

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

ESTUDIO DE SOLIDIFICACIÓN DE PILAS Y BATERÍAS DE USO
DOMÉSTICO MEDIANTE LA TÉCNICA DE
MACROENCAPSULACIÓN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AMBIENTAL

ORTIZ LÓPEZ CATALINA DEL ROCÍO
catalina_ortizlopez@hotmail.com

DIRECTOR: Prof. ING. MARCELO MUÑOZ RODRÍGUEZ M.Sc.
munoz_marcelo@epn.edu.ec

Quito, Julio del 2009

DECLARACIÓN

Yo, Catalina del Rocío Ortiz López, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Catalina del Rocío Ortiz López

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Catalina del Rocío Ortiz López, bajo mi supervisión.

Prof. Ing. Marcelo Muñoz Rodríguez M.Sc.
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios amigo por la vida y la oportunidad de estar aquí. A mis Padres, mis ángeles a quienes les debo todo y tanto.

Quiero agradecer a todas las personas que me ayudaron y que hicieron posible llevar a cabo este trabajo, de manera muy especial a mi Director de Tesis Ing. Marcelo Muñoz por su tiempo, guía, supervisión.

A los miembros de mi tribunal Ing. Alicia Guevara de igual manera al Ing. César Monroy por su guía.

También a los ingenieros Ernesto de la Torre, Renán Cornejo por brindarme su conocimiento.

Al Dr. Marco Castro por su apoyo a través del Departamento de Medio Ambiente con el financiamiento con la mitad de los análisis.

Y en general a la Dra. Ana Lucía Balarezo, Ing. Carola Fierro, Ing. Natalia Valencia por preguntarme como me iba en mi tesis.

A los Señores Santiago Pilataxi y Manuel Flores por su buena voluntad y ayuda en los laboratorios.

A la Srta. Cris por habernos querido tanto a los chicos de la carrera y por siempre estar pendiente de nosotros, por toda su entrega y dedicación.

A todos mis amigos de la Poli y de la Carrera por tantos buenos y bellos momentos compartidos durante este período de mi vida, gracias por todo Fer, Carlitos, Pao, Lili, Adri, Alfre, Verito Barbecho, Majo Pozo, Reni Sánchez, Pauli Villarroel, Rena Suntaxi, Carlita Molina, Diani, Fer Lara, Migue Caicedo, Raúl Molina, en fin a todos.

DEDICATORIA

Quiero de manera muy especial dedicar este trabajo a mis Padres (mi Don Viche y mi Señora Rosita) como yo les digo, se lo merecen, gracias a Uds. por haber luchado y luchar cada día por darme todas las oportunidades que me han dado y que me han permitido prepararme durante toda mi vida no solo en mis estudios sino en todo, por su ejemplo, por su cariño, por su comprensión, por creer en mi, por estar ahí incondicionalmente, por proporcionarme siempre un espacio cálido en su corazón.

También dedico a todas las personas de buena voluntad que luchan cada día por construir un mundo mejor del que encontraron.

CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
DEDICATORIA	IV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
PRESENTACIÓN	XVIII
CAPITULO 1. OBJETIVOS Y JUSTIFICATIVOS.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES	1
1.3 OBJETIVO GENERAL	5
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 JUSTIFICATIVO.....	6
1.6 METODOLOGÍA	6
1.7 HIPÓTESIS	9
CAPITULO 2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA	10
2.1 GENERALIDADES SOBRE PILAS	10
2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LAS BATERÍAS	10
2.1.2 PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS	12
2.1.2.1 Introducción	12
2.1.2.2 Partes de la Pila	13
2.1.2.3 Construcción de la Pila.....	15
2.1.2.4 Funcionamiento del Dispositivo.....	15
2.1.3 CLASIFICACIÓN.....	18
2.1.3.1 Por sus características químicas	18
2.1.3.1.1 Por los materiales de sus electrodos y electrolitos	18
2.1.3.1.2 Por la Reversibilidad del Proceso de Generación.....	19
2.1.3.2 Por sus características físicas	21
2.1.4 ESTADÍSTICAS DE CONSUMO EN EL ECUADOR Y DMQ	21
2.1.4.1 Estadísticas de Consumo en el Ecuador	21
2.1.4.1.1 Producción e Importación de Pilas y Baterías en el Ecuador	21
2.1.4.1.2 Consumo Nacional de Pilas	22
2.1.4.2 Estadísticas de Consumo en el DMQ	23
2.1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE LAS PILAS EN EL ECUADOR.....	25
2.1.6 GESTIÓN DE PILAS EN OTROS PAÍSES	26
2.1.7 IMPACTO AMBIENTAL	28
2.1.7.1 Impacto en el agua	28
2.1.7.2 Impacto en el aire.....	28
2.1.7.3 Impacto en el suelo.....	28
2.1.7.4 Impacto en la Biota	29
2.1.8 PELIGROSIDAD	29
2.1.8.1 Mercurio (Hg) y sus compuestos.....	29
2.1.8.2 Cadmio (Cd) y sus compuestos	30
2.1.8.3 Cromo y sus compuestos.....	31
2.1.8.4 Plomo y sus compuestos	32
2.1.8.5 Níquel y sus compuestos	32
2.1.8.6 Cobalto y sus compuestos	32
2.1.8.7 Manganeso y sus compuestos.....	34
2.1.8.8 Plata y sus compuestos.....	34
2.1.8.9 Zinc y sus compuestos.....	35
2.1.9 OPCIONES EN LA GESTIÓN DE PILAS	36

2.1.9.1	Prevención de La Contaminación y Reducción del Residuo que constituyen las pilas	38
2.1.9.1.1	Reducir.....	38
2.1.9.1.2	Reusar	38
2.1.9.1.3	Reciclar.....	41
2.1.9.2	Recuperación / Reciclaje.....	41
2.1.9.3	Tratamiento	42
2.1.9.4	Destino final.....	43
2.2	ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE RESÍDUOS PELIGROSOS.....	44
2.2.1	<i>INTRODUCCIÓN.....</i>	<i>44</i>
2.2.2	<i>ESTABILIZACIÓN.....</i>	<i>44</i>
2.2.3	<i>SOLIDIFICACIÓN.....</i>	<i>44</i>
2.2.4	<i>LIXIVIACIÓN.....</i>	<i>45</i>
2.2.5	<i>MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN.....</i>	<i>45</i>
2.2.5.1	Micro-encapsulación	46
2.2.5.2	Macro-encapsulación	46
2.2.5.3	Precipitación.....	46
2.2.5.4	Detoxificación.....	47
2.2.6	<i>Tecnología.....</i>	<i>47</i>
2.2.6.1	Cemento	48
2.2.6.2	Puzolanas	51
2.2.6.3	Silicatos Solubles	52
2.3	EFICACIA DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN.....	52
2.3.1	<i>ENSAYOS DE EFICACIA DE LA ESTABILIZACIÓN.....</i>	<i>53</i>
2.3.1.1	Ensayo de Extracción y Lixiviación.....	53
2.3.1.1.1	Características de toxicidad, procedimiento de lixiviación (TCLP).....	54
2.3.1.2	Ensayos de Propiedades Físicas y Técnicas	55
2.4	NORMATIVAS PARA RESÍDUOS PELIGROSOS.....	56
2.4.1	<i>ÁMBITO INTERNACIONAL.....</i>	<i>56</i>
2.4.1.1	Tratados Internacionales	56
2.4.1.1.1	Convenio de Basilea (R.O. 432 de 3 de mayo de 1994).....	56
2.4.2	<i>ÁMBITO NACIONAL.....</i>	<i>57</i>
2.4.2.1	Constitución Política del Ecuador	57
2.4.2.2	Ley de Gestión Ambiental.....	57
2.4.2.3	Ley de la Prevención y Control de la Contaminación	57
2.4.2.4	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria	57
2.4.3	<i>Ámbito Local.....</i>	<i>57</i>
2.4.3.1	Ordenanza 213 para el DMQ.....	57
2.4.3.1.1	Resolución 002 de la Norma Técnica de la Ordenanza 213 del DMQ.....	58
	- <i>Definición de Residuo Doméstico Peligroso.....</i>	<i>58</i>
	- Corrosividad (C).....	59
	- Reactividad (R)	59
	- Explosividad (E).....	59
	- Toxicidad (T).....	60
	- Inflamabilidad (I).....	62
	- Patogenicidad (Biológico-Infecioso).....	62
	- <i>Disposiciones Generales.....</i>	<i>63</i>
CAPITULO 3.	PARTE EXPERIMENTAL.....	64
3.1	CLASIFICACIÓN DEL RESIDUO POR TIPO Y COMPOSICIÓN	64
3.2	CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO.....	64
3.2.1	<i>NORMATIVA VIGENTE.....</i>	<i>64</i>
3.2.2	<i>CRITERIO DE TOXICIDAD PARA CARACTERIZAR A UN RESIDUO COMO PELIGROSO... 65</i>	<i>65</i>
3.2.2.1	Prueba de Lixiviación.....	65
3.2.2.1.1	Parámetros de la Prueba de Lixiviación.....	65
3.2.2.2	Análisis de Metales Pesados.....	66
3.3	PROPUESTA DE ENCAPSULAMIENTO	68
3.3.1	<i>ENCAPSULAMIENTO EN TESTIGOS DE HORMIGÓN SIMPLE.....</i>	<i>69</i>
3.3.2	<i>ENCAPSULAMIENTO EN TESTIGOS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....</i>	<i>69</i>
3.3.3	<i>ENCAPSULAMIENTO EN TESTIGOS DE HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO.....</i>	<i>70</i>
3.4	ENSAYOS DE ENCAPSULAMIENTO.....	70
3.4.1	<i>EQUIPO.....</i>	<i>70</i>
3.4.2	<i>MATERIALES.....</i>	<i>70</i>

3.4.3	<i>PROCESO</i>	71
3.5	EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE ENCAPSULAMIENTO.....	71
3.5.1	<i>ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN AL MATERIAL ENCAPSULADO</i>	71
3.5.2	<i>ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS AL ENCAPSULAMIENTO DE POROSIDAD, PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN</i>	72
3.5.2.1	Peso Específico	72
3.5.2.1.1	Equipo.....	72
3.5.2.1.2	Procedimiento	72
3.5.2.1.3	Cálculos	73
3.5.2.2	Absorción.....	73
3.5.2.3	Porosidad.....	74
3.5.3	<i>ENSAYO DE LAS PROPIEDADES TÉCNICAS DEL ENCAPSULAMIENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, IMPACTO</i>	74
3.5.3.1	Resistencia a la Compresión.....	74
3.5.3.2	Impacto	76
3.5.3.2.1	Objetivo	76
3.5.3.2.2	Justificativo.....	76
3.6	VIABILIDAD ECONÓMICA.....	76
CAPITULO 4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	78
4.1	RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN DEL RESIDUO	78
4.2	RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO	79
4.2.1	<i>NORMATIVA VIGENTE</i>	79
4.2.1.1	Criterio para considerar a un desecho como peligroso	79
4.2.2	<i>CRITERIO DE TOXICIDAD PARA CARACTERIZAR A UN RESIDUO COMO PELIGROSO...</i>	80
4.2.2.1	Análisis de la Concentración de metales pesados en base seca presente en las Pilas	80
4.2.2.1.1	Análisis de la Concentración de metales pesados en base seca por marca de pila comparado a la Normativa	80
4.2.2.1.2	Análisis de la Concentración de Metales Pesados por Tipo de Pila comparado a la Normativa	82
4.2.3	<i>RESULTADOS DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN A LAS PILAS</i>	83
4.2.3.1	Parámetros de la Prueba	83
4.2.3.2	Resultados de los análisis de metales pesados de la prueba de lixiviación a las pilas y comparación con la normativa.....	85
4.3	RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE ENCAPSULAMIENTO.....	86
4.3.1	<i>DISEÑO DEL MODELO DE ENCAPSULAMIENTO</i>	86
4.3.2	<i>TESTIGOS DE HORMIGÓN SIMPLE</i>	87
4.3.3	<i>TESTIGOS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE</i>	88
4.3.4	<i>TESTIGOS DE HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO</i>	88
4.4	ENSAYOS DE ENCAPSULAMIENTO	89
4.4.1	<i>PROCESO</i>	89
4.4.1.1	Dosificación	89
4.4.1.2	Preparación del material.....	89
4.4.1.3	Conformación de los Bloques y Vertido	89
4.4.1.4	Fraguado	90
4.4.1.5	Desencofrado	90
4.4.1.6	Curado.....	90
4.5	EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE ENCAPSULAMIENTO.....	90
4.5.1	<i>RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN AL MATERIAL ENCAPSULADO</i>	90
4.5.1.1	Parámetros de la Prueba	90
4.5.1.1.1	Testigo de Hormigón Simple	90
4.5.1.1.2	Testigo de Hormigón con aditivo impermeabilizante	91
4.5.1.1.3	Testigo de Hormigón con sílice como agregado	91
4.5.1.2	Resultados de los Análisis de Metales Pesados	92
4.5.1.2.1	Testigo de Hormigón Simple	92
4.5.1.2.2	Testigo de Hormigón con aditivo impermeabilizante	93
4.5.1.2.3	Testigo de Hormigón con sílice como agregado	93
4.5.2	<i>ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS AL ENCAPSULAMIENTO DE POROSIDAD, PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN</i>	95
4.5.2.1	Peso Específico	95
4.5.2.1.1	Probetas.....	95
4.5.2.1.2	Material Encapsulado.....	97
4.5.2.2	Absorción.....	98
4.5.2.2.1	Probetas.....	98

4.5.2.2.2	Material Encapsulado.....	99
4.5.2.3	Porosidad.....	99
4.5.2.3.1	Probetas.....	99
4.5.2.3.2	Material Encapsulado.....	101
4.5.3	<i>ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES TÉCNICAS AL ENCAPSULAMIENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION, IMPACTO.....</i>	<i>102</i>
4.5.3.1	Resistencia a la Compresión.....	102
4.5.3.1.1	Resultados de los Ensayos de Resistencia a las Probetas.....	102
4.5.3.1.2	Resultados de los Ensayos de Resistencia al Material Encapsulado.....	104
4.5.3.2	Impacto.....	106
4.5.3.2.1	Testigo 1 Hormigón Simple.....	106
4.5.3.2.2	Testigo 2 Hormigón con aditivo impermeabilizante.....	106
4.5.3.2.3	Testigo 3 Hormigón + sílice como agregado.....	106
4.6	VIABILIDAD ECONÓMICA.....	107
CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		110
5.1	CONCLUSIONES.....	110
5.2	RECOMENDACIONES.....	115
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		116
ANEXOS.....		118
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....		149

INDICE DE TABLAS

TABLA N.- 2.1 COMPONENTES QUÍMICOS PRIMARIOS DE PILAS DOMÉSTICAS	18
TABLA N.- 2.2 TIPOS DE BATERÍAS PRIMARIAS O NO RECARGABLES	19
TABLA N.- 2.3 TIPOS DE BATERÍAS SECUNDARIAS O RECARGABLES	20
TABLA N.- 2.4 TIPOS DE PILAS POR SUS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	21
TABLA N.- 2.5 CONSUMO TOTAL POR TIPO DE PILAS EN EL DMQ.....	24
TABLA N.- 2.6 DATOS DE IMPORTACIONES DE PILAS AL ECUADOR EN EL AÑO 2007	24
TABLA N.- 2.7 CÁLCULO ESTIMADO DE CONSUMO DE PILAS PER CÁPITA A NIVEL NACIONAL EN EL AÑO 2007.....	25
TABLA N.- 2.8 APLICACIÓN DE REACTIVOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS QUE CONTIENEN METALES PESADOS	47
TABLA N.- 2.9 ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS, TÉCNICAS Y DURABILIDAD.....	55
TABLA 2.9 CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE CONTAMINANTES DE ACUERDO CON LA CARACTERÍSTICA DE TOXICIDAD (PRUEBA DE LIXIVIACIÓN)	60
TABLA N.- 2.10 SUSTANCIAS TÓXICAS INORGÁNICAS BIOACUMULATIVAS Y PERSISTENTES	61
TABLA N.- 2.11 SUSTANCIAS TÓXICAS ORGÁNICAS BIOACUMULATIVAS Y PERSISTENTES.	61
TABLA 2.12 CRITERIOS MICROBIOLÓGICOS PARA NO CARACTERIZAR A UN RESIDUO BIOLÓGICO COMO PELIGROSOS.....	62
TABLA N.- 4.1 RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN DE PILAS RECOLECTADAS EN EL PROGRAMA DE RECOLECCIÓN EFECTUADO EN LA EPN.....	78
TABLA N.-4.2 EXTRACTO DEL LISTADO DE RESIDUOS PELIGROSOS DE LA RESOLUCIÓN 002 DE LA NORMA TÉCNICA DE LA ORDENANZA 213 DEL DMQ.....	79
TABLA N.- 4.3 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN BASE SECA POR MARCA DE PILA	81
TABLA N.- 4.4 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN BASE SECA POR MARCA DE PILA CON LA NORMATIVA.....	81
TABLA N.- 4.5 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN BASE SECA POR TIPO DE PILA	82
TABLA N.- 4.6 COMPARACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN BASE SECA POR TIPO DE PILA	83
TABLA N.-4.7 LECTURAS DE AA DE METALES PESADOS DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN A LA MUESTRA DE PILAS	85
TABLA N.- 4.8 DETALLE DEL RESIDUO A SER ENCAPSULADO	88

TABLA N.- 4.9 COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA PARA CONFORMAR TESTIGOS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	88
TABLA N.- 4.10 COMPOSICIÓN DE LA MEZCLA PARA CONFORMAR TESTIGOS DE HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO.....	88
TABLA N.- 4.11 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA LECTURA DE AA DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN DEL TESTIGO 1 CON LA	92
NORMATIVA	92
TABLA N.- 4.13 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA LECTURA DE AA DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN DEL TESTIGO 2 CON LA NORMATIVA	93
TABLA N.- 4.14 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA LECTURA DE AA DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN DEL TESTIGO 3 CON LA NORMATIVA	93
TABLA N.- 4.15 DATOS PARA CÁLCULO DE PESO ESPECÍFICO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE	95
TABLA N.- 4.16 DATOS PARA CÁLCULO DE PESO ESPECÍFICO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	95
TABLA N.- 4.17 DATOS PARA CÁLCULO DE PESO ESPECÍFICO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON SÍLICE COMO AGREGADO.....	95
TABLA N.- 4.18 RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE.....	96
TABLA N.- 4.19 RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	96
TABLA N.- 4.20 RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON SÍLICE COMO AGREGADO	96
TABLA N.- 4.21 DATOS PARA EL CÁLCULO DE PESO ESPECÍFICO DE LOS TESTIGOS DE HORMIGÓN ARMADO	97
TABLA N.- 4.22 RESULTADOS DE PESO ESPECÍFICO DE LOS TESTIGOS DE HORMIGÓN ARMADO	97
TABLA N.- 4.23 RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE..	98
TABLA N.- 4.24 RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	98
TABLA N.- 4.25 RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON SÍLICE COMO AGREGADO	98
TABLA N.- 4.26 RESULTADOS DE ABSORCIÓN DE LOS TESTIGOS DE HORMIGÓN ARMADO	99
TABLA N.- 4.27 DATOS PARA EL CÁLCULO DE POROSIDAD DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE	99
TABLA N.- 4.28 RESULTADOS DE POROSIDAD DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE .	100
TABLA N.- 4.29 DATOS PARA EL CÁLCULO DE POROSIDAD DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	100

