

Confinar pilas agotadas en hormigón

Confine dead batteries in concrete

Edgardo Remo Benvenuto Pérez

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
remoben@hotmail.com

Micaela A. Sanmartino

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional San Francisco, Argentina.
msanmartino@facultad.sanfrancisco.utn.edu.ar

Carlos D. Fissore

Instituto Provincial de Educación Técnica IPET 264, San Francisco, Argentina.
carlosdanielfissore@gmail.com

Resumen

Las pilas y baterías químicas agotadas son residuos peligrosos, es un serio problema ambiental porque son muy contaminantes. Están formadas, por ejemplo, por mercurio, cadmio, níquel, litio, cinc, plomo, sustancias peligrosas para la salud y el ambiente. En general, es nula la gestión de las mismas y se mezclan con los residuos comunes. En el trabajo se propone confinar pilas y baterías agotadas en hormigón, lo que significa aislarlas del medio ambiente. Se destaca que no se incluyen los acumuladores de plomo (Pb), la contaminación con Pb es muy importante y no se aborda en el presente trabajo. Se han investigado los efectos en algunas propiedades del hormigón al agregar y mezclarlo con pilas y baterías. La conclusión del trabajo es que agregando 1 % máximo en volumen de pilas y baterías agotadas al hormigón sus propiedades no varían apreciablemente.

Palabras clave: Confinar, pilas, baterías, hormigón.

Abstract

Exhausted chemical cells and batteries are hazardous waste, it is a serious environmental problem because they are highly polluting. They are formed, for example, by mercury, cadmium, nickel, lithium, zinc, lead, substances that are hazardous to health and the environment. In general, their management is null and they are mixed with common waste. In the work it is proposed to confine depleted cells and batteries in concrete, which means isolating them from the environment. It should be noted that lead (Pb) accumulators are not included, contamination with Pb is very important and is not addressed in the present work. The effects on some properties of concrete by adding and mixing it with batteries have been investigated. The conclusion of the work is that adding a maximum 1% by volume of depleted cells and batteries to the concrete, its properties do not vary appreciably.

Keywords: Confine, batteries, concrete.

Introducción

Los términos pila o batería significan, en general: pila no es recargable, batería es recargable. Pese a ser evidente que son muy convenientes las baterías recargables, las pilas no recargables se continúan usando en varios dispositivos por distintos motivos.

El uso de las pilas y baterías actualmente es muy amplio y diverso, en muchos dispositivos se usan pilas y baterías que, inevitablemente, se agotan y hay que desechar.

En nuestro país, según la Ley 24051^[1], residuo peligroso es todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general. En particular son considerados peligrosos los residuos indicados en el Anexo I o que posean alguna de las características enumeradas en el Anexo II de la mencionada ley.^[2]

Se ha investigado si en Argentina se realiza un reciclado o existe algún proyecto o propuesta para el destino final de las pilas y baterías agotadas, la información que se ha obtenido respecto a qué hacer con las pilas y baterías agotadas es que son muy contaminantes (residuos peligrosos), no se deben mezclar con los residuos comunes y se deben guardar. Obviamente, la cantidad de pilas y baterías agotadas aumenta y es evidente que si se guardan y acumulan debe ser en lugares que se garantice que no tiene contacto con el medio ambiente. [3] Considerando que el reciclado de las pilas y baterías no es simple ni barato, se propone hacerlo de una forma semejante a los residuos nucleares que se originan por el uso de sustancias radiactivas en, por ejemplo, pruebas nucleares, centrales nucleares, medicina nuclear. Son muy peligrosos para la biósfera y no es posible reciclar ni neutralizar, luego se entierran en montañas o lugares aislados y se sellan o confinan con hormigón, se aíslan del medio ambiente. Este método para los residuos nucleares es esencial para justificar la propuesta del trabajo que es confinar pilas agotadas en hormigón. Luego se amplía el tema con la descripción de cementerios nucleares que agregan más argumentos. El proyecto de confinar pilas en hormigón se llama ProyPH.

