas en % (m/m)									
	Na	Al	Si	S	Cl	Ca	Cr	Fe	Ni	Cu
Residuo 1	22	7	1	25	2	3	36	2	--	2
Residuo 2	3	--	2	33	--	54	5	2	1	--

De los resultados obtenidos se observa que el Residuo 1 posee elevado contenido de cromo, azufre y sodio. Esto se debe a que la empresa realiza un tratamiento del efluente en el cual utiliza para la reducción de Cr(VI) sulfito de sodio y posterior neutralización con hidróxido de sodio. En cambio, en el Residuo 2 los elementos más importantes son calcio y azufre, encontrándose cromo en bajos porcentajes. En este caso, el cromo hexavalente es reducido con sulfito ácido de sodio y el efluente es neutralizado con hidróxido sodio y luego con cal.

Los resultados obtenidos en la caracterización fisicoquímica de dichos residuos se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3: Análisis fisicoquímico de los residuos

Parámetro	Residuo 1	Residuo 2
pH	7,4	12,5
Sólidos Solubles en éter etílico (g/100 g muestra húmeda)	3,35	--
Humedad (g/100 g)	28,5	2,1
Sólidos Volátiles (g/100 g muestra húmeda)	14,4	--
Cromo (g/kg Cr)	186,0	13,0
Plomo (g/kg Pb)	0,3	ND (0,06)
Cobre (g/kg Cu)	13,0	0,09
Hierro (g/kg Fe)	8,0	7,1
Níquel (g/kg Ni)	0,2	1,4

Las muestras difieren significativamente entre sí, fundamentalmente en el pH, el contenido de humedad, y la concentración de cromo y cobre, esto se debe a los distintos procesos de tratamientos de los efluentes utilizado en cada una de las empresas.

En los ensayos de lixiviados realizados en cada uno de los residuos se encontró que en el Residuo 1, el contenido de Cr(VI) era de 4,9 mg/l mientras que en el Residuo 2 no se detectó la presencia de dicho metal en estado hexavalente.

El procedimiento interno implementado, para el tamizado por vía húmeda del Residuo 1, arrojó como resultado un módulo de finura de 0,84.

IIIb. Materiales para la fijación

Los análisis físicos practicados sobre los agregados finos y gruesos, arrojaron los resultados que se consignan en Tablas 4 y 5.

Tabla 4: Análisis de los agregados finos

Tipo de análisis	Norma de aplicación	Arena Fina	Arena Mediana	Arena Gruesa
Modulo de Finura	IRAM 1505:87	0,86	2,11	3,16
Densidad relativa real	IRAM 1520:02	2,65	2,64	2,62
Densidad relativa aparente del agregado seco		2,63	2,63	2,60
Densidad relativa aparente del agregado s.s.s.		2,64	2,64	2,61
Absorción		0,18 %	0,18 %	0,32 %

Tabla 5: Análisis de los agregados gruesos

Tipo de análisis	Norma de aplicación	Piedra 6-19	Piedra 10-30
Modulo de Finura	IRAM 1505:87	6,72	7,64
Tamaño máximo del agregado grueso		25 mm	37,5 mm
Densidad relativa real	IRAM 1533:02	2,78	2,70
Densidad relativa aparente del agregado seco		2,71	2,65
Densidad relativa aparente del agregado s.s.s.		2,73	2,67
Absorción		1,04 %	0,71 %
Material fino P.T. 75 µm por lavado	IRAM 1540:86	0,8 %	0,4 %

Dosificación del Hormigón 1 (hormigón patrón)

La combinación más conveniente hallada para la mezcla responde a una relación agregado fino/agregado total de 0,35. En ella se ha descartado a la arena fina por no aportar mejoras significativas en la graduación y en la aproximación a la curva de Füller, dentro de los límites normados (Tablas 6a y b; Figura N° 1).