TABLA N.- 4.30 RESULTADOS DE POROSIDAD DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	100
TABLA N.- 4.31 DATOS PARA EL CÁLCULO DE POROSIDAD DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON SÍLICE COMO AGREGADO	100
TABLA N.- 4.32 RESULTADOS DE POROSIDAD DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON SÍLICE COMO AGREGADO.....	101
TABLA N.- 4.33 RESULTADOS DE POROSIDAD DE LOS TESTIGOS DE HORMIGÓN ARMADO	101
TABLA N.- 4.34 DATOS PARA EL CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE	102
TABLA N.- 4.35 DATOS PARA EL CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	102
TABLA N.- 4.36 DATOS PARA EL CÁLCULO DE RESISTENCIA DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE.....	103
TABLA N.- 4.37 RESULTADOS DE RESISTENCIA DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN ARMADO	103
TABLA N. 4.38 MEDIDAS DEL TESTIGO 1.....	104
TABLA N. 4.39 MEDIDAS DEL TESTIGO 2.....	104
TABLA N. 4.40 MEDIDAS DEL TESTIGO 3.....	105
TABLA N. 4.41 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL MATERIAL ENCAPSULADO.....	105
TABLA N. 4.42 ANÁLISIS DEL PRECIO UNITARIO DE 1 M³ DE HORMIGÓN	107
TABLA N. 4.43 PRESUPUESTO PARA LA ELABORACIÓN DE LOS SEIS TESTIGOS (0,2 X 0,2 X 0,2 M) DE LAS PROPUESTAS DE ENCAPSULAMIENTO	108
TABLA N. 4.43 COSTO ESTIMADO DE PILAS NUEVAS	109

INDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO N.- 2.1 TIPOS DE PILAS IMPORTADAS A ECUADOR EN EL AÑO 2000	22
GRÁFICO N.- 2.2 RANGOS DE CONSUMO DE PILAS, ÁREA URBANA Y RURAL	23
GRÁFICO N.-4.1 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL LIXIVIADO DE LA MUESTRA DE PILAS A ENCAPSULAR.....	85
GRÁFICO N.- 4.2 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL LIXIVIADO DEL TESTIGO DE HORMIGÓN SIMPLE.....	92
GRÁFICO N.- 4.3 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL LIXIVIADO DEL TESTIGO 2.....	93
GRÁFICO N.- 4.4 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL LIXIVIADO DEL BLOQUE 3	94
GRÁFICO N.- 4.4 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL LOS ANÁLISIS DE METALES PESADOS	94

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N.- 2.1 CELDA HÚMEDA	10
FIGURA N.- 2.2 PRIMERA BATERÍA COMERCIAL.....	11
FIGURA N.- 2.3 DESARROLLO DE LAS BATERÍAS.....	11
FIGURA N.- 2.4 BATERÍAS SIN MERCURIO ADICIONADO	12
FIGURA N.- 2.5 BATERÍAS CON TECNOLOGÍA DE TITANIO.....	12
FIGURA N.- 2.6 CONTENEDOR DE UNA PILA	13
FIGURA N.- 2.7 CÁTODO DE UNA PILA	13
FIGURA N.- 2.8 SEPARADOR DE UNA PILA.....	13
FIGURA N.- 2.9 ÁNODO DE UNA PILA.....	14
FIGURA N.- 2.10 ELECTRODOS DE UNA PILA	14
FIGURA N.- 2.11 ELECTROLITO DE UNA PILA	14
FIGURA N.- 2.12 COLECTOR DE UNA PILA.....	15
FIGURA N.- 2.13 FUNCIONAMIENTO DE LA PILA.....	16
FIGURA N.- 2.14 FUNCIONAMIENTO DE LA PILA-REACCIÓN QUÍMICA	16
FIGURA N.- 2.15 FUNCIONAMIENTO DE LA PILA-REACCIONES QUÍMICAS.....	16
FIGURA N.- 2.16 FUNCIONAMIENTO DE LA PILA-REACCIONES QUÍMICAS.....	17
FIGURA N.- 2.17 FUNCIONAMIENTO DE LA PILA-CAÍDAS DE TENSIÓN.....	17
FIGURA N.- 2.18 FUNCIONAMIENTO DE LA PILA-CAÍDAS DE TENSIÓN.....	18
GRÁFICO N.- 2.3 CONSUMO TOTAL POR TIPO DE PILAS EN EL DMQ.....	24
FIGURA N.- 2.19 JERARQUÍA EN LA GESTIÓN DE RESIDUOS.....	36
FIGURA N.- 2.20 ENFOQUE PREFERIDO PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS PELIGROSOS SEGÚN LA EPA DE EE.UU.	37
FIGURA N.- 2.21 VENTAJAS DEL USO DE BATERÍAS RECARGABLES FRENTE A LAS BATERÍAS ALCALINAS	39
FIGURA N.- 2.22 SÍMBOLOS EN LOS EMPAQUES DE BATERÍAS RECARGABLES	39

FIGURA N.- 2.23 SÍMBOLOS EN LOS EMPAQUES DE BATERÍAS ALCALINAS.....	39
FIGURA N.- 2.24 SÍMBOLOS EN LOS EMPAQUES DE BATERÍAS RECARGABLES	41
FIGURA N.- 2.25 REACCIONES DEL CEMENTO PORTLAND.....	49
FIGURA N.-2.29 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA HIDRATACIÓN DEL CEMENTO ...	50
FIG. 3.1 ESPECTROFOTÓMETRO DE ABSORCIÓN ATÓMICA	67
FUENTE: DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA. EPN	67
FIGURA N.- 3.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE BLOQUES DE HORMIGÓN	71
FIGURA N.- 4.1 VISTA FRONTAL DEL TESTIGO DE HORMIGÓN.....	86
FIGURA N.- 4.2 MODELO DE ENCAPSULAMIENTO.....	87

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. MUESTRA DE PILAS A SER ENCAPSULADAS.....	119
ANEXO 2. ENSAYO DE LIXIVIACIÓN DE PILAS	120
ANEXO 3. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA.....	121
ANEXO 4. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA	125
ANEXO 5. PREPARACIÓN DEL SÍLICE A SER UTILIZADO COMO AGREGADO EN LA CONFORMACIÓN DE TESTIGOS DE HORMIGÓN ARMADO CON SÍLICE COMO AGREGADO	129
ANEXO 6. PROCESO DE ENCAPSULAMIENTO DE PILAS Y ELABORACIÓN DE PREFABRICADOS DE HORMIGÓN ARMADO	133
ANEXO 7. PRUEBA DE LIXIVIACIÓN AL MATERIAL ENCAPSULADO	136
ANEXO 8. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE METALES PESADOS POR LECTURA DE ABSORCIÓN ATÓMICA DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN DE PILAS Y MATERIAL ENCAPSULADO.....	137
ANEXO 9. GRÁFICAS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	140
ANEXO 10. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS	143
ANEXO 11. PRUEBA IMPACTO	146

RESUMEN

El presente Proyecto de Titulación consiste en una investigación bibliográfica sobre generalidades en cuanto a pilas y baterías; y una investigación experimental a nivel de laboratorio sobre solidificación de pilas de uso doméstico mediante la técnica de macro encapsulación a través de tres propuestas de macro encapsulamiento, para evaluar de entre ellas la mejor opción como alternativa de destino final a este residuo.

La Investigación experimental comienza con la clasificación de las pilas obtenidas en el Programa de “Recolección de Pilas” llevado a cabo en la EPN en el período Octubre 2007-Marzo 2008, seguido de la caracterización del residuo a través de ensayo de lixiviación considerando la normativa local vigente.

Posteriormente, el estudio se centra en el diseño de un modelo de encapsulamiento, el cual se lo lleva a cabo en tres propuestas que son elaboración de testigos de hormigón armado simple, hormigón armado con aditivo impermeabilizante y hormigón armado con sílice como agregado, de dimensiones 0,2 x 0,2 x 0,2 m. Las propuestas de encapsulamiento son desarrolladas conjuntamente con una muestra del residuo (1,7 Kg) y viruta o polvo de acero como agente inmovilizador de metales pesados. Luego se evalúa la eficacia del proceso a través de ensayos químicos (prueba de lixiviación), físicos (Peso Específico, Absorción y Porosidad) y técnicos (Resistencia a la Compresión e impacto) para determinar la mejor opción. Finalmente, se presenta el análisis económico de la propuesta con mejores resultados en los ensayos.

El proyecto concluye que la propuesta de macro encapsulamiento en testigos de hormigón armado con aditivo impermeabilizante presenta los mejores resultados en los ensayos de evaluación de la eficacia del proceso, principalmente en resistencia a la compresión, porosidad, absorción e impacto. Del análisis económico se determina que el costo de encapsulamiento es de 1,40 USD Kg/pilas y 2,35 USD/testigo.

Finalmente, se concluye que esta propuesta es viable tanto técnica, económica y ambientalmente, y puede ser aplicada como alternativa de destino a este residuo caracterizado como doméstico peligroso.

ABSTRACT

The present Graduation Project consists of bibliographic research of general information about batteries and laboratory experimental research on solidification of household batteries through the macro encapsulation technique of three proposals, in order to evaluating the best final disposal option for these residues.

The laboratory experimental research starts with the classification of collected batteries during the "Collection Program of Household Batteries" at EPN during the period of October 2007-March 2008. Then, the residue characterization is carried out through leaching test and comparisons with local regulations.

After that, the project focuses on the design of a macro encapsulation model, which is conducted into three proposals which are the construction of simple reinforced concrete blocks, reinforced concrete blocks with waterproofing additive and reinforced concrete blocks with silica (quartz) as aggregate, which dimensions are 0,2 x 0,2 x 0,2 m.

The macro encapsulation model is performed together with a sample of the residue (1,7 Kg) and steel shots as a heavy metal immobilization agent. Then, an effectiveness evaluation process is developed through chemical (leaching test), physical (specific weight, absorption, porosity) and technical tests (compression resistance and impact) to establish the best option. Finally, the economic analysis of the best option is presented.

The project concludes that the macro encapsulation proposal on reinforced concrete blocks with waterproofing additive demonstrated the best results in effectiveness evaluation tests, especially in compression resistance, absorption, porosity and impact. From the economic analysis the macro encapsulation cost is determined as 1,40 USD Kg/batteries and 2,35 USD/block.

Finally, the conclusion is that this proposal is viable not only technically but also financially and environmentally, as an alternative to final disposal for this residue characterized as household hazardous waste.

PRESENTACIÓN

El presente Proyecto de Titulación se desarrolló con la finalidad de conocer los resultados de un proceso de encapsulamiento de pilas como alternativa para poder llevar a cabo la fase final de un proceso de gestión de este residuo, es decir como alternativa de destino final. El escogimiento del tema del presente proyecto se lo realizó en base a lo que la normativa local vigente establece como tratamiento para este residuo y también porque el encapsulamiento ha sido utilizada ampliamente en la gestión de residuos peligrosos, así como por ser una tecnología asequible tanto económicamente como en disponibilidad de materiales, y que esta acorde con la realidad de nuestro país, ya que la opción de reciclaje es aún inexistente.

El estudio se llevó a cabo en los Laboratorios de Hormigones, Hidráulica, Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental en sus distintas fases y en el Laboratorio de Metalurgia Extractiva de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la EPN en los análisis. El financiamiento se realizó por fuente propia del autor y por parte del Departamento de Medio Ambiente de la EPN en la mitad de los análisis de metales pesados, el estudio tuvo una duración de 6 meses y el documento final escrito se divide en cinco capítulos que se presentan a continuación.

CAPITULO 1. OBJETIVOS Y JUSTIFICATIVOS

1.1 INTRODUCCIÓN

Las pilas y baterías de uso doméstico actualmente por el ritmo de vida y requerimiento en el funcionamiento de ciertos dispositivos se han constituido en un producto necesario muy utilizado en nuestro país (1957,4 Ton. para el año 200). Sin embargo, el consumidor en su mayoría desconoce que se trata de un residuo doméstico peligroso y por falta de opciones y desconocimiento lo desecha como si se tratara de un residuo común.

En este Proyecto se estudian las pilas o baterías de uso doméstico sin incluir las baterías de celular ni baterías de plomo-ácido utilizadas en los automotores.

El alcance comprende las generalidades sobre las mismas y se centra en el destino final. No se consideran estudios de programas de recolección y transporte.

1.2 ANTECEDENTES

Las pilas o baterías de uso doméstico son utilizadas como unidades generadoras de energía portátiles que convierten la energía química en energía eléctrica, manteniendo una diferencia de potencial constante y generando un pequeño voltaje para poder dar funcionamiento a dispositivos y aparatos como por ejemplo cámaras fotográficas, calculadoras, relojes, controles remotos, linternas, radios, instrumentos electrónicos, etc. Estas unidades generadoras están compuestas de electrodos, electrolitos y otros materiales que son adicionados para controlar o contener las reacciones químicas dentro de las pilas (RUSSEL, 1981; RENNIMAN, 1994; LYZNICKI et. Al. 1994). Entre estos materiales encontrados en las pilas y baterías están el grafito, latón, plástico, papel, cartón y acero. Los electrolitos pueden ser ácidos, de acuerdo con el tipo de pila. Los electrodos pueden estar constituidos una variedad de metales pesados, potencialmente peligrosos. La conversión de energía se lleva a cabo mediante una reacción química conocida como REDOX en la cual intervienen los metales pesados.

Una vez que las pilas y baterías terminan su vida útil, se constituyen en un residuo, el cual es comúnmente arrojado por los consumidores en la basura domiciliaria constituyendo un problema de impacto ambiental debido a las siguientes razones:

- Contienen metales pesados como mercurio (Hg) (1% y 30% en pilas botón), cadmio (Cd), Zinc (Zn), níquel (Ni), plomo (Pb), manganeso (Mn), plata (Ag), litio (Li), cromo (Cr), cobalto (Co) los cuales se convierten en contaminantes tóxicos en el lixiviado de los vertederos o en las emisiones de las incineradoras. Según la EPA las pilas domésticas son la fuente de más del 50% del mercurio y cadmio encontrado en los residuos sólidos urbanos (RSU).
- Liberan metales pesados, los cuales son fácilmente lixiviados durante generación de lixiviado el cual promueve la corrosión de las pilas durante la descomposición de los residuos domésticos en un vertedero sobre todo por las condiciones de humedad, pH y temperatura. Los lixiviados son de carácter ácido por la formación de ácido acético, propiónico, pirúvico, alcoholes y ácidos orgánicos simples como subproductos de la biodegradación de la materia orgánica compleja biodegradada a materia orgánica simple. Citando como dato que entre el 40-85% de los residuos sólidos domésticos esta constituido por materia orgánica (MUÑOZ 2008).
- Por migración de los metales pesados presentes en los lixiviados hacia cursos de agua y acuíferos (agua subterránea y/o superficial en caso de vertederos sin control de lixiviados alterando su calidad) y suelo, puesto que en el medio ácido del lixiviado se encuentran como iones. Inclusive en rellenos sanitarios con tecnología para el tratamiento de lixiviados y gases, los metales pesados aportados por los pilas y otras fuentes entorpece los tratamientos biológicos.
- Los metales pesados como Ag, Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn tienden a ser fuertemente adsorbidos por los constituyentes del suelo, especialmente la materia orgánica la cual influye en el transporte de contaminantes (KING R., LONG G.M., SHELDON J.K, 1992). Los metales son móviles o biodisponibles bajo condiciones ácidas. Estos metales tienden a bioacumularse en varias especies de plantas y animales, convirtiéndose en foco de contaminación para seres humanos, animales y cultivos que entren en contacto con estos residuos.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE PILAS Y BATERÍAS EN EL ECUADOR

Actualmente en el Ecuador no se cuenta con la tecnología para procesar las pilas domésticas y reciclarlas ni tampoco existe una infraestructura de gestión conveniente.

La ciudad de Cuenca cuenta con un Programa de Gestión (Recolección, Almacenamiento y Destino Final).

El DMQ no cuenta con gestores calificados para la recolección, tratamiento y destino final de este residuo, por lo que la gestión es casi nula e inexistente.

ESTADÍSTICAS DE CONSUMO DE PILAS EN DMQ

El DMQ el cual cubre cerca del 20% de la población nacional, consume el 39,9% de las importaciones de pilas que llegan al país, esto sin contar las pilas de contrabando que ingresan ilegalmente. (“Estudio de la Situación de las Pilas, Baterías y Lámparas Fluorescentes en el Distrito Metropolitano de Quito para Swisscontact“ Proyecto de Reducción de Emisiones Industriales REDEMI 2007).

Se estima que se consumen un total de 24'622.141,77 pilas y baterías anualmente en el DMQ.

El consumo de pilas y baterías estaría constituido en un 97,2% por hogares y un 2.8% por empresas.

Estas 24'622.141,77 pilas y baterías consumidas anualmente en el DMQ equivalen a 1.181,8 toneladas, es decir al 39,9% de las 2.964 importadas por el Ecuador en el 2006 y al 35,6% de las 3.321 importadas en el 2005.

Por concepto de contrabando se tiene una aproximación de un 4,05 %, lo cual representaría un aproximado de 970.000 pilas de origen ilegal consumidas anualmente, haciendo referencia a una entrevista realizada en donde el 50% de compras de los hogares entrevistados realizan a vendedores ambulantes o bodegas. (“Estudio de la Situación de las Pilas, Baterías y Lámparas Fluorescentes en el Distrito Metropolitano de Quito para Swisscontact“, Proyecto REDEMI 2007).

Estas cifras evidencian un alto consumo de pilas y baterías en el DMQ. De acuerdo a datos de importaciones y fuentes del Banco Central del Ecuador las ciudades de Quito y Guayaquil son las primeras en la lista de consumo.

MARCO LEGAL

La Resolución 002 de la Norma Técnica de la Ordenanza 213 del DMQ caracteriza a las pilas y baterías como residuo doméstico peligroso, esto es por sus características físicas o químicas como corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o de riesgo biológico, puedan causar daños al ser humano o al medio ambiente.

La norma técnica también establece las condiciones de almacenamiento, características técnicas de contenedores de pilas y baterías para su recolección y posterior almacenamiento y las disposiciones que deben cumplir los gestores calificados. También menciona el tipo de tratamiento que se debe realizar para el destino final del residuo.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente en el DMQ no existen gestores calificados por la DMA (Dirección de Medio Ambiente) para el manejo, almacenamiento y destino final de estos residuos, los que conlleva a concluir que los 24'622.141,77 de pilas y baterías anualmente en el DMQ tienen como destino final los vertederos controlados y/o rellenos sanitarios en el mejor de los casos, en otros son arrojados a cursos de agua, suelo, quebradas, lo cual representa un riesgo potencial para el medio ambiente y la salud humana.

Con estos antecedentes, es necesario realizar estudios sobre las técnicas de tratamiento que puedan ser aplicables en nuestro medio, no solamente para cumplir con lo establecido por la norma técnica, sino también para dar un tipo de solución al problema que genera este residuo.