Desarrollo

La primera etapa imprescindible es separar las pilas y baterías agotadas de todos los otros desechos y residuos. Desde el año 2012 en la UTN San Francisco se realiza una campaña de separación de pilas, se instalan recipientes para que todas las personas que concurren a la Facultad coloquen las pilas y baterías agotadas (se excluyen los acumuladores de Pb). Se destaca que se observó un resultado muy irregular en el cumplimiento del ProyPH por las personas que concurrían a la Facultad, obviamente para que la separación fuera correcta, todas las personas que concurrían a la Facultad (estudiantes, docentes, no docentes, etc.) debían colocar las pilas y baterías agotadas en los recipientes. En general, se encontraron pilas y baterías sueltas y también, por ejemplo, en recipientes, bolsas, botellas, y otros desechos.

Se realizaron varias experiencias cuantitativas para comparar propiedades del hormigón con y sin el agregado de pilas y baterías: Resistencia a la compresión (Rcompr), Análisis de agua líquida y Corrosión de Fe.

Resistencia a la compresión: es una propiedad básica del hormigón. El ensayo se realiza en el laboratorio de Ingeniería Electromecánica de la UTN San Francisco donde los obradores envían las probetas de prueba para medir la Rcompr.

La probeta es cilíndrica de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, para realizarla se sigue un protocolo: se coloca en el molde 10 cm de hormigón, se apisona con un palo, luego 10 cm más, nuevamente apisonar y los últimos 10 cm, el palo y el alisado superior. Aproximadamente a las 24 hs. se abre el molde, la probeta ya se puede manipular y se sumerge en agua. El hormigón fragua aprox. el 95 % en 28 días, la probeta está lista para el ensayo de la Rcompr. El volumen de la probeta es aprox. 5,3 litros L. Para comparar la Rcompr del hormigón sin y con pilas se agregan distintos porcentajes en volumen (% V) de pilas y baterías agotadas.

Se realizaron ensayos exploratorios con distintos porcentajes % hasta adoptar un % en V de pilas agotadas aprox. del 1 %.

Las probetas para la experiencia con 1 % en V se realizan: los V de las pilas AAA son aprox. 3,4 cm³ y los de las pilas AA 7,4 cm³, luego si el V de la probeta es 5.300 cm³, el V de pilas a agregar es 53 cm³: 4 pilas AA y 7 pilas AAA. El hormigón es H 21 de la empresa local Passamonte confeccionada por computadora, tiene 18,0 % de cemento (en masa), 5,0 % de agua, el resto piedra y arena en partes iguales (38,5 % c/u).

Los resultados se muestran en la tabla 1. Se destaca que los valores numéricos son expresados en cifras significativas.

Probeta	Rcompr (kg/cm ²)
Probeta 1 sin pilas	224,4
Probeta 2 con 1 % pilas agotadas	249,2
Probeta 3 con 1 % de pilas agotadas	184,7

Tabla 1: Resultados experiencia con hormigón H21 (Rcompr = 210 kg/cm²).

Las probetas pueden ser distintas aunque se confeccionen simultáneamente (repetibilidad), las causas pueden ser, por ejemplo, que el hormigón no es un sistema homogéneo, la velocidad de fraguado es distinta, es una velocidad de reacción química que depende de muchas variables que justifican los resultados. Si las probetas no son realizadas simultáneamente, los resultados experimentales comparados son importantes (reproducibilidad: Tabla 3).

Análisis de agua líquida: al ofrecer y difundir el ProyPH se han presentado algunas objeciones, por ejemplo, que el hormigón es poroso y si tiene pilas el agua líquida pasa y extrae (lixiviación) contaminantes de las pilas.

En el año 2018 se realizaron algunas experiencias en Devoto (Córdoba), una importante fue investigar si el hormigón es poroso y el agua líquida puede extraer (lixiviar) componentes de las pilas y baterías. Se describe la experiencia realizada en octubre de 2018 en la planta de hormigón de Devoto. El objetivo fue investigar la posible lixiviación de los componentes de las pilas y baterías confinadas en hormigón por agua líquida, o sea la extracción por el agua líquida de sustancias de las pilas y baterías confinadas en hormigón.