Tabla 6 a: Mezcla de agregados. Relaciones porcentuales

Mezcla de agregados

Cantidad de Agregados Finos que intervienen en la mezcla :				2
Agregado Fino respecto del agregado Total (%):				35
A. FINO	Agregado N°	1	2	3
	Designación	Arena fina	Arena Mediana	Arena Gruesa
	% del agregado total	-	15	20
Cantidad de Agregados Gruesos que intervienen en la mezcla :				2
A. GRUESO	Agregado N°	1	2	3
	Designación	Piedra 6 - 19	Piedra 10- 30	
	% del agregado total	30	35	

Tabla 6 b: Mezcla de agregados. Módulo de Finura

Abertura Tamiz IRAM (mm)	Mezcla de Agregados	TM Nominal (mm): 37,5			
		Límites según Norma: IRAM			Fuller
		A	B	C	
63	100,0	100	100	100	100,0
50	100,0	100	100	100	100,0
37,5	100,0	97	98	100	100,0
25,0	94,3	78	85	94	81,6
19,0	74,2	60	71	88	71,2
12,5	49,3	52	61	83	57,7
9,5	43,4	45	52	77	50,3
4,75	35,7	39	43	66	35,6
2,36	33,5	29	38	53	25,1
1,18	25,8	20	33	42	17,7
0,600	18,1	10	22	30	12,6
0,300	5,0	4	9	17	8,9
0,150	0,6	1	2	4	6,3
MF de la Mezcla:	5,64				

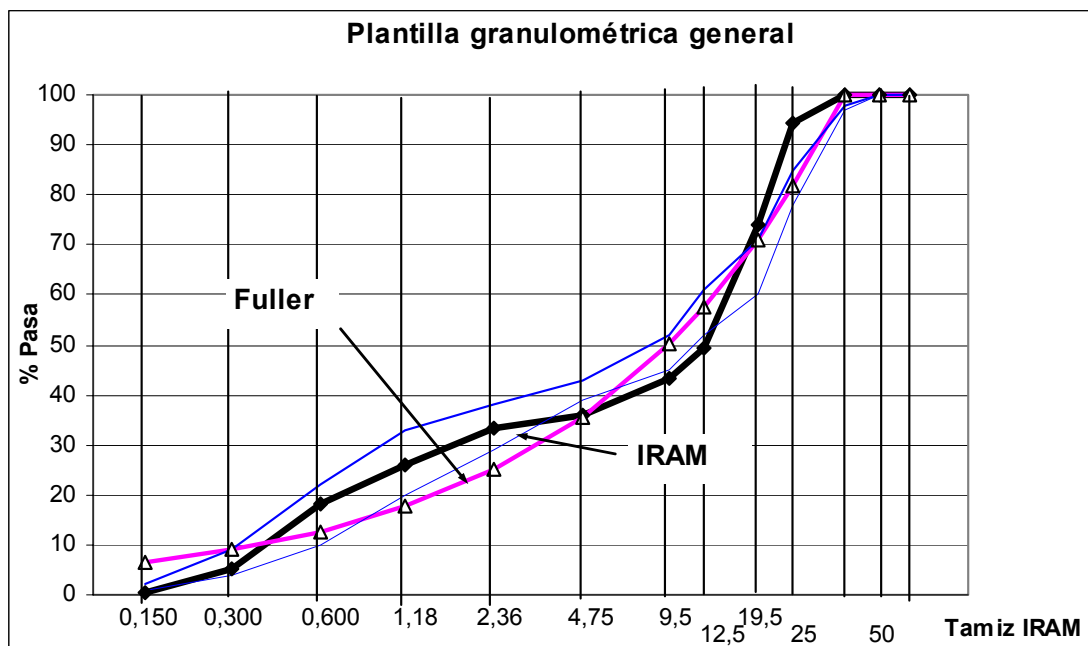


Figura N° 2 – Curvas granulométricas

Condiciones adoptadas para el diseño:

- Resistencia característica 28 días($\sigma'_{bk, 28 \text{ días}}$) = 30 MPa
- Desvío estándars = 4 MPa
- Resistencia media 28 días ⁽¹⁾ ($\sigma'_{bm, 28 \text{ días}}$) = 37 MPa

$$^{(1)} \sigma'_{bm} = \sigma'_{bk} + 1,65. s$$

- Asentamiento: 6 cm.
- Contenido mínimo de cemento:
 - 350 kg/m³
- Relación agua/ material cementicio (R.A/C.):
 - Por condición de resistencia para CP40 .. = 0,48 (ábaco 2 Método ICPA)
 - Por premisas del proyecto de investigación = 0,35
 - Por condición de durabilidad..... = 0,53 (CIRSOC 201-1982).

Ha definido el diseño de la mezcla la *premisa del proyecto de investigación*.

Dosificación adoptada:

Se indican en Tabla 7 la cantidad de materiales necesarios para elaborar 1 m³ de hormigón en estado fresco para una R.A/C. = 0,35, con agregados en condiciones secos y saturados superficie seca.