El presente proyecto de titulación plantea preguntas de investigación que se esperan responder para dar una solución al problema planteado.

En la investigación bibliográfica se plantean las siguientes interrogantes:

¿Cuáles son los tipos de pilas existentes en el mercado?

¿Cuáles son los componentes o elementos tanto físicos como químicos de las mismas?

¿Cuál es el peligro que los elementos o constituyentes del residuos representan para la salud y el medio ambiente?

¿Cuál es la normativa vigente para este residuo?

¿Cuál es la situación actual de gestión de las pilas en otros países y en el Ecuador?

¿Cuáles son las estadísticas de consumo de pilas y baterías en el Ecuador?

El Diseño Experimental se plantean las siguientes interrogantes:

Si la estabilización o encapsulamiento es la alternativa de tratamiento para el residuo que constituyen las pilas y baterías domésticas, entonces al llevar a cabo este tipo de tratamiento:

¿Cómo puede evaluarse la eficacia del proceso de estabilización o encapsulamiento?

¿Cuáles son las propiedades físicas, técnicas y químicas que debe presentar el material estabilizado?

¿Es esta técnica viable o factible técnica, económica y ambientalmente?

1.3 OBJETIVO GENERAL

- Ensayar y evaluar la eficacia de estabilización con tres propuestas de Macro-encapsulamiento a muestras (1,7 Kg) de residuo.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una investigación bibliográfica referente a los tipos de pilas, composición física y química, estadísticas de consumo, peligrosidad a la salud y medio ambiente, gestión actual y normativa vigente.
- Clasificar por tipo y composición de las pilas y baterías domésticas usadas, del Programa de Recolección "Ponte las Pilas" llevado a cabo en el período Octubre 2007- Marzo 2008 en la EPN.
- Caracterizar el residuo mediante ensayo de lixiviación (test características de toxicidad, procedimiento de lixiviación) y la normativa vigente (Norma Técnica para Residuos peligrosos Industriales y Domésticos de la Ordenanza 213 del DMQ

- Estabilizar y/o solidificar el residuo mediante la técnica de macro encapsulación en matrices sólidas estructurales mediante tres tipos de ensayos en testigos de hormigón de dimensiones 0,2x0,2x0,2 m.
- Evaluar la eficacia de la estabilización del residuo mediante test de toxicidad a las matrices solidificadas
- Determinar las propiedades físicas: Peso específico, Absorción, Porosidad y propiedades técnicas: Resistencia a la compresión, Impacto.
- Analizar la viabilidad económica de la propuesta planteada.

1.5 JUSTIFICATIVO

Al no existir una tecnología de reciclaje de pilas disponible en nuestro país, es necesario buscar una alternativa, como la solidificación o encapsulamiento, previo la clasificación y recolección diferenciada del residuo.

Por tal motivo, un estudio en el cual se ensaye este tipo de alternativa se hace indispensable para evaluar la viabilidad tanto técnica, económica y ambiental para poderlo llevar a cabo y sobre todo conocer los resultados esperados.

Las razones principales por la que se plantea esta investigación radica en los hechos en los cuales ejecutar un programa de gestión con recolección, y almacenamiento pero no se tenga claro como realizar el destino final se constituye en un acto irresponsable que en vez de dar una solución estaría concentrando o agravando el problema ya que resulta menos contaminante que las pilas se encuentren dispersas en los rellenos a ser enterradas juntas sin ningún tipo de gestión, es por esto que conocer los resultados de un proceso de estabilización constituyen la razón fundamental para poder llevar a cabo con responsabilidad la fase final de un programa de gestión de este tipo de residuo.

1.6 METODOLOGÍA

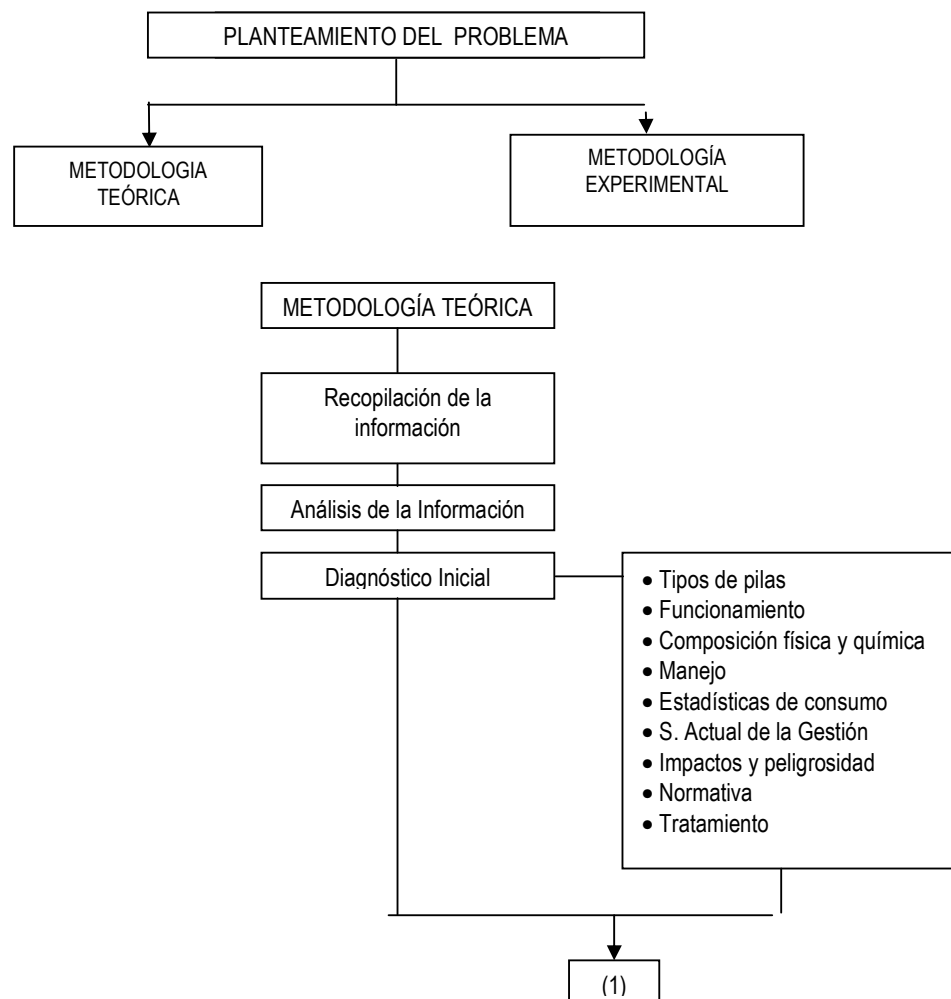
El trabajo se ha dividido en 2 partes principales que son la Metodología Teórica (Investigación Bibliográfica) y la Metodología Experimental.

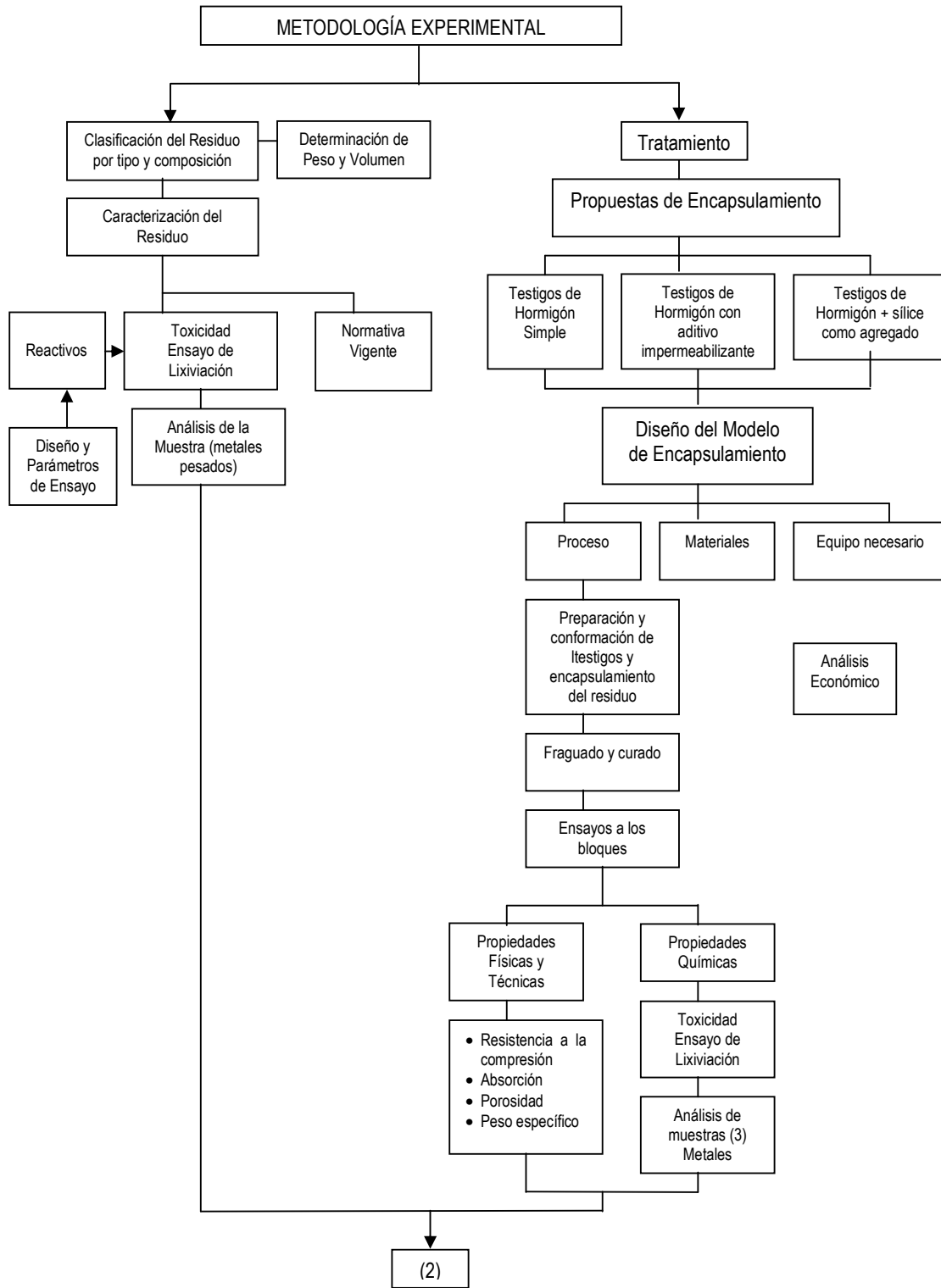
En la Metodología Teórica se hace una recopilación de información general y específica de todo lo relacionado a las pilas como residuo. Las herramientas utilizadas son libros, documentos, estudios, sitios Web, etc. Posteriormente, se

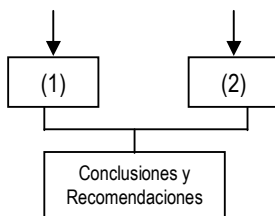
lleva a cabo un análisis de esta información para poder establecer los criterios generales de un diagnóstico de la problemática y también de una alternativa adecuada de gestión para el destino final.

La Metodología Experimental parte de lo establecido por la Resolución 002 de la Norma Técnica de la Ordenanza 213 del DMQ en cuanto a clasificación diferenciada del residuo y al tratamiento del mismo. Por tanto, se lleva a cabo la clasificación diferenciada y caracterización del mismo mediante ensayo de lixiviación y normativa vigente. Para la gestión en el presente proyecto de titulación se realizan tres propuestas de encapsulamiento a ensayarse. Posteriormente se realiza el diseño de encapsulamiento, seguido del proceso y finalmente de ensayos químicos y ensayos físico-técnicos que avalúan la eficacia del tratamiento.

Una vez finalizado el proceso se establecen los resultados y discusión y las conclusiones para, mediante estas, establecer el aporte del presente trabajo y las recomendaciones en general y también para futuras investigaciones.







Los resultados de la presente investigación propuesta aportarán con una visión sobre la situación de la gestión de este residuo, y como un instrumento en la toma de decisiones y referencia para poder dar un destino final adecuado si se pretende llevar a cabo una gestión (recolección, almacenamiento y destino final) del mismo.

1.7 HIPÓTESIS

Lo que se pretende probar en el estudio es que la solidificación del residuo logra alcanzar lo citado en la bibliografía que existe al respecto, es decir minimizar la velocidad de migración de contaminantes al medio ambiente disminuyendo la solubilidad de los mismos, reducir el nivel de toxicidad, aumentar la resistencia, pero sobre todo que este proceso se lo pueda aplicar tanto técnica, ambiental y económicamente utilizando tecnología y materiales tanto asequibles como disponibles en nuestro país.

Los indicadores de la hipótesis del estudio para probar los resultados esperados, están constituidas principalmente por los resultados de los ensayos a llevarse a cabo y el análisis de costos de de tratamiento por peso de residuo.

CAPITULO 2. INVESTIGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES SOBRE PILAS

2.1.1 RESEÑA HISTÓRICA DE LAS BATERÍAS

Muchos historiadores datan el inicio del desarrollo de las baterías desde finales del siglo XVIII. Sin embargo algunos hallazgos arqueológicos podrían fijar la fecha de origen hace 2000 años. En 1938, Wilhelm Konig descubrió en Irak una jarra de cerámica de 5 pulgadas que contenía un cilindro de cobre revestido de una barra de hierro. Konig manifestó que se trataba de una batería antigua.

1798-El físico italiano Count Alessandro Volta construyó su primera “pila voltaica”. La batería consistió de un par de discos cobre-zinc apilados, separados unos de otros por discos de cartón humedecidos por soluciones salinas o ácidas.

1836-John F. Daniell, un químico inglés, mejoró la eficiencia del diseño de volta desarrollando una manera de evitar los problemas de corrosión de las baterías de Volta.

1868-El químico francés George Leclanche diseñó una celda “húmeda”, precursora de la celda “seca”.



Figura N.- 2.1 Celda Húmeda

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

1888- El científico alemán Dr. Carl Gassner inventó la celda “seca”, una celda muy parecida a las baterías de zinc-carbono de hoy.

1896- Columbia fue la primera batería seca manufacturada por National Carbon Company que posteriormente sería Eveready Battery Company, hoy conocida como Energizer, esta se convirtió en la primera batería comercial disponible en los EE.UU.



Figura N.- 2.2 Primera batería comercial

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

1899-Waldmar Jungner inventó la primera batería recargable de níquel-cadmio.

La historia de las baterías y el desarrollo de dispositivos van de la mano. A finales de 1950 se inventaron las primeras baterías miniaturas para audífonos y baterías para relojes.

En 1956 se produjeron las primeras baterías de 9V utilizadas en detectores de humo, y fue en 1959 que se desarrolló la primera batería comercial esta fue la batería alcalina cilíndrica, estas producían suficiente energía para hacer funcionar radios portables, juguetes, etc.



Figura N.- 2.3 Desarrollo de las baterías

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

En 1960 se introducen a los mercados las baterías de óxido de plata, usadas en relojes y audífonos.

En 1989 empiezan iniciativas ambientales de eliminar el mercurio adicionado en baterías en marcas reconocidas.



Figura N.- 2.4 Baterías sin mercurio adicionado
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

Con la introducción de las baterías de litio en 1992, se abrió un nuevo mundo de energía de larga duración para los dispositivos de alta tecnología desde cámaras digitales hasta reproductores MP3 y ordenadores de mano.

En 1997 se introducen al mercado las baterías recargables de Ni-MH de alta energía.

En el 2000 se debutó la tecnología del titanio para entregar mayor poder en las baterías y confiabilidad en los usuarios. (Battery History, <http://www.energizer.com/learning-center/Pages/battery-history.aspx>, 2009)



Figura N.- 2.5 Baterías con tecnología de Titanio
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

2.1.2 PARTES Y FUNCIONAMIENTO DE LAS PILAS

2.1.2.1 Introducción

Se puede pensar en la batería como una pequeña planta de poder, que convierte una reacción química en energía eléctrica. Varias pilas secas (o alcalinas) pueden diferir de muchas maneras pero todas ellas tienen los mismos componentes básicos.

2.1.2.2 Partes de la Pila

- **Contenedor**

Constituido por un recubrimiento de acero el cual almacena (delimita) a los partes y componentes de la celda que forman el cátodo, una parte de la reacción electroquímica.

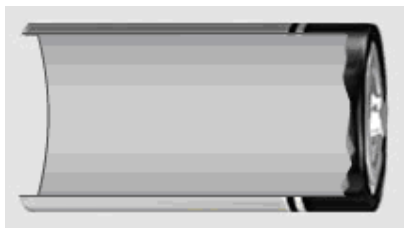


Figura N.- 2.6 Contenedor de una pila

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

- **Cátodo**

Formado por una mezcla de dióxido de manganeso (MnO_2) y carbono. Los cátodos son los electrodos reducidos por la reacción electroquímica.



Figura N.- 2.7 Cátodo de una pila

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

- **Separador**

Una estructura fibrosa no tejida separa los electrodos.



Figura N.- 2.8 Separador de una pila

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

- **Ánodo**

Los ánodos son los electrodos que son oxidados, potenciados por el metal zinc.

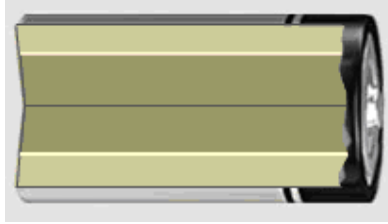


Figura N.- 2.9 Ánodo de una pila

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

- **Electrodos**

Son los lugares donde se da la reacción electroquímica.



Figura N.- 2.10 Electrodos de una pila

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

- **Electrolito**

Constituido por una solución en agua de hidróxido de potasio (KOH). El electrolito es el medio para el movimiento de los iones dentro de la celda y lleva la corriente iónica dentro de la batería.



Figura N.- 2.11 Electrolito de una pila

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

- **Colector**

Un alfiler de bronce en el centro de la celda que conduce la electricidad al exterior del circuito.

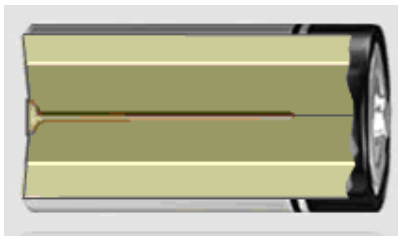


Figura N.- 2.12 Colector de una pila

Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

2.1.2.3 Construcción de la Pila

- **Contenedor**

Todo empieza con el contenedor de la batería, el cual es un envase vacío de acero. (Ver Figura N.- 2.6)

- **Mezcla de Cátodo**

Una mezcla de cátodo, constituido por polvo de dióxido de manganeso finamente molido y conductores portando una existente carga eléctrica natural positiva, son moldeados a la pared interior del contenedor vacío. (Ver Figura N.- 2.7)

- **Separador**

Un separador de papel se inserta en el ánodo para mantener el cátodo sin contacto directo con el ánodo. (Ver Figura N.- 2.8)

- **Ánodo**

El ánodo, el cual lleva una carga eléctrica negativa, y el electrolito de hidróxido de potasio son bombeados en cada contenedor. (Ver Figura N.- 2.9)

- **Colector**

El alfiler de bronce, el cual es el colector negativo, es insertado en la pila, el cual es luego sellado y delimitado. (Ver Figura N.- 2.12)

2.1.2.4 Funcionamiento del Dispositivo

- **Reacciones Químicas**

La reacción química comienza cuando se inserta la batería en el dispositivo y se completa el circuito.