Se analiza el agua líquida donde fraguan las probetas de hormigón usadas para medir la Rcompr. El protocolo para las probetas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura es: llenar los moldes, desmoldar 1 día después y sumergir en agua, sacar a los 27 días y analizar el agua donde fragua cada probeta. También medir la Rcompr.

La experiencia consiste en hacer 2 probetas sin pilas, 2 con pilas y colocar cada una en baldes separados con agua. Simultáneamente se llenan 2 baldes con agua líquida sin probetas. El agua usada es la misma.

A los 28 días se tienen 6 muestras de agua líquida separadas: 2 de agua sin probetas (blanco), 2 de probetas sin pilas y 2 de probetas con pilas.

Se analizan los cationes K^+ (ac), Zn^{2+} (ac), Pb^{n+++} (ac), Fe^{n+} (ac), Cr^{n+} (ac). [(ac) significa disolución acuosa].

Se indican datos de la experiencia realizada en Devoto (Córdoba):

Hormigón: cantidades aproximadas y % en masa: piedra (grande): 300 kg (41 %); arena gruesa 280 kg (38 %); cemento: 100 kg (14 %); agua líquida: 50 kg (7 %) (aprox. H21).

Se mide la densidad media Dm del hormigón de las probetas: DmHorm = 2,2 kg / L

Volumen de una probeta: Vprob. = 5,3 L ; masa de una probeta: Mprob. = 11,7 kg

En cada probeta con pilas se mezclaron 6 pilas AA. Vpilas. = 7,4 cm³ x 6 = 44 cm³

El porcentaje % de pilas confinadas en volumen: % V = 0,83 % (% en masa / V = 0,38 %)

La Tabla 2 indica los resultados de los análisis de los 5 cationes en cada muestra. Los análisis se realizaron en CEPROCOR.

Cada ensayo es por duplicado y las concentraciones están expresadas en $\mu g / L$.

Cationes (ac)	Agua líquida	Hormigón SIN pilas	Hormigón CON pilas
Zn	< 15 - < 15	< 15 - ND	ND - < 15
Cr	< 0,6 - < 0,6	12 - 15	12 - 13
Fe	< 30 - < 30	< 30 - 70	< 30 - 128
Pb	ND - ND	ND - < 2	ND - ND
K	4,3 - 4,7	201 - 205	198 - 220

Tabla 2: Análisis de agua realizados por CEPROCOR.

Se analizan los resultados:

* **Zn:** sin diferencias en las 6 muestras (ND; no se detecta).

* **Cr:** diferencia entre Cr en agua y Cr en hormigón pero igual SIN y CON pilas.

Los valores son del catión total: Cr^{3+} (ac) y Cr^{6+} (ac)

* **Fe:** sin diferencias en 4 muestras, pero 2 resultados no coherentes: 1 SIN y 1 CON pilas aumentan.

Los valores son del catión total, Fe^{2+} (ac) y Fe^{3+} (ac)

* **Pb:** sin diferencias en las 6 muestras (ND: no se detecta).

* **K:** diferencia entre K en agua y K en hormigón pero semejante SIN y CON pilas

Se destaca que las probetas de hormigón estuvieron sumergidas en agua líquida *mientras el hormigón fraguaba*, o sea mientras se iba endureciendo. Por lo tanto, si el hormigón ya está fraguado, la lixiviación es más improbable.

También se midió la Rcompr. de las probetas hechas en octubre del 2018 en Devoto para las experiencias de lixiviación, 2 probetas sin pilas y 2 con pilas. La Tabla 3 muestra los resultados.

Probeta	Rcompr (kg/cm ²)
Probeta 1 sin pilas	224,1
Probeta 2 sin pilas	196,1
Probeta 3 con 1 % pilas agotadas	216,5

Probeta 4 con 1 % de pilas agotadas	189,8
-------------------------------------	-------

Tabla 3: Rcompr experiencia realizada en Devoto.

Valores de Rcompr promedio sin pilas y con pilas:

Resultados promedios de Rcompr H 21 (Rcompr **210 kg/cm²**)

* Probetas sin pilas (4): **217,5 kg/cm²**

* Probetas con 1 % de pilas (4): **210,0 kg/cm²**

Se concluye que se puede agregar 1 % máximo en volumen V de pilas y baterías agotadas al hormigón y la Rcompr. no varía apreciablemente.