Tabla N° 7: Materiales para la elaboración de 1 m³ del Hormigón 1(patrón)

Material componente	Peso para 1 m³ de hormigón (Agregados secos) Kg	Peso por m3 de hormigón (Agregados s.s.s.) Kg
Agua	122,5	122,5
Cemento Pórtland Compuesto CPC 40	350	350
Piedra Partida 10/30	694,5	699,4
Piedra Partida 6/19	595	601,2
Arena “Gruesa”	397	398,3
Arena “Mediana”	297,5	298
Aire		
Aditivo superplastificante		
Totales	2456,5	2469,4

Los pastones de prueba realizados han permitido alcanzar el asentamiento de 6 cm. medido en el tronco de cono, con la adición de 60 ml. de aditivo. Su aspecto ha sido normal y, en la evaluación de rendimiento, el Peso Unitario calculado ha coincidido con el Peso Unitario experimental.

IV. CONSIDERACIONES FINALES

De los resultados obtenidos se puede concluir que ambos residuos presentan características fisicoquímicas muy diferentes.

Basándonos en las disímiles características de los residuos en estudio, se comenzará trabajando con el Residuo 1, ya que la empresa generadora cuenta con gran cantidad del mismo acumulado y presenta mayores concentraciones de cromo.

La relación agua/material cementicio (RAC = 0,35) a emplear para la elaboración de los pastones está muy por debajo de las establecidas en los reglamentos por condiciones de durabilidad (RAC = 0,53), o las surgidas de ábacos por condición de resistencia (RAC = 0,48). De ello se infiere que las resistencias a compresión a obtener serán superiores a las adoptadas para el diseño.

V. BIBLIOGRAFÍA

- V. Alunno Rossetti and F. Medici "Inertization of toxic metals in cement matrices: Effects on hydration, setting and hardening". Cement and Concrete Research, Vol.25 N° 6, (1995) Pag. 1147-1152.
- F. P. Glasser "Fundamental aspects of cement solidification and stabilization". Journal of Hazardous Materials, Vol. 52 Issue 2-3 (1997) Pag 151-170.
- Kindness. "Immobilization of chromium in cement matrices". Waste Management, Vol. 14 Issue 1 (1994) Pag 3-11.
- A. Macias; A. Kindness and F.P. Glasser. "Impact of carbon dioxide on the immobilization potential of cement wastes: Chromium." Cement and Concrete Research, Vol 27, Issue 2 (1997) Pag 215-225.
- T. Rinehart; D. Schulze; R. M. Bricka; S. Bajt and E. R Blatchley. "Chromium leaching vs. Oxidation state for a contaminated solidified/stabilized soil." Journal of Hazardous Materials, Vol. 52 Issue 2-3 (1997) Pag 213-221.
- J.D. Sota; M.F. Barreda et al. "Fijación de un residuo contaminante (catalizador agotado) en estructuras de hormigón de una destilería". National Conference In Situ Behaviour of Construction. 15th edition, Bucaresti, Romania, September 2004.
- M.A. Trezza and M.F. Ferraiuelo "La influencia del cromo en la hidratación del cemento portland". Memorias del Congreso de Ingeniería 2000 - AATH - AIE - AAHP, Buenos Aires, Setiembre de 2000.
- S. Trussell and R. D. Spence "A review of solidification/stabilization interferences." Waste Management, Vol. 14 Issue 6 (1994) Pag 507-519.
- M. Yousuf; A. Mollah; R. K. Vempati; T. C. Lin and D.Cocke "The interfacial chemistry of solidification/ stabilization of metals in cement and pozzolanic material systems", Waste Management, Vol.15 Issue 2 (1995), Pag. 137-148.
- M.C. Panigatti, H. Begliardo, J.D. Sota, C. Griffa, R. Boglione, S Casenve. "Propuesta de Estudio del Uso de Residuos Industriales con Cromo en la Construcción". 3er.Encuentro PROCQMA. Carlos Paz (Córdoba). 2005.
- J. García Balado."Método para la Dosificación de Hormigones", ICPA, Buenos Aires. 1947
- R. Torrent, L.Fernández Luco. "Diseño Racional de Mezclas de Hormigón", ICPA, Buenos Aires. 1997
- Reglamento CIRSOC 201, "Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Hormigón Armado y Pretensado".Tomo 1. INTI. Buenos Aires. 1982.