Figura N.- 2.13 Funcionamiento de la Pila
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

La batería produce energía a través de la reacción química.

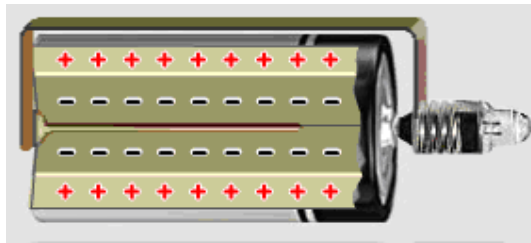


Figura N.- 2.14 Funcionamiento de la Pila-Reacción Química
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

La mayoría de reacciones químicas producen energía en forma de calor, pero confinando los químicos en el interior del contenedor y controlando la reacción resultante con un separador; las baterías producen energía eléctrica.

- **Respuesta del Dispositivo**

El electrolito oxida el ánodo de zinc de la alimentación. El cátodo de dióxido de manganeso y mezcla de carbono reacciona con el zinc oxidado para producir electricidad.

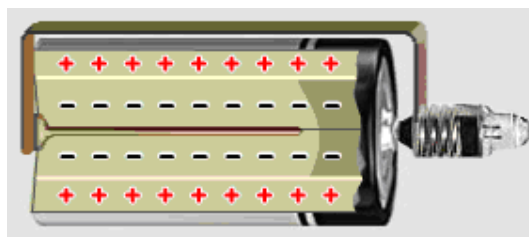


Figura N.- 2.15 Funcionamiento de la Pila-Reacciones Químicas
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

El colector conduce la corriente eléctrica fuera de la batería hacia el circuito externo, tales como puntos de contacto de una linterna o un CD portable.

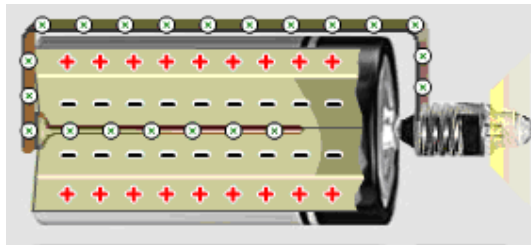
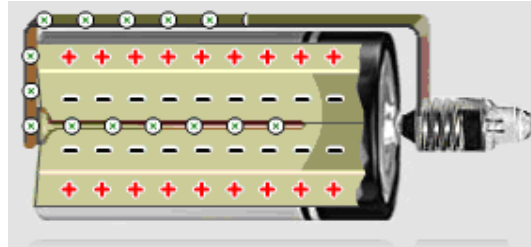


Figura N.- 2.16 Funcionamiento de la Pila-Reacciones Químicas
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

- **Caídas de Tensión**

Como la batería es usada y el zinc (ánodo) se oxida, el dióxido de manganeso (cátodo) es reducido.

La interacción entre el zinc y el electrolito produce productos de reacción, los cuales gradualmente disminuyen la acción de la celda y disminuyen su voltaje.

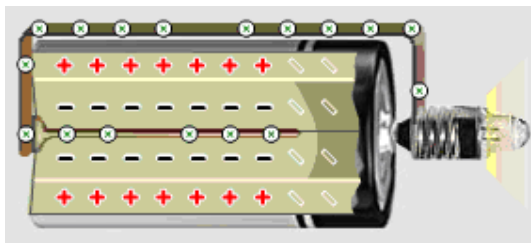


Figura N.- 2.17 Funcionamiento de la Pila-Caídas de Tensión
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

Al mismo tiempo, el dióxido de manganeso disponible se agota volviéndose menos y menos activo como cátodo en la celda. Estos factores se combinan para causar una reducción gradual en el voltaje de funcionamiento o trabajo de la batería. (How Battery Works, <http://www.energizer.com/learning-center/Pages/how-batteries-work.aspx>, 2009).

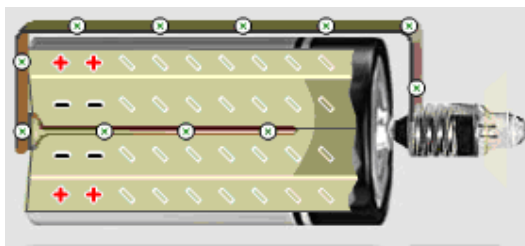


Figura N.- 2.18 Funcionamiento de la Pila-Caídas de Tensión
Fuente: Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>, 2009

2.1.3 CLASIFICACIÓN

2.1.3.1 Por sus características químicas

2.1.3.1.1 Por los materiales de sus electrodos y electrolitos

a) Secas o semisólidas

El electrolito, en ese tipo de pila, se presenta en forma de pasta, gel o alguna otra matriz sólida (LIZNICKI et al. 1990; MENDES SILVA, 1994). Se las denomina también baterías de celda seca. Las más comunes son las de Zinc-Carbono y alcalinas de manganeso.

Las pilas secas son también conocidas como no-automotrices o baterías domésticas (FISHBEIN, 1998).

Por lo general tienen electrolitos alcalinos.

b) Líquidas

Son aquellas que presentan los electrolitos en forma líquida y son llamadas pilas o baterías de celda húmeda. Por lo general tienen electrolitos ácidos.

Tabla N.- 2.1 Componentes Químicos Primarios de Pilas Domésticas

Tipo de Batería	Cátodo	Ánodo	Electrolito	
Pilas Secas	Alcalina	MnO ₂	Zinc	Potasio y/o NaOH
	Zinc-Carbón	MnO ₂	Zinc	NH ₄ y/o Clorato de Zinc(Zn(ClO ₃) ₂)
	Óxido de Mercurio	HgO	Zinc	Potasio y/o Zn(OH) ₂
	Aireado de Zinc	Oxígeno	Zinc	KOH
	Óxido de Plata	Ag ₂ O	Zinc	Potasio y/o NaOH
	Litio	Varios Óxidos metálicos	Litio	Varios orgánicos y/o soluciones salinas
Níquel-Cadmio (Recargable)	Óxido de Níquel	Cadmio	Potasio y/o NaOH	




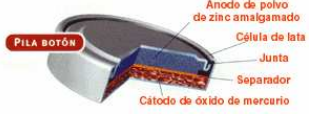
Fuente: LYZNICKI et al. 1990.

2.1.3.1.2 Por la Reversibilidad del Proceso de Generación

a) Primarias o No recargables

Son aquellas que no se pueden recargar, debido al cumplir cierto tiempo dejan de trabajar luego que sus compuestos químicos (elementos activos) han terminado una serie de reacciones químicas irreversibles.

Tabla N.- 2.2 Tipos de Baterías Primarias o No recargables





TIPO DE PILA	PRINCIPALES COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS Y USOS
<p>Zn/c Zinc/carbono o tipo Leclanché</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Carbono Grafito - MnO₂ (cátodo) - Zn chapa metálica (ánodo) - NH₄Cl (electrolito) - Hierro - Mercurio 	<p>También denominadas Le Clanché, "pilas secas" o pilas comunes, son de menor precio. Utilizadas en aparatos sencillos y de poco consumo como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Juguetes, linternas, radios, lámparas, relojes, c. remoto, etc.
<p>Zn/MnO₂ Alcalinas de Manganeseo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - MnO₂ (cátodo) - Zn en polvo (ánodo) - KOH (electrolito) - Hierro - Mercurio 	<p>Denominadas de larga duración, duran de 3-10 veces más que las pilas salinas. Vienen blindadas lo que dificulta el derramamiento de los constituyentes sin embargo el blindaje no tiene duración ilimitada. Uso en aparatos de mayor consumo y uso intenso como: walkman, juguetes, cámaras de fotos, radios, lámparas, etc.</p>
<p>Li/MnO₂ Litio-Dióxido de manganeseo</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Li₂O (ánodo) - MnO₂ o monofluorato de policarbono - Hierro - Níquel 	<p>Poseen alta capacidad y baja auto descarga. Poseen mayor voltaje inicial 3V/pila frente a 1.5 V de la mayoría de las alcalinas. Producen 3 veces más energía que las alcalinas considerando tamaños equivalentes. Comercializadas en tipo botón, cilíndricas o de geometrías especiales de varios tipos: Li-Mg, Li-C, Li-Fe, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cámaras, beepers, brújulas, relojes, calculadoras, u. militares e industriales.
<p>Zn/HgO Óxido de Mercurio</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Zn (ánodo) - HgO (cátodo) - Hierro - Manganeseo 	<p>Son las más tóxicas conteniendo alrededor del 30% de mercurio. Usualmente tipo botón. Deben manipularse con precaución ya que la ingesta accidental puede ser letal, por su forma y tamaño.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Equipos médicos especializados, audífonos, equipos de respuesta militar y de emergencia.
<p>Zn/AgO Óxido de Plata</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Amalgama de Zn (ánodo) - Ag₂O (cátodo) - Hierro - Manganeseo - Mercurio - KOH (electrolito) 	<p>De tamaño pequeño, usualmente tipo botón. Contienen 1% de mercurio aprox. por lo que son tóxicas al medio ambiente. Poseen alta y media capacidad, posee larga duración.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relojes de pulso, calculadoras, aparatos auditivos, cámaras fotográficas.
<p>Zn/O₂ Aireado de Zinc</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Zn (ánodo) - Hierro - Níquel - Mercurio - Oxígeno (cátodo) 	<p>Tienen gran cantidad de agujeros en su superficie. Alta capacidad, una vez en funcionamiento su producción de electricidad es continua. Contiene mas del 1% de mercurio.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aparatos auditivos, marcapasos, beepers, equipos fotográficos.

Fuentes: MVMICHAEL&HENDERSON, 1998, AGUILUZ LIZLY, TORRES MARIELA, 2006, MARTINEZ, 2007

b) Secundarias o Recargables

Son aquellas que pueden ser recargadas debido a que la transformación de la energía química en energía eléctrica es un proceso reversible puesto que cambia el sentido de reacción y se adquiere nuevamente la fuerza motriz inicial. Sin embargo, después de cierto número de recargas se agotan. Este tipo de pila es llamado también batería de almacenaje.

Tabla N.- 2.3 Tipos de Baterías Secundarias o Recargables

TIPO	PRINCIPALES COMPONENTES	CARACTERÍSTICAS Y USOS
<p>Ni-Cd Níquel – Cadmio</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Hierro - Hidróxido de Níquel - Cadmio - NaOH o KOH (electrolito) 	<p>Poseen alta capacidad. Toleran hasta 1000 recargas.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Celulares - Teléfonos inalámbricos - Cepillos de dientes eléctricos - Computadoras portátiles - Aparatos eléctricos y electrónicos
<p>Ni-MH Níquel Hidruro Metálico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Óxido de Níquel (cátodo) - Hidruro metálico (ánodo) - Potasio (electrolito) - Hierro - Cobalto 	<p>Sistema similar al Ni-Cd en donde el Cd ha sido reemplazado por una aleación metálica capaz de almacenar hidrógeno.</p> <p>Tienen aprox. 50% más energía y son más caras que las baterías Ni-Cd.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Computadores, teléfonos celulares, cámaras de video.
<p>Ión Litio</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Grafito - Litio - Óxido de Cobalto 	<p>Poseen alta capacidad y alta energía. Son ligeras, pesan la mitad de una batería Ni-Cd equivalente.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Computadores, teléfonos celulares, cámaras de video y fotográficas.
<p>Plomo-ácido (selladas)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Pb - H₂SO₄ 	<p>Llegan a pesar 2lbs/Kg batería</p> <ul style="list-style-type: none"> - Luz de emergencia - Fuentes de energía - Juegos Electrónicos
<p>Alcalina de manganeso</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Zn - MnO₂ - Electrolitos básicos 	<ul style="list-style-type: none"> - Radios - Lámparas - Juegos Electrónicos

Fuentes: MVMICHAEL&HENDERSON, 1998, AGUILUZ LIZLY, TORRES MARIELA, 2006, MARTINEZ, 2007

2.1.3.2 Por sus características físicas

a) Por sus Formato Físico (Forma y Tamaño)

Para ello se usa una nomenclatura como se muestra en la tabla N° 2.4. Las pilas cilíndricas son las más usadas, junto con las pilas botón y las cuadradas, sin embargo con el aumento de nuevos aparatos y sistemas se han variado estos estándares físicos para adaptarse a las necesidades de estos equipos.

Tabla N.- 2.4 Tipos de pilas por sus características físicas

Forma	Aplicación
Botón	Relojes, calculadoras, aparatos auditivos, utilidades médicas, etc.
Cuadrada	Lámparas, equipos de comunicaciones, juguetes, etc.
Cilíndrica AAA	Control remoto de TV., cámaras fotográficas, etc.
Cilíndrica AA	Video juegos portátiles, juguetes, cepillos de dientes, radios, etc.
Cilíndrica C	Juguetes, linternas, etc.
Cilíndrica D	Juguetes, radiograbadoras, etc.

2.1.4 ESTADÍSTICAS DE CONSUMO EN EL ECUADOR Y DMQ

2.1.4.1 Estadísticas de Consumo en el Ecuador

2.1.4.1.1 *Producción e Importación de Pilas y Baterías en el Ecuador*

La demanda ecuatoriana de pilas se satisface mediante importación. Según estadísticas del Banco Central del Ecuador durante el año 2000 se importaron un total de 1.957,4 toneladas de pilas clasificadas de la siguiente manera: 55,6 % pilas cilíndricas, 8,75% botón, 35,6 % de las demás (recargables), como se observa en el Gráfico N.- 2.1.

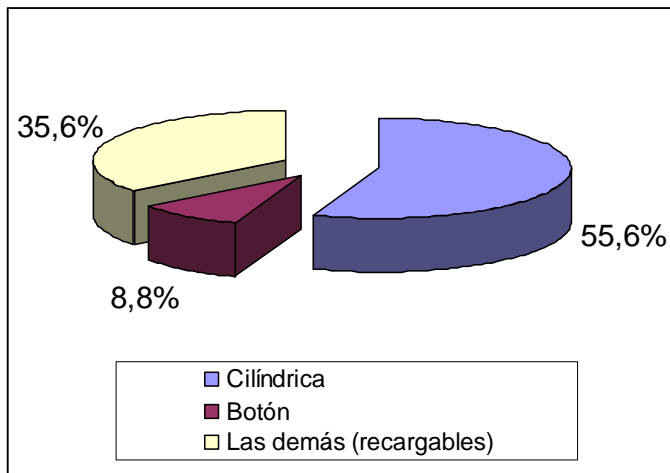


Gráfico N.- 2.1 Tipos de Pilas Importadas a Ecuador en el Año 2000

Fuente: Fundación GEA, 2001 (<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/pilas/pilas.pdf>, 2009)

De las pilas cilíndricas importadas en el año 2000: el 90% provienen de EE.UU., China y Colombia, mientras que el 10% restante provienen de otros países como Canadá, Alemania, Taiwán, México, Hong Kong, Italia, Portugal, Singapur, Suiza. En lo que respecta a las pilas tipo botón el 90% proviene Colombia, Panamá, EE.UU. y China. Las demás pilas restantes (recargables) en su mayoría provienen de Singapur, México, EE.UU., Venezuela, China y Colombia.

2.1.4.1.2 Consumo Nacional de Pilas

La Fundación GEA, 2001 obtuvo los siguientes indicadores respecto al consumo de pilas:

- Se estima en promedio un consumo de 10,6 pilas /hab.año; 10,8 a nivel urbano y 10,5 a nivel rural conforme se muestra en el Gráfico N.- 2.2.
- En un 99% de los casos las pilas son botadas a la basura doméstica, el 1% indica que las entierran.
- En cuanto al conocimiento de la población acerca de la contaminación que pueden causar las pilas al ambiente un 16% respondió que saben mucho, un 42% poco y un 42% nada.

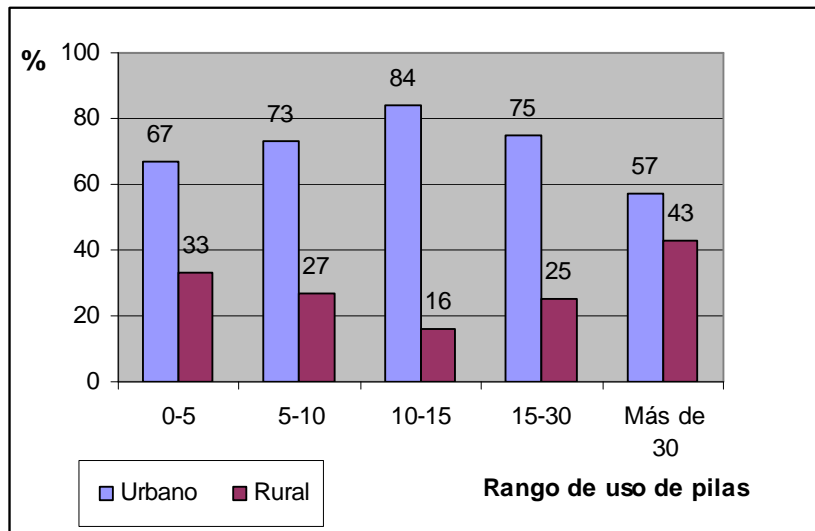


Gráfico N.- 2.2 Rangos de Consumo de Pilas, Área Urbana y Rural

Fuente: Fundación GEA, 2001 (<http://www.cepis.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/pilas/pilas.pdf>, 2009)

2.1.4.2 Estadísticas de Consumo en el DMQ

La información que presenta a continuación esta basada en los datos obtenidos del “Estudio de la Situación de las Pilas, Baterías y Lámparas Fluorescentes en el Distrito Metropolitano de Quito para Swisscontact“ a través del Proyecto de Reducción de Emisiones Industriales REDEMI 2007.

El total de baterías y pilas consumidas por hogares y empresas en el DMQ en el año 2007 ascendió a 24'622.141,8. De las cuales, en hogares son 23'934.003 pilas y baterías consumidas anualmente en el DMQ, así el consumo de pilas y baterías estaría constituido en un 97,2% por hogares y un 2,8% por empresas.

Estos datos están basados en las importaciones del Banco Central, y ya que estos son en dólares y toneladas, las cifras de consumo presentadas anteriormente equivalen a 1.181,8 [Ton.], los datos de conversión a unidades se los realizó con el precio promedio de las diferentes pilas, ya que el código arancelario no establece una clasificación en base al tamaño, sino en base a la composición de las mismas.

El estudio presenta datos respecto al consumo total por tipo de pilas en el DMQ.

Tabla N.- 2.5 Consumo Total por Tipo de Pilas en el DMQ

TIPO	PORCENTAJE
AA	66,7
AAA	21,7
C	6,1
D	3,4
Botón	1,2
9V	0,3
Otras	0,6

Fuente: "Estudio de la Situación de las Pilas, Baterías y Lámparas Fluorescentes en el Distrito Metropolitano de Quito para Swisscontact" Proyecto de Reducción de Emisiones Industriales REDEMI 2007.