Un concepto importante es que volúmenes de hormigón usados en la construcción son muy grandes, agregando como máximo 1 % en V (o menos) de pilas, la cantidad de pilas y baterías agotadas que se separan y confinan es muy grande.

Corrosión: otro tema es el hierro Fe que contiene el hormigón armado, el Fe es acero oxidable. Se hicieron experiencias de corrosión del Fe en probetas sin y con pilas con barras de Fe. El objetivo es evaluar la corrosión en el Fe y en las pilas confinadas en el hormigón armado.

La planta fabril de MACOSER SA en el Parque Industrial San Francisco tiene una cámara de niebla salina para ensayos de corrosión, se solicita al gerente de MACOSER Sr. Roberto Macchieraldo el uso de la cámara de niebla salina. Se realizaron en octubre del 2014 experiencias de corrosión del Fe confinado en hormigón con y sin pilas agotadas. Las probetas fueron confeccionadas por C. Fissore y E. Benvenuto, las experiencias en la cámara de niebla salina supervisadas por la Ing. Carolina Gioino. Las probetas, según protocolo se desmoldan a las 24 hs., se sumergen en agua, y a los 30 días se sacan las probetas del agua.

Las 4 probetas se colocan en la cámara de niebla salina que es un equipo normalizado para ensayos de corrosión. La niebla salina consiste en 60 L de agua desmineralizada con 3 kg de NaCl (droga de laboratorio) disueltos. La disolución acuosa se inyecta como niebla con una bomba en la cámara a 34 °C.

Las 4 probetas se mantienen en la cámara durante 46 hs. y luego se rompen para observarlas.

No se observa corrosión de las barras de Fe en ningún caso, con o sin pilas y tampoco se observan corrosión en las pilas agotadas confinadas. Se considera que el resultado de la probeta con 10 cm de Fe sin confinar es importante, en las mitades confinadas no se observa corrosión, si en los 10 cm sin confinar. En ningún caso se observa corrosión en las pilas agotadas confinadas.

Esta experiencia es importante para refutar que el hormigón es poroso, que en un piso el agua pasa por el hormigón y extrae (lixiviación) componentes de las pilas. Esta conclusión se complementa con el informe del análisis de agua.

Confinamientos realizados.

En el año 2014 la empresa MACOSER SA que se encuentra en el Parque Industrial de San Francisco (Córdoba) acepta construir el piso de un depósito de aprox. 2.000 m² con pilas (0,15 m espesor). Las pilas y baterías agotadas fueron provistas por la Municipalidad de San Francisco. Se agregan en el piso aprox. 1.500 litros L de pilas y baterías (aprox. 0,5 % en V). Hasta la fecha no se han observado inconvenientes.

En el año 2018 la empresa Micrón Fresar de San Francisco construye en su Planta Akron 2 un piso de 250 m² y decide colocar pilas y baterías agotadas en el piso que tiene un espesor de 15 cm, el volumen V aproximado del piso es 37,5 m³. Se adopta el método de agregar las pilas y baterías agotadas en las hormigoneras a usar en los pisos, las pilas se mezclan con el hormigón. Es importante señalar que las pilas y baterías agotadas a agregar pueden ser de cualquier tipo y estado (se excluyen las baterías con plomo), pero *deben estar separadas y no juntas, por ejemplo, ni en bolsas o en botellas*. Se menciona que al medir el volumen aproximado de pilas y baterías agotadas, por ejemplo, en un balde, queda un volumen muerto que eventualmente se podría llenar con plásticos no reciclables triturado. El hormigón es H 21(Passamonte), los porcentajes en masa son aproximadamente 48 % piedra, 32 % arena, 14 % de cemento, 6 % agua. En el piso de hormigón se colocan mallas de hierro.

Durante toda la operación no se observaron ni presentaron inconvenientes, es muy importante que los operarios de la obra no expresaron ni presentaron ningún problema ni objeción. En total, se agregaron 280 L (450 kg) de pilas agotadas a 47 m³ (47.000 L) de hormigón: porcentaje de pilas: 0,6 % de pilas en volumen (valores aproximados en cifras significativas).