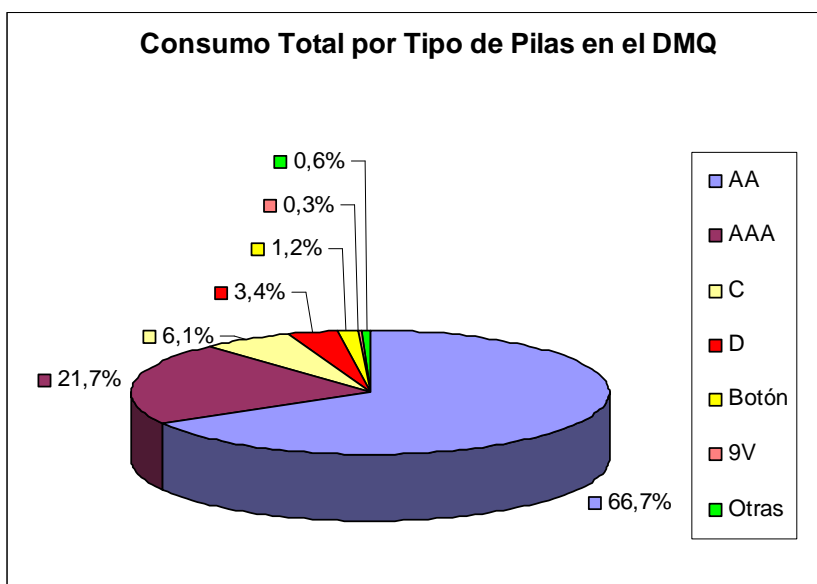


Gráfico N.- 2.3 Consumo Total por Tipo de Pilas en el DMQ.

Fuente: "Estudio de la Situación de las Pilas, Baterías y Lámparas Fluorescentes en el Distrito Metropolitano de Quito para Swisscontact" Proyecto de Reducción de Emisiones Industriales REDEMI 2007.

En la siguiente tabla se presenta un resumen en cuanto a los datos de importaciones del Banco Central para el año 2007:

Tabla N.- 2.6 Datos de importaciones de pilas al Ecuador en el año 2007

Importaciones 2007	Cantidad de Pilas [u]	Porcentaje [%]
Nacional	61.709,629	39,9
DMQ	24'622.141,77	100,0

Fuente: "Estudio de la Situación de las Pilas, Baterías y Lámparas Fluorescentes en el Distrito Metropolitano de Quito para Swisscontact" Proyecto de Reducción de Emisiones Industriales REDEMI 2007.

Estas cifras evidencian un alto consumo para el DMQ con 39,9% considerando que el DMQ no cubre el 20% de la población nacional. Datos del Banco Central afirman que los consumos se concentran en los más altos en Quito y Guayaquil.

En estos datos no se incluyen cifras por contrabando de pilas, sin embargo este estudio (en el cual se hizo referencia a una encuesta en la que el 50% de los hogares entrevistados afirmaron que realizan compras a bodegas y vendedores ambulantes), lanzó el dato del 4,05% del consumo, lo cual equivaldría a 970.0000 pilas por contrabando. El estudio concluye que este dato es bajo comparado con los niveles de contrabando de México que están en un 50%.

Asumiendo los datos reales de importaciones para el año 2007 y los estimados por contrabando conjuntamente con la población podemos estimar el consumo anual per-cápita de pilas:

Tabla N.- 2.7 Cálculo estimado de consumo de pilas per cápita a nivel nacional en el año 2007

Población del Ecuador Año 2007	Importaciones BCE Año 2007	Consumo de pilas/hab.año por importaciones	4.05% por contrabando	Total de pilas a nivel nacional en el 2007	Consumo de pilas/hab.año a nivel nacional
13'755.680	61'709.629	4,5	2'499.240	64'208.869	5

Fuente: "Estudio de la Situación de las Pilas, Baterías y Lámparas Fluorescentes en el Distrito Metropolitano de Quito para Swisscontact" Proyecto de Reducción de Emisiones Industriales REDEMI 2007.

Nota: debido a que no existen datos de consumo de pilas por contrabando se asumió el valor de 4,05% que es una estimación del estudio contratado por Swisscontact. La finalidad es tener una idea aproximada del consumo en el país.

En base a estas proyecciones se tiene que el consumo es de 5 pilas/hab.año, valor similar al de México país en que se calcula que se consumen 6 pilas/hab.año, mientras que en Argentina se tiene un consumo de 10 pilas/hab.año.

2.1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE LA GESTIÓN DE LAS PILAS EN EL ECUADOR

Actualmente en el Ecuador la ciudad que realiza un programa de gestión de pilas es Cuenca, el programa contempla la recolección, clasificación y destino final ambientalmente seguro, el cual se resume en los siguientes pasos:

- Separación individual de las pilas por su composición y perjuicio al ambiente
- Estabilización química:
- Pilas con Plomo estabilización con $\text{Ca}(\text{OH})_2$ y Na_2S
- Pilas con Cadmio estabilización con Na_2CO_3
- Pilas con Mercurio estabilización con Na_2S y CaS
- Encapsulamiento en hormigón con aditivos especiales, elaboran esculturas ecológicas en base a concurso de diseño para el embellecimiento urbano de la ciudad. (Etapa Cuenca http://www.etapa.net.ec/DGA/dga_pro_rec_pil_que_hac.aspx, 2009)

El programa permanente de recolección de pilas usadas en esta ciudad la dirige la empresa municipal Etapa desde el año 2005. Según se indica por parte de la Dirección de Gestión Ambiental de etapa en cuatro años se recolectaron 516.023 unidades. Aunque no hay estimaciones referentes al número de pilas en el mercado cuencano, el Banco central del Ecuador registró importaciones por 11 millones de pilas al año. (El Comercio, Jueves 2 de abril de 2009, Pág. 16).

Según estas estadísticas en Cuenca se recogerían un promedio aproximado de 129.000 pilas al año, lo que representaría el 1,2 % del total de este desecho.

2.1.6 GESTIÓN DE PILAS EN OTROS PAÍSES

En su mayoría países europeos tales como Suiza (Batrec AG), Francia (Citron, Recuply, SNAM, Valdi/Tredi) y Suecia (SAFT-NIFE) tienen plantas recicladoras de baterías y pilas, así como en Alemania existen unas pocas plantas en donde se recicla baterías, que incluye a la planta Accurec Deutschland en Muhlheim la cual es subsidiada por Ministerio Federal del Ambiente en donde se realizan métodos de recuperación patentados. Según uno de sus procesos las baterías recargables de nickel-cadmium son preparadas para ser recicladas en proceso térmico al vacío el cual consume poca energía y pocas emisiones. Igualmente en Gran Bretaña existen plantas de reciclaje de pilas botón (Odin Technology and Mercury Recycling). (Bonilla, 2007)

Japón cuenta con plantas de recuperación de cadmio como óxido de cadmio, y de níquel como ferro-níquel, provenientes de las baterías recargables.

En países del continente americano tales como Estados Unidos se creó en 1994 “The Rechargeable Battery Recycling Corporation (RBRC) una organización encargada de recolectar baterías de los consumidores y negocios para luego enviar a reciclar en plantas procesadoras, esto se lleva a cabo a través del Rechargeable Battery Recycling Corporation Program “Call 2 Recycle”. Este es un programa que recicla baterías recargables y de celular en EE.UU. y Canadá. (Call 2 Recycle, <http://www.rbrc.org/start.php>, 2009).

Argentina, de los países de América Latina cuenta con una planta formal, a escala comercial para el tratamiento y reciclaje de una amplia gama de pilas y baterías, pero su operación no es financieramente rentable.

Brasil cuenta con procesos de tratamiento, en donde posterior a la recolección y transporte, el proceso de reciclaje consiste el desmontaje manual de las pilas y baterías y la incineración de los metales contenidos en su interior en hornos industriales de alta temperatura, dotados de filtros que impiden la emisión de gases contaminantes. Como subproductos del reciclaje están los óxidos metálicos, los cuales son comercializados por la empresa recicladora, en uso en industrias de tintas, cerámicas, siderúrgicas y construcción civil, entre otras. (REIDLER; Nivea, RISSO, Wanda, 2008).

Chile cuenta con un proceso de eliminación de pilas a través de la empresa Hidronor, la cual es un centro integral de gestión, tratamiento y recuperación de residuos industriales que opera desde 1997.

El proceso que esta empresa realiza a las pilas consiste en someterlas a un proceso de estabilización (esto es para transformar los residuos en sustancias químicamente inertes), luego estos transportados para ser encapsulados mediante la adición de aditivos aglomerantes y silicatados para atrapar los elementos tóxicos generando así una matriz sólida estable, posterior al proceso de aglomeración el producto resultante de la encapsulación de pilas es transportado a un depósito de seguridad. (AGUILUZ LIZLY, TORRES MARIELA, 2006).

Sin embargo en otros países todavía esta en uso el método de recolectar las pilas y enterrarlas en contenedores, con lo que no se logra detener la actividad química y los cuales sino son debidamente sellados pueden producir fugas de material tóxico hacia agua subterráneas por difusión a través del suelo mediante escurrimientos provenientes de lluvias.

2.1.7 IMPACTO AMBIENTAL

2.1.7.1 Impacto en el agua

Cuando las pilas son dispuestas en la basura común y posteriormente esta es depositada en botaderos o incluso en rellenos sanitarios diseñados u operados sin normas técnicas, puede haber contaminación de aguas subterráneas o de cuerpos de agua superficiales por agua de escurrimiento. Puede haber contaminación por medio de la producción de lixiviados procedentes de la basura descompuesta y que se filtra al suelo por medio del agua. La fracción orgánica biodegradable de altas concentraciones genera digestiones anaerobias cuyos productos son ácidos orgánicos y biogas. Los ácidos orgánicos son los principales compuestos del lixiviado, el mismo que tiene un $\text{pH} < 7$ por lo que es muy probable que debido a su acidez también solubilicen metales pesados. (MUÑOZ, 2008).

Mientras que si estos residuos son depositados en vertederos o botaderos al aire libre, los períodos de precipitación favorecen la corrosión y migración de los componentes de las mismas hacia el suelo y/o cursos de agua.

2.1.7.2 Impacto en el aire

Las pilas y baterías en estado natural no constituyen un impacto en el recurso aire, sin embargo, si son sometidas a sistemas de conversión térmica como incineración sin un adecuado control de emisiones gaseosas si pueden convertirse en un impacto en este recurso, principalmente por emisión de vapores de mercurio.

2.1.7.3 Impacto en el suelo

Migración de los metales pesados presentes en los lixiviados el suelo, puesto que en el medio ácido del lixiviado se encuentran como iones.

Los metales pesados como Ag, Cd, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Zn tienden a ser fuertemente adsorbidos por los constituyentes del suelo, especialmente la materia

orgánica la cual influye en el transporte de contaminantes. Los metales son móviles o biodisponibles bajo condiciones ácidas.

2.1.7.4 Impacto en la Biota

Estos metales tienden a bio-acumularse en varias especies de plantas y animales por la cadena alimenticia, convirtiéndose en foco de contaminación para seres humanos, animales y cultivos que entren en contacto con estos residuos.

2.1.8 PELIGROSIDAD

En varias referencias bibliográficas y portales de agencias ambientales se encuentra información acerca de la peligrosidad de las pilas por elementos contaminantes para el Ambiente y dañinas para la salud del ser humano. Sin embargo desde mediados de los años noventa que las pilas de marcas conocidas han eliminado ciertos metales pesados de sus componentes; y por otro lado, no existen estudios de fuente confiable que compruebe que las imitaciones de pilas sean realmente contaminantes, pero para conocer mejor el daño que estos elementos provocan en la salud y en el Medio Ambiente se presenta información de estos elementos vinculados a las pilas según peligrosidad:

2.1.8.1 Mercurio (Hg) y sus compuestos

El mercurio está reconocido como uno de los mayores tóxicos repartidos por el medio ambiente. Esta aseveración se ha extendido desde la contaminación masiva de peces producida en Japón por metilmercurio, siendo también un indicativo de su toxicidad la contaminación de semillas tratadas con metil mercurio como fungicida en Iral e 1974.

A partir de los hechos anteriores se han intensificado de manera extraordinaria las investigaciones sobre este elemento, teniendo particular importancia el descubrimiento de que el mercurio inorgánico se metila por acción de cierto microorganismo, lo que determina un comportamiento cíclico en el medio ambiente. Al contrario de otros compuestos, el mercurio se encuentra ampliamente distribuido de forma natural, y sólo muestra su carácter contaminante como resultado de la actividad del hombre.

La acción contaminante del mercurio y sus compuestos, sobre todo el metilmercurio, se potencia en medios biológicos (algunas especies de peces), existiendo la tendencia, generalmente admitida a la vista de sus efectos, de restringir el uso del mercurio y sus derivados orgánicos, mucho más tóxicos.

El principal consumo de mercurio se da en las plantas de obtención de cloro donde las pérdidas se emiten fundamentalmente a la atmósfera. También se emplea en equipos electrónicos (baterías), pinturas, medidas y control fungicida en agricultura. El mecanismo de acumulación del metilmercurio no está definido por completo y se cree que pasa de las partículas de los sedimentos al agua, en donde se acumula con rapidez en los organismos vivos. Esta hipótesis se fundamenta en el hecho de no haberse detectado su presencia en agua filtrada, lo que supone que en los peces las agallas actúan como acumuladores, aumentando los niveles a medida que aumenta la cadena alimentaria.

La toxicidad del mercurio se ve potenciada por efectos sinérgicos con otros metales, como el cobre, mientras que sucede un efecto antagónico con el selenio.

2.1.8.2 Cadmio (Cd) y sus compuestos

El cadmio está estrechamente ligado en su localización con el Zn y forman parte con el mercurio de la misma familia química.

El cadmio puede movilizarse con relativa facilidad en el aire, agua y suelo. La mayor parte del cadmio contenido en el agua tiende a desplazarse hacia el sedimento, pudiendo afectar los organismos vivos del mismo. Debido a su larga vida media, actúa como un veneno acumulativo.

El mayor aporte de cadmio proviene como subproducto en la obtención del zinc a partir de sulfuro de zinc (ZnS), habiéndose producido el 70% del cadmio mundial en los últimos 20 años.

El cadmio presenta una ocurrencia natural en la corteza terrestre (CdS + Zn + Pb), se lo utiliza en la producción de baterías Ni-Cd, en la industria de tintas, esmaltes, pigmentos para plásticos, etc.

Bajo ciertas condiciones favorables el cadmio puede ser oxidado con rapidez por los microorganismos del suelo. Es bioacumulable por un amplio rango de microorganismos marinos y plantas. Los moluscos marinos pueden acumular

concentraciones de hasta dos millones de veces superiores a la concentración del agua.

El cadmio actúa en el ser humano como un veneno acumulativo, incrementándose con el peso y la edad. La eliminación del cadmio absorbido es muy lenta, teniendo una vida media estimada de 16 y 33 años. El aporte fundamental del cadmio es mediante la dieta, aunque puede aumentarse este aporte notablemente en el caso de grandes fumadores. El hígado y los riñones acumulan el 50% del contenido total del cadmio.

Estudios de laboratorio han demostrado que el cadmio provoca disminución de hemoglobina, necrosis ovárica y testicular, anemia y es potencialmente carcinogénico.

2.1.8.3 Cromo y sus compuestos

Es un elemento muy abundante en la corteza terrestre y se presenta en varios estados de oxidación, de cromo bivalente a hexavalente, siendo el más común el trivalente. Es uno de los elementos esenciales para la vida humana, pero en altas concentraciones resulta tóxico.

Es un elemento empleado en la industria, cuyos vertidos al medio ambiente proceden principalmente de la combustión de petróleo, de la metalurgia, del procesado de minerales y de la industria del cuero.

El cromo (VI) se considera la forma más tóxica por su mayor facilidad para atravesar las membranas biológicas, siendo en condiciones naturales, inconvertibles las formas trivalentes y hexavalentes.

El cromo del suelo puede pasar a formar parte de los sedimentos por lixiviación, siendo en las aguas el cromo (VI) la forma más abundante, el cromo (III) puede ser ocasionalmente absorbido o precipitado.

La ingesta o exposición a altas concentraciones de cromo puede provocar erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras problemas respiratorios; debilitamiento del sistema inmune; daño en los riñones e hígado; alteración del material genético cáncer de pulmón y muerte.

El Cromo (III) es un elemento esencial para organismos que puede interferir en el metabolismo del azúcar y causar problemas de corazón, cuando la dosis es muy baja. El Cromo (VI) es mayoritariamente tóxico para los organismos. Este puede alterar el material genético y causar cáncer.

2.1.8.4 Plomo y sus compuestos

El plomo es el metal tóxico más ampliamente distribuido, es un elemento no esencial que exhibe un alto grado de toxicidad para humanos y animales.

Se lo encuentra en estado natural, en esta condición es insignificante la contribución en la contaminación ambiental.

Se utiliza para la manufactura de baterías Pb-ácido, baterías, aditivo de gasolinas, manufactura de municiones, pigmento y pinturas, sistemas de distribución de agua y en la agricultura en herbicidas e insecticidas y fungicidas.

Los efectos tóxicos de plomo en el hombre son bien conocidos por la exposición ocupacional (plumbosis).

El plomo se acumula pudiendo causar toxicidad crónica, produciendo daños cerebrales (especialmente en los niños) provocando bajo coeficiente intelectual, anemia, neuropatía.

2.1.8.5 Níquel y sus compuestos

El níquel es un metal magnético duro, maleable, de color blanco-plata, resistente a la corrosión, buen conductor eléctrico y térmico, con diversas aplicaciones industriales.

Usos y exposición:

Aleaciones con cobre, hierro y aluminio.

b) Preparación de aceros especiales.

c) Niquelado por electrólisis.

d) Catalizador en los reactores químicos.

e) Fabricación de baterías de níquel-cadmio, etc.

En la exposición laboral la piel y las vías respiratorias se afectan. Es cancerígeno pudiendo causar cáncer bronquial.

2.1.8.6 Cobalto y sus compuestos

El cobalto es un elemento que ocurre naturalmente y que tiene propiedades similares al hierro y al níquel. Es un metal duro, gris-plateado. En el ambiente, el cobalto se encuentra combinado con otros elementos tales como oxígeno, azufre y arsénico. Pequeñas cantidades de estos compuestos químicos se pueden

encontrar en rocas, el suelo, en plantas y en animales. Pequeñas cantidades de cobalto también se encuentran disueltas en forma de iones en el agua.

El cobalto puede entrar al ambiente tanto desde fuentes naturales como a causa de actividades humanas. El cobalto se encuentra en forma natural en el suelo, rocas, el aire, el agua, en plantas y en animales. Puede entrar al aire y al agua y depositarse en el suelo en polvo, rocío de mar, erupciones volcánicas e incendios forestales. Además, puede entrar a aguas superficiales en agua de escorrentía producida por lluvia que cae sobre suelo o rocas que contienen cobalto. El suelo cerca de depósitos minerales, rocas de fosfatos o de fundiciones de minerales, y suelos contaminados por el tráfico de carreteras y cerca de aeropuertos o de otros tipos de fuentes de contaminación industrial pueden contener concentraciones altas de cobalto. Pequeñas cantidades de cobalto pueden liberarse a la atmósfera desde plantas e incineradores que usan carbón como combustible, del tubo de escape de vehículos, de actividades industriales relacionadas con el minado y procesamiento de minerales que contienen cobalto y de la producción y uso de aleaciones y compuestos de cobalto.

Las plantas pueden acumular cantidades muy pequeñas de cobalto del suelo, especialmente en las partes comestibles de la planta como por ejemplo la fruta, los granos y las semillas. Aunque los animales que comen estas plantas acumularán cobalto, el cobalto no parece que se biomagnifica (aumento de la concentración a lo largo de la cadena alimentaria). Por lo tanto, las hortalizas, frutas, pescado y la carne que se consumen generalmente no contienen cantidades muy altas de cobalto.

El cobalto es un elemento esencial para la salud de seres humanos y animales y, por lo tanto, es importante que los alimentos contengan cantidades adecuadas de cobalto.

El cobalto tiene efectos tanto beneficiosos como perjudiciales para la salud. El cobalto es beneficioso para seres humanos porque forma parte de la vitamina B₁₂, que es esencial para mantener buena salud. El cobalto (0.16 a 1.0 mg de cobalto/kg de peso corporal).

Sin embargo, cuando el cuerpo absorbe demasiado cobalto pueden ocurrir efectos perjudiciales como por ejemplo en el caso de enfermedades ocupacionales en

donde respirar ciertas dosis de cobalto por períodos prolongados de tiempo puede causar dificultad para respirar, asma, pulmonía, salpullido en la piel.

2.1.8.7 Manganeso y sus compuestos

Es un metal muy duro de color gris acerado. Si bien presenta 11 estados de oxidación, los más importantes son +2, +4 y +7.

Usos y exposición:

- a) Extracción y transporte de minerales
- b) Industria metalúrgica
- c) Soldaduras
- d) Fabricación de pilas secas
- e) Industria química
- f) Fabricación de derivados orgánicos de manganeso
- g) Envasado de las escorias de los convertidores

Intoxicación aguda

Por exposición aguda se han presentado casos de neumonía química producidos en trabajadores expuestos en minas de manganeso.

Por exposición crónica, es el Sistema Nervioso Central el que se lesiona, lo cual conlleva a la aparición de un Síndrome de Parkinson o Parkinsonismo mangánico

2.1.8.8 Plata y sus compuestos

La plata es una sustancia química que ocurre naturalmente. En el ambiente se encuentra combinada con otras sustancias químicas tales como sulfuro, cloruro y nitrato. La plata pura es de color "plateado", pero el nitrato de plata y el cloruro de plata son polvos blancos, y el sulfuro de plata y el óxido de plata son entre gris oscuro y negro. La plata ocurre a menudo como subproducto durante la recuperación de minerales de cobre, plomo, zinc y de oro.

La plata es usada para fabricar joyas, cubiertos y vajillas de plata, equipo electrónico y empastaduras dentales. También se usa para hacer fotografías, en aleaciones de alta temperatura y soldaduras, para desinfectar agua potable y agua en piscinas y como agente contra bacterias. También se ha usado la plata en pastillas y goma de mascar para ayudar a personas a dejar de fumar.

La exposición a altos niveles de plata por un período largo puede producir una condición llamada argiria, que es un descoloramiento azul-grisáceo de la piel y otros tejidos. Las exposiciones a niveles de plata menores también pueden producir depósitos de plata en la piel y en otras partes del cuerpo; sin embargo, este tipo de exposición no parece ser perjudicial. La argiria es una condición permanente, aunque parece ser más bien un problema cosmético que no daña a la salud.

La exposición a niveles altos de plata en el aire ha producido problemas respiratorios, irritación de la garganta y el pulmón y dolores de estómago. En cierta gente, contacto de la piel con la plata puede causar reacciones alérgicas leves, tales como salpullido, hinchazón e inflamación.

2.1.8.9 Zinc y sus compuestos

El zinc es un elemento químico esencial para las personas y es uno de los elementos más comunes en la corteza terrestre, se encuentra en el aire, el suelo y el agua, y está presente en todos los alimentos.

El cinc puro es un metal brillante blanco-azulado, en esta forma no está considerado como tóxico pero sí cuando se combina con otros elementos que se encuentran en sitios de desechos peligrosos entre los que se incluyen algunos de sus compuestos como el óxido y el sulfuro, el cloruro de zinc, el óxido de zinc, el sulfato de zinc y el sulfuro de zinc.

Los compuestos de zinc son ampliamente usados en la industria para fabricar pinturas, caucho, tinturas, preservativos para maderas, ungüentos, como revestimiento para prevenir la corrosión, en compartimentos de baterías secas y, mezclado con otros metales, para fabricar aleaciones como latón y bronce.

Exposiciones a altos niveles de Zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de Zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios.

El zinc puede incrementar la acidez de las aguas. Cuando el Zinc entra en los cuerpos de peces éste es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaría.

Cuando los suelos son granjas y están contaminados con Zinc, los animales absorben concentraciones que son dañas para su salud. El Zinc soluble en agua que está localizado en el suelo puede contaminar el agua subterránea.

Inhalar grandes cantidades de polvos o vapores de zinc puede producir una enfermedad de corta duración llamada fiebre de vapores de metal. No se sabe cuales son los efectos a largo plazo de respirar altos niveles de zinc.

2.1.9 OPCIONES EN LA GESTIÓN DE PILAS

Una vez que se genera el residuo surgen dos preguntas y son: que se puede hacer para evitar la generación del mismo? y una vez generado que opciones existen para su adecuada gestión?

En esta sección se analiza los diferentes escenarios posibles que pueden ser aplicables a este tipo de residuo. A continuación el siguiente esquema se presenta la jerarquía en la Gestión de Residuos en general, el cual puede ser aplicado particularmente para nuestro caso:



Figura N.- 2.19 Jerarquía en la Gestión de Residuos
Fuente: U.S. Environmental Protection Agency. EPA Publication 625. Washington, D.C. 1993

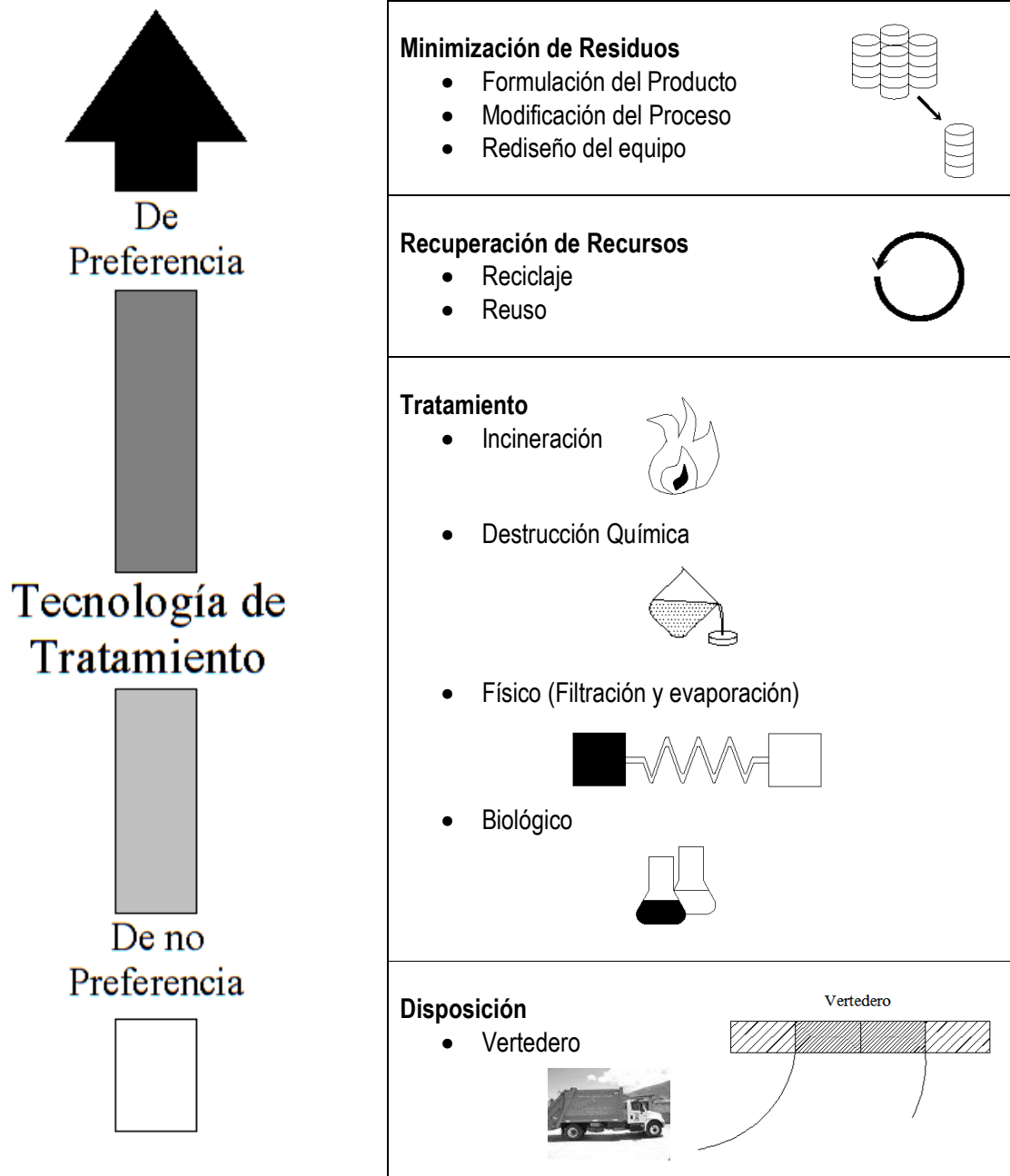


Figura N.- 2.20 Enfoque preferido para el manejo de los residuos peligrosos según la EPA de EE.UU.
Fuente: U.S. Environmental Protection Agency. EPA Publication 625. Washington, D.C. 1993

2.1.9.1 Prevención de La Contaminación y Reducción del Residuo que constituyen las pilas

Estas dos opciones que se analizaran en un conjunto, es la más importante en la jerarquía de la Gestión de este residuo, y encontramos dos actores involucrados los cuales son los productores de pilas y el consumidor.

En cuanto a la prevención de la contaminación, iniciativas como reformulación en los productos se han llevado a cabo en algunas empresas productoras de pilas en cuanto a que han aplicado mejores tecnologías con lo cual han reducido el contenido de metales pesados como mercurio, cadmio y plomo. Muchos de estos cambios se han debido a Resoluciones adoptadas por algunos países que obligan a los fabricantes ciertos requerimientos para poder comercializar sus productos, un ejemplo de una de ellas es la Resolución N° 257/99 adoptada por el Consejo Nacional de Medio Ambiente CONAMA de Brasil, la cual en su Art. 6. establece que a partir del 1 de Enero del 2001 se deben cumplir los siguientes límites para la fabricación, importación y comercialización de pilas:

- I. Hasta 0.010 % en peso de mercurio cuando fuesen del Tipo zinc-manganeso y alcalina- manganeso.
- II. Hasta 0.015 % en peso de cadmio cuando fuesen del Tipo zinc-manganeso y alcalina manganeso.
- III. Hasta 0.200 % en peso de plomo cuando fuesen del Tipo zinc-manganeso y alcalina manganeso.

Por otro lado, en cuanto a la Reducción en la Generación del Residuo muchas fuentes presentan opciones como:

2.1.9.1.1 Reducir

Tratando de evitar al máximo posible utilizar baterías para los aparatos en los cuales se puede utilizar electricidad para su funcionamiento.

2.1.9.1.2 Reusar

Utilizando baterías recargables siempre que sea posible. Es así que en los empaques de algunas marcas de pilas recargables, al consumidor se presentan esquemas o gráficos como el siguiente:

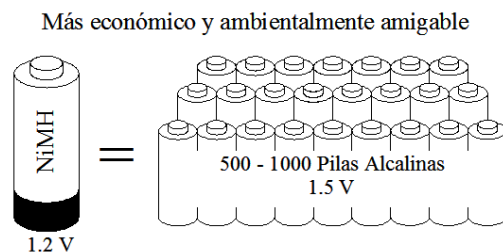


Figura N.- 2.21 Ventajas del Uso de Baterías Recargables frente a las Baterías alcalinas

Como se evidencia en la figura, los fabricantes de las pilas recargables en los empaques argumentan que su consumo es más económico, lo cual a largo plazo resulta cierto, y también que son ambientalmente amigables. Sin embargo, en los mismos empaques de las baterías recargables se advierte a los consumidores figuras como la siguiente:



Figura N.- 2.22 Símbolos en los empaques de baterías recargables

Fuente: Battery Recycling Information Sheet <http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/Batteries.htm>, 2009

Este símbolo como es obvio indica que este residuo no debe ser arrojado conjuntamente con los residuos domiciliarios, debido a la peligrosidad de los constituyentes del mismo. Con lo que se evidencia que el anuncio de que son ambientalmente más amigables se debe a que al consumir una de estas pilas recargables se evita generar el volumen equivalente de 500-1000 baterías alcalinas, más no porque estas no sean nocivas al medio ambiente.

Por otro lado, empaques de baterías alcalinas usualmente consumidas en nuestro país aseguran que estos residuos pueden ser arrojados conjuntamente con los residuos domiciliarios:



Resolución CONAMA
N° 257/99 Estas pilas
pueden ser descartadas en
los residuos domésticos

Figura N.- 2.23 Símbolos en los empaques de baterías alcalinas

Estos sellos en los empaques de baterías alcalinas se respaldan en la Resolución CONAMA N° 257/99 la cual en su Art. 13° establece que las pilas y baterías que obedezcan a los límites previstos en el artículo 6° (ver sección 2.1.9.1) podrán ser dispuestas conjuntamente con los residuos domiciliarios, en rellenos sanitarios autorizados, y en un párrafo único establece que los fabricantes e importadores deberán identificar los productos descritos en el capítulo del artículo mediante la agregación de embalajes, cuando se empaquen los productos, de un símbolo que permita al usuario distinguirlo de los demás tipos de pilas y baterías comerciales.

En los empaques de estas baterías también constan sellos en los cuales se indican que no contienen mercurio, sin embargo otras fuentes argumentan que contienen trazas de este elemento para evitar la corrosión de las mismas.

Por un lado nos aseguran que las pilas alcalinas pueden ser descartadas en los residuos domésticos, por el otro las pilas recargables y pilas botón no deberían ser descartadas en los residuos domésticos pero estas nos ahorran dinero y generan un volumen menor de residuo comparado a las anteriores, las decisiones a la hora de consumir en su mayoría están dadas a la economía y conocimiento de los consumidores.

Una progresión en la gestión de estos residuos sería contar con programas adecuados que den opciones a los consumidores para no terminar descartando baterías como las pilas secas recargables (Ni-Cd, Ni-MH, Litio), pilas botón y pilas de contrabando a los residuos domésticos, si estas no deben tener como destino final este lugar. Por ejemplo la misma Resolución CONAMA N° 257/99 de Brasil estableció disposiciones sobre la gestión en el Art. 1° en el cual se establece que las pilas y baterías que contengan en su composición plomo, cadmio, mercurio y sus compuestos necesarios para el funcionamiento de cualquier tipo de aparato, vehículo o sistema, móviles o fijos, así bien como los productos electro-electrónicos que los contengan integrados en su estructura de forma no sustituible, después de su agotamiento energético, serán entregados por los usuarios a los establecimientos que las comercializan o a la red de asistencia técnica autorizada por la respectiva industria, para el reintegro al fabricante o importadores, para que

éstos adopten directamente o por medio de terceros, los procedimientos de reutilización, reciclaje, tratamiento o disposición final ambientalmente adecuada.

De lo contrario al no haber opciones, el consumidor termina desechando este residuo en los residuos domiciliarios.

2.1.9.1.3 Reciclar

Después de las anteriores opciones de reducir y reusar, el reciclar es la opción más idónea una vez que se ha generado este residuo.

Todas las pilas recargables en sus empaques muestran el sello de que estas pueden ser recicladas, cosa que no se presenta en el empaque de las baterías alcalinas.



Figura N.- 2.24 Símbolos en los empaques de baterías recargables

2.1.9.2 Recuperación / Reciclaje

Como se dijo anteriormente es la opción más idónea, sin embargo es una opción que en nuestro país no se ha llevado a cabo al no existir plantas para dicho fin.

Son los países industrializados en su mayoría como Japón, EE.UU. los que cuentan con esta opción y recuperan los componentes del residuo como Cd, Ni, etc. Sin embargo, muchas veces enfrentan el inconveniente de que el volumen generado no es el esperado al ser las pilas un producto de consumo universal, el inconveniente también surge en que se requiere de mucho más energía tanto para la elaboración de las pilas como en su recuperación, que lo que proporciona la misma durante su vida útil. Así mismo, la energía que se consume en el proceso de recuperación de mercurio es enorme. (Revisión y análisis de las experiencias de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México respecto de los cinco elementos claves para el manejo ambiental de pilas y baterías. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/pilas/pilas.pdf>, 2009)

2.1.9.3 Tratamiento

En el manejo de los residuos peligrosos en general se lleva a cabo tecnologías de tratamiento los cuales pueden ser destrucción química, tratamiento físico (filtración y evaporación), tratamiento biológico, incineración, entre otros.

Específicamente en el caso de las pilas y baterías se conoce que en países como Brasil se lleva a cabo procesos de **incineración** no con el único propósito de realizar una destrucción térmica, sino de parte de un método de reciclaje. En el supuesto caso de que el proceso de incineración se tenga como único propósito la destrucción térmica en la gestión de este desecho, no se solucionaría el problema puesto que el subproducto serían las cenizas las cuales continuarían conteniendo los metales pesados provenientes de las pilas, y se tendrían un nuevo residuo el cual se tendría que estabilizar.

Finalmente para la recuperación de metales a partir de pilas y baterías usadas existen métodos bien estructurados para el reciclaje de baterías que contiene plomo, níquel-cadmio, hidruro de níquel y mercurio como por ejemplo las tecnologías que aplican métodos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos o combinaciones de ambos. Los procesos utilizados requieren una etapa previa de separación, dado que no existen métodos universales para todo tipo de pilas (son específicos para pilas Ni-Cd, Ni-MH, de mercurio o de litio).

Los **métodos hidrometalúrgicos** consisten en la disolución parcial total de metales en agua con ácidos o bases fuertes y extracción selectiva de metales para su uso como materia prima en la industria metalúrgica. Los procesos cuentan con sistemas de colecta, tratamiento o recuperación del mercurio que se volatiliza durante las diferentes etapas. Las etapas son: Molienda: (trituration de la masa de pilas previa selección y limpieza), Separación (tamizado que separa el polvo fino, separación magnética de materiales ferromagnéticos como la carcasa de hierro y de no ferromagnéticos como las pieza de zinc y separación neumática del papel y plástico), Lixiviación (separación de los metales en la fracción de polvos finos, mediante tratamiento ácido y posterior neutralización para separar sales metálicas, Cementación (formación de amalgama de Cd y Hg con Zn).