Se tienen fotos y videos de las operaciones. Hasta ahora, no se ha observado ningún problema.

El 21 de julio de 2018 en la UTN San Francisco ese construyó el piso de la entrada exterior, se calcula su volumen aprox. $\approx 1\text{m}^3$ (1000 litros) y se decide colocar pilas agotadas en el piso. Se mezclan con el hormigón aprox. **10 litros (16 kg)**. Se observa si, por ejemplo, las pilas se ven, o hay inconvenientes en la operación. Las pilas agotadas a agregar al hormigón deben estar separadas y no juntas, por ejemplo, en una bolsa. Se agregaron 10 litros de pilas y baterías agotadas recolectadas en la UTN, el tamaño máximo fue AA. El hormigón es aprox. 3 – 2 – 1 – 0,5: 3 partes de piedra, 2 de arena, 1 de cemento, 0,5 agua líquida. En el piso no se colocaron mallas de hierro. Durante toda la operación no se observaron ni presentaron inconvenientes, es muy importante que los operarios no plantearon ningún problema.

Cementerios de residuos nucleares.

Los efectos eternos de Hiroshima y Nagasaki son la punta del iceberg porque desde 1946 se han realizado cientos de pruebas de bombas nucleares por EEUU, Gran Bretaña, hasta 1962 en la atmósfera en las islas Marshall del Océano Pacífico, Francia hasta 1996 en las islas Mururoa del Pacífico, la URSS en el Océano Ártico al norte de Rusia.

Los EEUU detonó la primera bomba H (de fusión) Ivy Mike, en octubre de 1952, la nube radioactiva de la explosión dio vueltas alrededor de la Tierra, por ejemplo, fue detectada en Santa Fe (Argentina) y nadie ahora sabe dónde está. En febrero de 1954 EEUU detonó su mayor bomba H, Castel Bravo. La URSS detonó su primera bomba H en agosto de 1953.

En 1958, EEUU detonó la bomba Cactus (relativamente pequeña), dejó un cráter que luego fue usado como depósito de los residuos nucleares muy contaminantes. Fue cubierto con un sarcófago o cúpula de hormigón de 115 m de diámetro y 46 cm de espesor, está en la isla Runit, la cúpula fue terminada en 1980. En Chernobyl el sarcófago se hizo primero rectangular y luego parabólico.

La bomba H más grande detonada hasta ahora es la ZAR (URSS) en octubre de 1961.

Se llaman bolas de fuego a las que se forman en el instante de la explosión y luego se expanden. En google hay figuras que comparan las bolas de fuego de la ZAR, Castel Bravo, ojivas nucleares de los cohetes intercontinentales Minuteman (EEUU), bomba Peacemaker (EEUU), Fat Man arrojada sobre Nagasaki. Por ejemplo, el diámetro de la bola de fuego de la ZAR (bomba H) es de 4.600 m y la de Nagasaki (bomba de fisión) 200 m.

Actualmente la cúpula de hormigón de la Isla Runit se está rajando, cuando se construyó hace 40 años (1980) *obviamente la objeción de la porosidad y paso del agua a través del hormigón fue desestimada*, además los residuos nucleares están directamente sobre el piso de la Tierra !!?. Es muy probable que pronto (o ya) se produzca una catástrofe ambiental.

La URSS detonó más de 400 bombas nucleares entre 1949 y 1989 en una zona cercana a Moscú, llamada “El Polígono”, ha provocado graves efectos en sus habitantes, ahora es inhabitable.

Se menciona que las ciudades de Hiroshima y Nagasaki fueron reconstruidas y habitadas en pocos años. Chernobyl, la ciudad cercana Pripiat y un radio de más de 20 km son inhabitables.

Conclusiones

Se puede agregar 1 % máximo en volumen V de pilas y baterías agotadas al hormigón sin cambiar apreciablemente las propiedades del hormigón. Un concepto importante es que volúmenes de hormigón usados en la construcción son muy grandes, agregando 1 % en V (o menos) de pilas y baterías agotadas, es posible que se confinen casi todas las pilas y baterías agotadas que se separan y recolectan evitando que se mezclen con los residuos sólidos urbanos.