En los **Métodos Pirometalúrgicos** están aquellos que involucran la transformación y separación de los componentes a partir de tratamiento térmico del residuo en medio reductor (combustión con coque) y separación de metales volátiles. (MARTINEZ, 2007).

2.1.9.4 Destino final

Descargar estos residuos directamente en un vertedero es la opción menos recomendable dentro de la jerarquía de gestión de residuos, especialmente para el caso de las baterías recargables.

Cuando la tecnología para el reciclado de componentes no está disponible o involucra costos muy elevados, se utilizan procesos físico-químicos para disminuir significativamente la movilidad de los metales pesados. Estas técnicas incluyen: estabilización por agregado de agentes químicos que forman compuestos insolubles con los metales, confinamiento en envases herméticos, encapsulamiento con cemento, vitrificación a altas temperaturas, ceramización, entre otras. (MARTINEZ, 2007).

Para el caso de este estudio será la solidificación a través de la técnica de macro-encapsulación la opción de gestión en estudio que se lleve a cabo debido a que es lo que la normativa establece como se verá mas adelante y porque es una tecnología aplicable a nuestro medio, ya que el reciclaje como se indico anteriormente no es asequible en nuestro país.

2.2 ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE RESÍDUOS PELIGROSOS

2.2.1 INTRODUCCIÓN

Tanto la estabilización como la solidificación se han utilizado en la gestión de residuos peligrosos. Estas tecnologías se aplican a:

- 1) Vertederos de residuos peligrosos
- 2) Tratamiento de residuos procedentes de otros procesos de eliminación, por ejemplo: cenizas producto de tratamientos térmicos. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.2 ESTABILIZACIÓN

Es el proceso que utiliza aditivos (reactivos) los cuales se mezclan con los residuos para reducir la naturaleza peligrosa del mismo, transformando el residuo y sus constituyentes en un bloque para:

- Minimizar la velocidad de migración de los contaminantes al medio ambiente
- Reducir el nivel de toxicidad

La estabilización se realiza a través de la adición de reactivos que:

- Mejoran el manejo y las características físicas del residuo
- Disminuyen la superficie a través de la cual puede tener lugar la transferencia de contaminantes
- Limita la solubilidad de cualquier contaminante presente en el residuo
- Reduce la toxicidad de los contaminantes

Por lo tanto, la estabilización puede definirse como el proceso mediante el cual los contaminantes quedan total o parcialmente confinados por la adición de un medio soporte aglomerante u otros modificadores.

La fijación se emplea a menudo como sinónimo de estabilización. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.3 SOLIDIFICACIÓN

Es el proceso en el que se añade una cantidad suficiente de material solidificante, incluidos sólidos, a los materiales peligrosos para originar una masa solidificada. La solidificación de la masa se realiza mediante la adición de reactivos que:

- Aumentan la resistencia
- Disminuyen la compresibilidad
- Disminuyen la permeabilidad del residuo

Por lo tanto, la estabilización como la solidificación abarcan como objetivos tanto la reducción de la toxicidad y movilidad de los contaminantes del residuo como la mejora de las propiedades técnicas del material estabilizado, por tal razón el término estabilización se utiliza tanto para referirse a estabilización como para solidificación, salvo se especifique lo contrario.

Durante la estabilización, algunos contaminantes pueden destruirse como en el caso de la dechloración de hidrocarburos clorados, otros productos pueden desaparecer (literalmente) como resultado de la volatilización. De cualquier forma, la estabilización de contaminantes inorgánicos que se presentan en su forma atómica como Cadmio, Plomo y otros metales debería imitar a la naturaleza.

La estabilización y solidificación son procesos físico-químicos y son técnicas muy utilizadas en la gestión de residuos peligrosos, incluida la presentación de mecanismos, técnicas y consideraciones de diseño de la estabilización, junto con los ensayos utilizados para evaluar la eficacia del tratamiento.

La estabilización debe considerarse como un proceso de tratamiento de residuos que reduce, hasta una velocidad aceptable o geológicamente lenta, el movimiento de los contaminantes en el medio ambiente. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.4 LIXIVIACIÓN

Es el proceso mediante el cual los contaminantes se transfieren de una matriz estabilizada a un medio líquido como el agua.

Generalmente el potencial de pérdida de contaminantes de una masa estabilizada se determina mediante ensayos de lixiviación. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.5 MECANISMOS DE ESTABILIZACIÓN

Conocer y comprender los mecanismos básicos físicos y químicos que controlan la eficacia de los reactivos de estabilización permiten una correcta puesta en práctica de la estabilización como tecnología de gestión de residuos peligrosos. La

estabilización utiliza las siguientes técnicas: macro-encapsulación, micro-encapsulación, absorción, adsorción, precipitación y detoxificación. No se tratara o mencionara la absorción y adsorción debido a que no se aplica para las características y propiedades del residuo que se trata en este presente estudio. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.5.1 Micro-encapsulación

En este mecanismo los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados en el interior de la estructura de la matriz solidificada a nivel microscópico. En consecuencia, si los materiales estabilizados se degradan a partículas de tamaño relativamente pequeño, la mayor parte de residuo peligroso permanece atrapado. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.5.2 Macro-encapsulación

En este mecanismo los constituyentes del residuo peligrosos quedan atrapados físicamente en una matriz estructural de mayor tamaño, es decir los constituyentes del residuo peligroso se retienen en los poros discontinuos del material estabilizante. Si se produce la degradación física (descomposición) del material estabilizado, incluso si es en partículas de gran tamaño, los compuestos quedan libres para migrar. La masa estabilizada es susceptible de descomponerse con el tiempo (considerado a escala geológica) debido a las tensiones medioambientales. Estas tensiones incluyen los ciclos repetitivos de humectación y desecación o congelación y deshielo, penetración de fluidos de percolación y tensiones físicas de carga. Por tanto, los contaminantes estabilizados únicamente por macro-encapsulación pueden aparecer en el medio ambiente si no se conserva la integridad de la masa. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.5.3 Precipitación

Algunos procesos de estabilización precipitan los contaminantes del residuo dando lugar a una forma más estable de los constituyentes dentro del residuo. Los precipitados tales como hidróxidos, sulfuros, silicatos, carbonatos y fosfatos quedan así contenidos en la masa estabilizada como parte de la estructura del material. Este fenómeno se puede aplicar para la estabilización de residuos inorgánicos como los lodos con hidróxidos de metales. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.5.4 Detoxificación

Algunas de las reacciones químicas que tienen lugar durante el proceso de estabilización pueden originar un residuo de menor toxicidad. Por detoxificación se entiende cualquier mecanismo que modifica un constituyente químico en otro (u otra forma del mismo constituyente) no tóxico o menos tóxico.

Un ejemplo de esto es la reducción del cromo con estado de valencia +6 a cromo con valencia +3 durante la estabilización con materiales tipo cemento.

A continuación se cita a manera de ejemplo de lo que es la detoxificación: El cromo trivalente tiene una menor solubilidad y toxicidad que el cromo hexavalente. Para detoxificar el cromo se puede utilizar sistemas de fijación que reducen su valencia; el sulfato ferroso y la combinación de sulfato ferroso y sulfato sódico son efectivos en este sentido. La lixiviación del cromo reducido supone un menor riesgo para el medio ambiente que la lixiviación del cromo hexavalente inicial. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.6 Tecnología

La descripción de la tecnología de la estabilización se puede realizar mediante el estudio de distintos tipos de aditivos (reactivos) utilizados y se puede emplear más de un reactivo en cualquier proyecto de estabilización de residuos. Los reactivos que aumentan la resistencia asociada a la estabilización se denominan aglomerantes, mientras que los reactivos que principalmente retienen los contaminantes en la matriz estabilizada se denominan sorbentes. En la Tabla 2.8 se figura la eficacia los de diferentes reactivos de estabilización sobre residuos que contienen metales pesados.

Tabla N.- 2.8 Aplicación de Reactivos para la estabilización de residuos que contienen metales pesados

Componente del Residuo	Tipo Cemento	Tipo Puzolanas	Termoplásticos	Polímeros orgánicos
Metales pesados como: Pb, Cr, Cd, As, Hg	Compatible. Puede aumentar el tiempo de fraguado. Eficacia demostrada bajo determinadas condiciones ^a .	Compatible. Eficacia demostrada sobre determinados elementos (Pb, Cd, Cr) ^{bc}	Compatible. Eficacia demostrada sobre determinados elementos (Cr, As, Cr) ^b	Compatible. Eficacia demostrada con arsénico ^b .

a. Federal Register 1988; Kyles, Malinowski, y Stanczyk 1987

b. Tittlebaum y Seals 1985

c. U.S. EPA 1984

Fuente: Gestión de Residuos Tóxicos, LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996

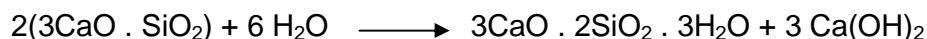
La aplicación de estos reactivos depende de distintos factores, como la concentración de contaminantes, la cantidad de reactivo y el efecto sinérgico de varios contaminantes, entre otros. De todas formas, esta información puede ser útil para una primera selección y el desarrollo de ensayos en serie. En el mercado están disponibles una amplia gama de sorbentes y aglomerantes, aquí se describen aquellos no patentados para tener una idea de lo que supone un proceso de estabilización. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.6.1 Cemento

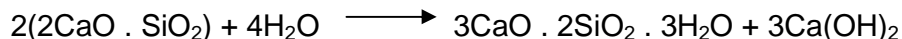
Es a menudo empleado como el principal agente en la estabilización de residuos peligrosos. El cemento más común es el cemento Pórtland.

El cemento Pórtland se obtiene por la cocción en horno a alta temperatura de una mezcla de caliza y arcilla (u otro silicato). El horno produce una escoria (clinker) que se muele a un polvo que es una mezcla de óxidos de calcio, silicato, aluminio y hierro. Los constituyentes principales son silicatos tri y dicálcicos. En la estabilización con cemento, los residuos se mezclan con el cemento, y en el caso de que el residuo no tenga agua suficiente, si fuese necesario, se añade agua para su hidratación. La hidratación del cemento origina una estructura cristalina, de alumino-silicato cálcico. Esto da lugar a una masa dura, monolítica de aspecto rocoso. El hormigón, por definición, es un compuesto formado por cemento hidratado y agregado.

En su forma más sencilla, la reacción del silicato tricálcico puede expresarse mediante la reacción:



y la reacción del silicato dicálcico mediante:



Durante la hidratación del cemento Portland tienen lugar reacciones adicionales, como muestra la Figura N.- 2.28.

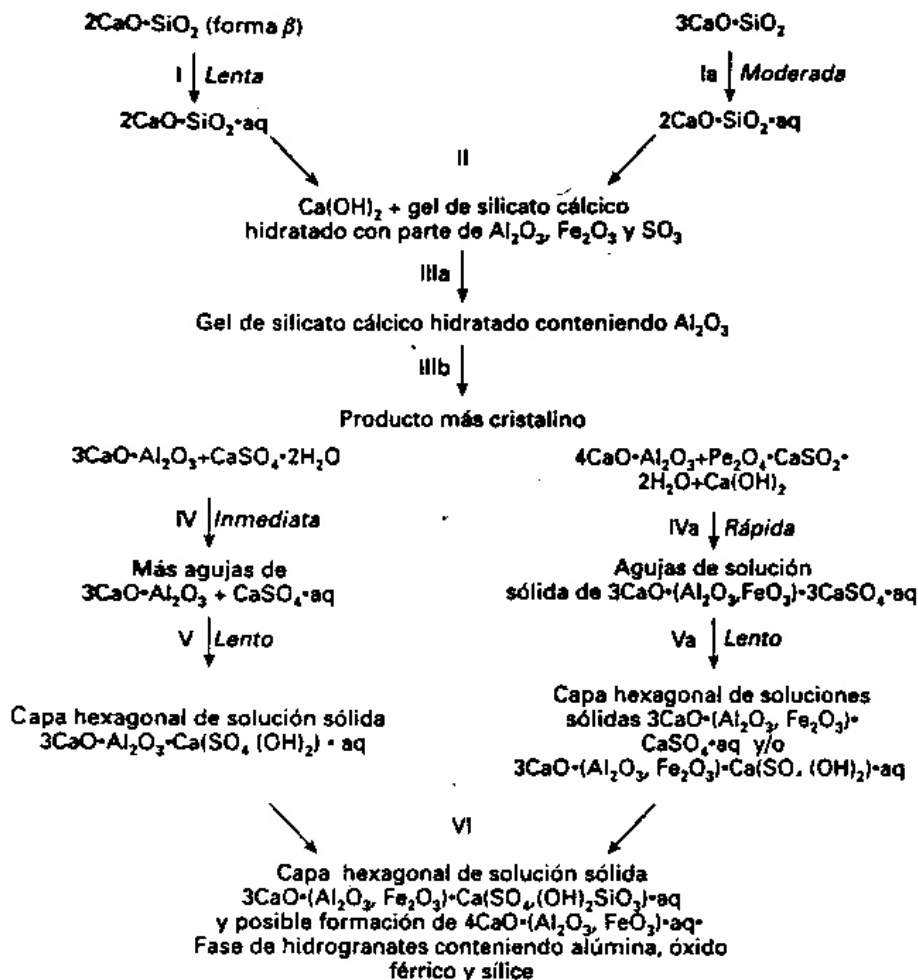


Figura N.- 2.25 Reacciones del Cemento Portland
 Fuente: Gestión de Residuos Tóxicos, LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996

El gel de silicato resultante se denomina tobermorita. Estas reacciones son bastante lentas, lo que contribuye al largo tiempo de curación asociado a los hormigones de cemento portland.

La reacción más rápida en el cemento portland es la siguiente:



Esta reacción proporciona al cemento Portland su fraguado inicial. En la Figura N.- 2.29 se muestra una representación esquemática de esta reacción.

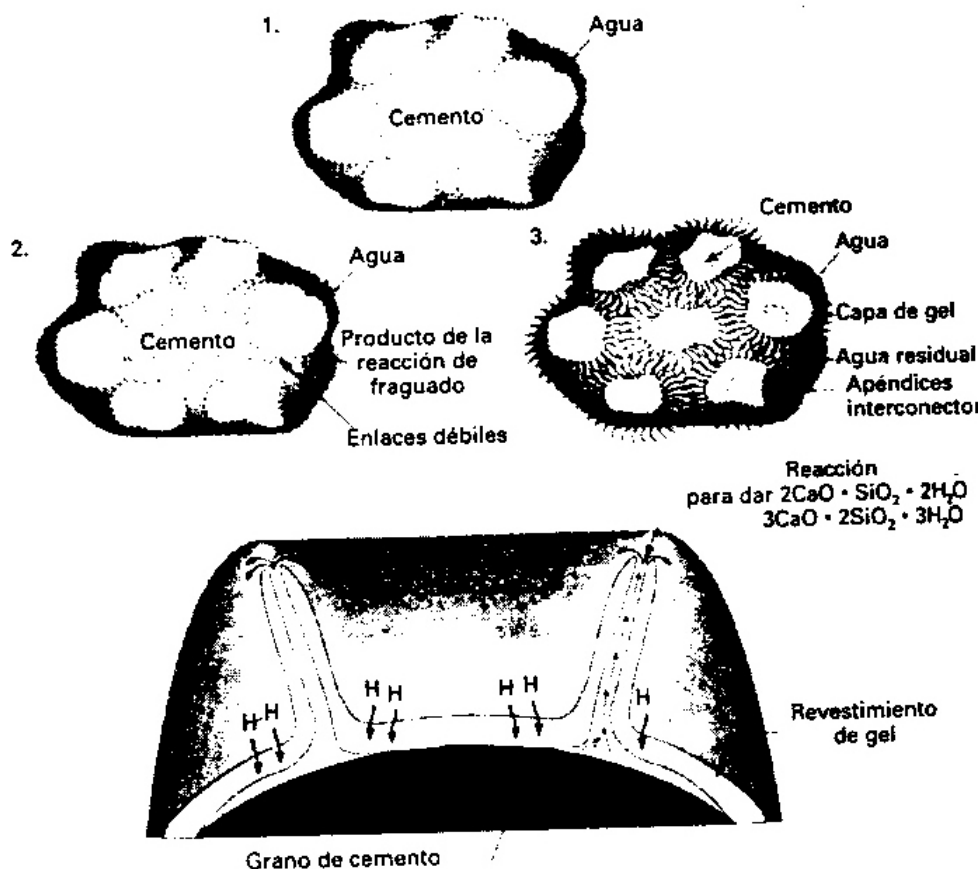


Figura N.-2.29 Representación esquemática de la hidratación del cemento
Fuente: Gestión de Residuos Tóxicos, LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996

La estabilización con cemento se adapta mejor a residuos inorgánicos, especialmente aquellos que contienen metales pesados. Como resultado del elevado pH del cemento, los metales son retenidos como hidróxidos insolubles o carbonatos de estructura endurecida.

Los estudios muestran que el plomo, cobre, zinc, estaño y cadmio probablemente se unen a la matriz por fijación química, formando compuestos insolubles, mientras que el mercurio es retenido de manera predominante por micro-encapsulación física.

Es difícil determinar con precisión dónde va a reaccionar un contaminante específico dentro de la matriz estabilizada con cemento. En un estudio sobre las uniones químicas de los residuos peligrosos en cemento se analizaron las localizaciones de los metales pesados plomo y cromo. Los resultados mostraron que el plomo precipitaba en la superficie exterior de las partículas del cemento

hidratado, mientras que el cromo se dispersaba de manera más amplia y uniforme a través de las partículas de cemento hidratado.

La estabilización con cemento muestra un futuro prometedor y una importante utilización en la fijación de residuos inorgánicos. El amplio uso de la estabilización de compuestos inorgánicos se debe a:

- 1) la ausencia de mejores alternativas (por ejemplo, los metales no se biodegradan ni varían su estructura atómica al ser incinerados)
- 2) conocimiento y disponibilidad de mecanismos físico-químicos, como la precipitación y adsorción.

La estabilización con cemento presenta una serie de ventajas. La tecnología del cemento es bien conocida incluido el manejo, mezcla, fraguado y endurecimiento. El cemento es muy utilizado en el campo de la construcción, por lo que el coste del material es relativamente bajo y el equipo y personal están fácilmente disponibles. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.6.2 Puzolanas

Las puzolanas son un material que reacciona con la cal en presencia de agua para producir un material de cementación. La reacción de material aluminosilíceo, cal y agua da lugar a la formación de un producto del tipo del hormigón denominado puzolánico. Entre los materiales puzolánicos se encuentran las cenizas volantes, escorias de incineración y polvo de hornos de cemento. Las estructuras puzolánicas resultantes se denominan aluminosilicatos amorfos. Las cenizas volantes, la puzolana más comúnmente empleada tiene una composición característica de 45 por 100 SiO_2 , 25 por 100 Al_2O_3 , 15 por 100 Fe_2O_3 , 10 por 100 CaO , 1 por 100 MgO , 1 por 100 K_2O , 1 por 100 Na_2O y 1 por 100 SO_3 . Además, la cantidad de carbono no calcinado varía según el origen.