Las justificaciones de esta propuesta, además de las experiencias y mediciones realizadas, están basadas en varios argumentos y análisis lógicos:

- * el porcentaje de inertes (piedra y arena) en el hormigón es elevado, por ejemplo, en el hormigón H 21 (3 partes de arena - 3 de piedra - 1 de cemento: 3/7), es aprox. el 85 %, por lo tanto el 1 % de pilas y baterías agotadas es relativamente mínimo.

- * los volúmenes de hormigón que se consumen para las construcciones son muy grandes, se estima que aún colocando menos de 1 % en V de pilas y baterías agotadas, se pueden confinar una gran cantidad de pilas y baterías agotadas.

- * el hormigón al fraguar tiene una consistencia pétreo y no es poroso.

Según el tipo de hormigón, por ejemplo, sin o con hierros, sin o con vibración, el método de colocar pilas y baterías en la mezcla puede ser distinto, pero el más simple y eficiente es agregarlas directamente a la hormigonera donde se mezclan.

La propuesta es colocar las pilas y baterías en, por ejemplo, pisos, contrapisos, cordones cunetas, pavimentos. Eventualmente se puede considerar colocarlas en otros lugares y agregar menos de 1 % en volumen. No se propone agregar pilas en estructuras resistentes.

Si un problema subjetivo no demostrado es que el agua líquida extrae componentes (en la Tabla 2 se muestra lo contrario y la cúpula de la isla Runit lo confirma), se deberían agregar pilas en pisos de hormigón en lugares con techo.

Es imprescindible que las objeciones a esta propuesta sean lógicas y se fundamenten en experiencias cuantitativas, hasta ahora el Proyecto PH solo ha recibido objeciones subjetivas, algunas ilógicas y ninguna con fundamentos experimentales por escrito.

Las Municipalidades deberían recibir las pilas y baterías agotadas, en caso de recibir las, deben informar dónde y cómo guardan estos residuos peligrosos. Esta propuesta se ha presentado con información escrita desde el año 2013 en varias localidades, por ejemplo, San Francisco, Devoto, Frontera, Villa Nueva, Portaña, Tecnópolis. En todos los casos se mostró interés pero en ningún caso se ha recibido respuesta. El 17 de abril del 2017 se presentó una nota al secretario de Infraestructura y Servicios Públicos de la Municipalidad de San Francisco Ing. Oscar Enrico solicitando una respuesta por escrito respecto al tema con dos consultas:

- * informar por escrito los argumentos técnicos y/o criterios adoptados para no aplicar la propuesta.

- * el destino de las pilas agotadas que tiene la Municipalidad.

Hasta la fecha no se ha recibido ninguna respuesta.

Las objeciones a esta propuesta deben estar basadas en argumentos lógicos, además deben incluir otras propuestas, si no se confinan pilas en el hormigón, explicitar la propuesta alternativa, los argumentos lógicos y las experiencias que fundamentan la propuesta alternativa.

Suponiendo que se realiza la primera etapa de separación de las pilas agotadas de todos los otros residuos, si las pilas se guardan en algún depósito o contenedor, se debe garantizar que de ninguna forma las pilas se conecten con el medio ambiente, el contenedor contiene el 100 % de pilas (no el 1 % en hormigón).

Para reducir la cantidad de pilas agotadas es muy importante usar pilas recargables en todos los dispositivos que funcionen con cualquier tipo de pilas o baterías recargables. Las pilas recargables son convenientes ecológica y económicamente. Se debe continuar con la investigación repitiendo las experiencias realizadas y agregar otras, por ejemplo, con distintos tipos de hormigón que el H21, probetas fraguadas en agua líquida, en otras construcciones.

Referencias

- [1] HONORABLE CONGRESO DE LA NACIÓN ARGENTINA. *Ley 24051*
<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-24051-450>

- [2] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. *Residuos Peligrosos*
www.argentina.gob.ar/ambiente/observatorioresiduos/peligrosos

- [3] INTI. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. *Residuos Electrónicos*
(www.inti.gob.ar/publicaciones/residuoselectronicos)