Al igual que la estabilización con cemento, la mayoría de las aplicaciones de la estabilización con puzolanas es para material inorgánico. El medio de alto pH es adecuado para residuos contaminados con metales pesados. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.2.6.3 Silicatos Solubles

El uso de compuestos silíceos en la estabilización de metales se utiliza desde hace mucho tiempo en procesos comerciales a gran escala. En algunos de estos procesos, los reactivos de sílice se acidifican para dar lugar a una solución monosilíceica ácida a la que se añaden los residuos con metales. En otros, la combinación de silicatos líquidos solubles y cemento forman la base del proceso, el cual ha demostrado ser efectivo en la estabilización de suelos contaminados con altas concentraciones de plomo, cobre y zinc. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.3 EFICACIA DE LOS PROCESOS DE ESTABILIZACIÓN

Cuando un residuo es estabilizado surge la interrogante de cómo puede medirse la eficacia del proceso de estabilización y solidificación? y otras como qué resistencia debe tener un material solidificado?, qué significa que un residuo esté estabilizado y solidificado?, a qué velocidad pueden lixiviarse los contaminantes de un material estabilizado?. Son complejas las respuestas a todas estas interrogantes.

La evaluación de la eficacia de la estabilización necesita valorar las propiedades físicas, técnicas y químicas del material estabilizado.

Resulta muy difícil predecir las tensiones ambientales a largo plazo a las que se verán sometidos los materiales estabilizados (humectación y desecación, percolación de la precipitación y presiones debido a las cargas superpuestas.

Por tanto, si no se pueden predecir con exactitud las presiones ambientales, no pueden simularse en el laboratorio, incluso si esta gran variedad de tensiones pudieran predecirse, resulta imposible simularlas en un laboratorio. Debido a estos problemas, se utilizan una gran cantidad de ensayos de laboratorio para evaluar la eficacia de la estabilización. No existe un ensayo modelo para todos los residuos y aplicaciones, cada uno de ellos proporciona una visión parcial de la eficacia de una técnica de estabilización. La elección de los ensayos apropiados y la interpretación de los resultados dependen de los objetivos del programa de estabilización. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.3.1 ENSAYOS DE EFICACIA DE LA ESTABILIZACIÓN

2.3.1.1 Ensayo de Extracción y Lixiviación

En la mayoría de los casos, la primera y principal razón para elegir la estabilización y solidificación como técnica de gestión de residuos peligrosos es la reducción de la velocidad a la que pueden migrar los contaminantes al medio.

Como la precipitación se infiltra en el residuo estabilizado, los contaminantes migran de la masa estabilizada al agua (medio de transporte) y continúan su camino hacia el medio ambiente, sin embargo, a corto plazo (geológicamente hablando) se toman las medidas necesarias para minimizar la infiltración de la precipitación y recoger el lixiviado antes de su liberación al medio circundante.

El fluido al cual son lixiviados los contaminados se denomina lixivante, después de que el lixivante se ha contaminado se denomina lixiviado. Los términos extracción y lixiviación se usan indistintamente y, como se definió anteriormente, son el proceso por el que los contaminantes son transferidos de una matriz sólida o estabilizada al lixivante. La capacidad de un material estabilizado para lixiviar contaminantes se denomina lixivabilidad.

Los compuestos de una masa estabilizada se lixivian cuando los contaminantes de la muestra pasan de la masa estabilizada al lixivante. Los contaminantes pueden disolverse en el lixivante al ser lavados de la superficie del material estabilizado o difundirse desde la masa estabilizada al lixivante. Por tanto, la lixivabilidad depende de las propiedades físicas y químicas, tanto del material estabilizado como del lixivante. Los estudios muestran que los principales factores que afectan la lixivabilidad son la alcalinidad del producto estabilizado, la relación superficie-volumen del residuo y la tortuosidad, la medida de la longitud del camino para la difusión.

El método de ensayo afecta la lixivabilidad de la muestra. Concretamente, existe un número de variables de ensayo que afectan la concentración de contaminante en el lixiviado:

- Relación lixivante-residuo
- Superficie del residuo (por ejemplo, triturar la masa estabilizada a pequeñas partículas)

- Tipo de lixiviante (por ejemplo, agua destilada, ácido acético, lluvia ácida simulada)
- pH del lixiviante
- Tiempo de contacto
- Tiempo de agitación
- Número de reposiciones con lixiviante nuevo
- Recipiente de extracción
- Temperatura

2.3.1.1.1 Características de toxicidad, procedimiento de lixiviación (TCLP)

Este ensayo se utiliza para caracterizar a un residuo como peligroso y también para evaluar la eficacia de la estabilización. En este método de ensayo, el material estabilizado se tritura para obtener partículas inferiores a 9,5 mm. El material triturado se mezcla con el líquido de extracción de ácido acético débil, con una relación en peso líquido-sólido 20:1, y se agita en un extractor rotativo durante 18 horas a 30 rpm y 22 °C. Después de 18 horas de agitación, la muestra se filtra a través de un filtro de fibra de vidrio de 0,6-0,8 micras y se denomina al filtrado como extracto TCLP. Este extracto se analiza en busca de una amplia variedad de constituyentes de residuos peligrosos, entre ellos compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles, metales y plaguicidas como se muestra en la Tabla N.- 3.1 (Cap. 3 Sección 3.2.1.1.4)

Este ensayo es normalizado, sin embargo ha recibido críticas en relación con su utilización para la evaluación de la estabilización por diversas razones, primero, la masa monolítica solidificada se rompe para atravesar el tamiz de 9,5 mm reduciéndose los efectos beneficiosos relacionados con la macro encapsulación y micro encapsulación. Se ha demostrado que al disminuir el tamaño de partícula, aumenta la lixivabilidad. Además, el bajo pH del medio durante el proceso de extracción no es representativo de las condiciones de campo reales aunque pueda ser representativa de un vertedero con basura doméstica. Por tanto, sus defensores argumentan que estas condiciones tan severas conducen a resultados prudentes. Sin embargo, un material estabilizado con alcalinidad alta, como en el caso de la estabilización con cemento, puede aumentar el pH del lixiviante rápidamente y dar como resultado una lixiviación bajo condiciones básicas y no

ácidas. A pesar de sus críticas, el TCLP se utiliza para evaluar la eficacia de un proceso de estabilización. (LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996)

2.3.1.2 Ensayos de Propiedades Físicas y Técnicas

Para evaluar la integridad física y las propiedades técnicas de resistencia de los materiales estabilizados se han adaptado una serie de ensayos del área de ingeniería civil. Entre estos tenemos:

Tabla N.- 2.9 Ensayos de propiedades físicas, técnicas y durabilidad

Propiedad	Objetivo
<p><i>Propiedades Físicas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Contenido de Humedad (ASTM D2216) - Densidad másica seca y húmeda (Peso unitario) - Peso específico - Límites de Atterberg - Granulometría - Índice de cono de laboratorio (ASTM D3441) - Penetrómetro de campo - Examen de microestructura mediante: difracción de rayos X, microscopía electrónica - Velocidad de fraguado - Formación de sobrenadante durante curación 	<p>Cálculos de fases (saturación, relación de huecos)</p> <p>Cálculos de tensión y volumen</p> <p>Cálculos de fases (saturación, relación de huecos)</p> <p>Correlacionado con las propiedades técnicas</p> <p>Parámetro de clasificación (distingue entre arena, limo y arcilla)</p> <p>Resistencia de la mezcla</p> <p>Resistencia de la mezcla</p> <p>Cristalización</p> <p>Líquido en exceso</p>
<p><i>Propiedades Técnicas</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Resistencia - Compresibilidad - Permeabilidad 	<p>Análisis de estabilidad</p> <p>Análisis de asentamiento</p> <p>Cálculos de flujo y transporte</p>
<p><i>Propiedades de durabilidad</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Húmedo/seco - Hielo/deshielo 	<p>Integridad a largo plazo</p> <p>Integridad a largo plazo</p>

Fuente: Gestión de Residuos Tóxicos, LA GREGA, BUCKINGHAM, EVANS, 1996

Más adelante en los capítulos 3 y 4 se tratará los ensayos de propiedades físicas y técnicas adoptados para nuestro caso de solidificación.

2.4 NORMATIVAS PARA RESÍDUOS PELIGROSOS

2.4.1 ÁMBITO INTERNACIONAL

2.4.1.1 Tratados Internacionales

Los convenios o tratados internacionales una vez promulgados en el Registro Oficial forman parte del ordenamiento jurídico y nacional y de conformidad con lo que establece la constitución prevalecen sobre las leyes:

2.4.1.1.1 Convenio de Basilea (R.O. 432 de 3 de mayo de 1994)

Convenio sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de Desechos Peligrosos y sus Eliminación; fue establecido en Basilea, Suiza en 1989. Establece las obligaciones para reducir los movimientos transfronterizos de desperdicios; minimizar la cantidad y toxicidad de los desechos peligrosos generados, y asegurar su manejo desde el punto de vista ambiental; asistir a los países en desarrollo a un manejo sano de los desperdicios peligrosos. (AGUILUZ LIZLY, TORRES MARIELA, 2006).

Por medio de este convenio, también se norma la importación y exportación de los desechos peligrosos (aceites, pilas, baterías, envases de plaguicidas.) y su eliminación entre los países suscriptores del convenio, así como los que no son parte de convenio.

En este Convenio se definen y señalan claramente una serie de principios, términos, procedimientos, responsabilidades, y condiciones que se hacen perentorias para efectuar un Movimiento Transfronterizo de Desechos Peligrosos, que no solo son recogidos y utilizados para concretar una operación puntual de exportación, si no una serie de legislaciones relativas al manejo de residuos.

Este convenio se modificó a través de la Enmienda adoptada en la tercera reunión de la Conferencia de las Partes en Ginebra, el 22 de septiembre de 1995, enmienda que se publicó en R.O. 276 del 16 de marzo de 1998.

Suscripción, Ratificación y Aprobación.

El presente convenio fue suscrito por la República del Ecuador el 22 de Marzo de 1989, aprobado por el Congreso Nacional, mediante Decreto Legislativo, publicado en registro Oficial No. 128 de 12 de febrero de 1993, se ratificó por el Presidente de

la República por Decreto Ejecutivo No. 478 publicado en Registro Oficial No. 130 de 16 de febrero de 1993. (Análisis y revisión de las experiencias de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México respecto de los cinco elementos claves para el manejo ambiental de Pilas y Baterías, <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/pilas/pilas.pdf>, 2009)

2.4.2 ÁMBITO NACIONAL

2.4.2.1 Constitución Política del Ecuador

Establece una obligatoriedad de contar con una normativa sobre el tratamiento de desechos peligrosos.

2.4.2.2 Ley de Gestión Ambiental

La Normativa no tiene especificaciones respecto al tratamiento de los desechos peligrosos.

2.4.2.3 Ley de la Prevención y Control de la Contaminación

La Normativa no tiene especificaciones respecto al tratamiento de los desechos peligrosos.

2.4.2.4 Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria

En el Libro VI de la Calidad Ambiental, título V para la prevención y control de la Contaminación para desechos peligrosos.

2.4.3 Ámbito Local

2.4.3.1 Ordenanza 213 para el DMQ

La Ordenanza 213 para el Distrito Metropolitano de Quito a través de la Resolución 002 en el Artículo 11. establece la Norma Técnica para Residuos Peligrosos (Industriales y Domésticos). Las disposiciones de esta Norma en cuanto a pilas y baterías serán analizadas en el Capítulo 3 y 4.

Comentario:

En vista de que en el Ecuador no se ha desarrollado ninguna regulación específica respecto a **requerimientos sobre pilas**, el importador se ajusta fundamentalmente a la oferta del mercado internacional. Por lo antes expuesto, en lo que se refiere a la composición interior de las pilas, el Ecuador depende de las políticas

ambientales adoptadas por los países productores y proveedores. Son importantes para el Ecuador, las resoluciones adoptadas en dichos países. Se conoce por ejemplo, que en los Estados Unidos de Norteamérica, el 13 de mayo de 1996, se estableció el Acta para baterías "Battery Act", mediante el cual se prohíbe en los Estados Unidos la venta de cierto tipo de baterías (ejemplo: alcalinas-manganeso; zinc-carbón, botones de óxido de mercurio y otros tipos de óxido de mercurio). Este país reconoce además como residuos peligrosos a aquellos cuya composición es Ni-Cd. Sin embargo, mientras no exista ninguna regulación específica en el Ecuador respecto a requerimientos sobre pilas y baterías, se corre el riesgo de que los países proveedores mantengan regulaciones estrictas únicamente para el consumo de los productos dentro de su país.

2.4.3.1.1 Resolución 002 de la Norma Técnica de la Ordenanza 213 del DMQ

La resolución 002 de la Norma Técnica de la Ordenanza 213 del DMQ en el Art. 11 establece la Norma Técnica para los residuos peligrosos (Industriales y domésticos), la cual tiene como objetivo definir la gestión de los residuos peligrosos de acuerdo a la clasificación a través de una descripción cualitativa por medio de listas que indican el tipo, origen y componentes del residuo, la misma que se aplica a todos los establecimientos públicos o privados que generan residuos peligrosos.

- Definición de Residuo Doméstico Peligroso

Esta norma define a los **residuos domésticos peligrosos** como aquellos que por su característica física o química como corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o de riesgo biológico, puedan causar daños al ser humano y/o al medio ambiente. Algunos de estos materiales son: pilas, baterías, residuos de aceite de motor, residuos de combustibles, latas de barnices y pinturas, residuos de envases de insecticidas, destapa caños, desinfectantes, lámparas fluorescentes, medicamentos caducados, entre otros.

A continuación se definen detalladamente cada una de las características químicas nombradas anteriormente:

- *Corrosividad (C)*

Se caracteriza a un residuo como corrosivo, si una muestra representativa, presenta una de las siguientes propiedades:

- 1) Sea acuosa y representa un $\text{pH} \leq 2$ o $\text{pH} \geq 12,5$; o su mezcla con agua en una proporción 1:1 en peso, produzca una solución que presente un $\text{pH} < 2$ o un $\text{pH} \geq 12,5$.
- 2) Sea líquida, o cuando este mezclada en peso equivalente de agua, produzca un líquido y corroa el acero (SAE 1020) a una razón mayor a 6,35 mm / año a una temperatura de 55 °C, de acuerdo al método NACE, Standard TM-01-693¹ o equivalente.

- *Reactividad (R)*

Se caracteriza a un residuo como reactivo, si una muestra representativa presente una de las siguientes propiedades:

- Sea normalmente inestable y reaccione de forma violenta o inmediata, sin detonar.
- Reaccione violentamente con el agua.
- Genere gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud o al medio ambiente, cuando son mezclados con agua.
- Posea en su constitución cianuros o sulfuros, que pueda por reacción, liberar gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo la salud humana o al ambiente.
- Sea capaz de producir reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo, acción catalítica o de la temperatura en ambientes confinados.

- *Explosividad (E)*

Se caracteriza a un residuo como explosivo, si una muestra representativa presente una de las siguientes propiedades:

- Forme mezclas potencialmente explosivas con el agua
- Sea capaz de producir rápidamente, reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y 1 atm

- Sea explosivo, definido como sustancia fabricada para producir un resultado práctico, a través de explosión o de efecto pirotécnico, éste o no esta sustancia contenida en un dispositivo para tal fin

- *Toxicidad (T)*

Se caracteriza a un residuo como tóxico, si una muestra representativa presenta una de las siguientes características y propiedades:

- Cuando el extracto obtenido de una muestra de lixiviación de desechos, contenga cualquiera de los contaminantes en concentraciones superiores a los valores constantes en la siguiente Tabla N.- 3.1

TABLA 2.9 CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE CONTAMINANTES DE ACUERDO CON LA CARACTERÍSTICA DE TOXICIDAD (PRUEBA DE LIXIVIACIÓN)

CONTAMINANTE	LIMITE MÁXIMO (mg/l)	CONTAMINANTE	LIMITE MÁXIMO (mg/l)
Arsénico	5,0	Hexaclorobenzeno	0,13
Bario	100,0	Hexaclorobutadieno	0,5
Benceno	0,5	Hexacloroetano	3,0
Cadmio	1,0	Lindano	0,4
Clordano	0,03	Mercurio	0,2
Cloruro de Vinilo	0,02	Metiletilcetona	200,0
Clorobenzeno	100,0	Metoxicloro	10,0
Cloroformo	6,0	Nitrobenzono	2,0
o-Cresol	200,0	Pentaclorofenol	100,0
m-Cresol	200,0	Piridina	5,0
p-Cresol	200,0	Plata	5,0
Cresol	200,0	Plomo	5,0
Cromo	5,0	Selenio	1,0
1,4-Diclorobenzeno	7,5	Tetracloruro de carbono	0,5
1,2-Dicloroetano	0,5	Tetracloroetileno	0,7
1,1-Dicloroetileno	0,7	Toxafeno	0,5
2,4-Dinitrotolueno	0,13	2, 4, 5-TP (Silvex)	1,0
2,4-D	10,0	Tricloroetileno	0,5
Endrin	0,02	2,4,6-Triclorofenol	2,0
Heptacloro y su epóxido			0,008

Nota: Parámetros basados en W.H.O. – Guideline for Drinking Water Quality - Vol. 1 -Recommendations - Geneva – 1984.

- Cuando contenga una de las sustancias consideradas tóxicas persistentes y bioacumulativas –Tablas 3.2 y 3.3, en concentraciones, en miligramos por kilogramo del desecho, superior a las concentraciones límites establecidas.

Tabla N.- 2.10 Sustancias Tóxicas Inorgánicas Bioacumulativas y Persistentes

Sustancias	Carga Límite Tolerable (CLT) [mg/Kg] en base seca
Antimonio y sus compuestos	1.000,0
Arsénico y sus compuestos	1.000,0
Asbestos (sujeto a verificación)	1%
Bario y sus compuestos (excepto barita)	20.000,0
Berilio y sus compuestos	150,0
Cadmio y sus compuestos	200,0
Cobalto y sus compuestos	16.000,0
Cobre y sus compuestos	5.000,0
Cromo hexavalente y sus compuestos	1.000,0
Cromo trivalente y sus compuestos	5.000,0
Mercurio y sus compuestos	40,0
Molibdeno y sus compuestos	7.000,0
Níquel y sus compuestos	4.000,0
Plata y sus compuestos	1.000,0
Selenio y sus compuestos	200,0
Talio y sus compuestos	1.400,0
Vanadio y sus compuestos	4.800,0
Zinc y sus compuestos	10.000,0

Fuente: Asociación Brasileña de Normas Técnicas -ABNT -Rev.NBR 10,004

Tabla N.- 2.11 SUBSTANCIAS TÓXICAS ORGÁNICAS BIOACUMULATIVAS Y PERSISTENTES.

SUSTANCIAS	CLT mg/kg en Base Seca
Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	100,00
Aldrin	1,40
Plomo, compuestos orgánicos	13,00
Clordano	2,50
DDT, DDE, DDD	1,00
Dieldrin	8,00
Dioxina (2,3,7,8-TCDD)	0,01
Endrin	0,20
Heptacloro	4,70
Kepone	21,00
Lindano	4,00
Metoxicloro	100,00
Mirex	21,00
Pentaclorofenol	17,00
PCB's	50,00
Toxafeno	5,00
Tricloroetileno	2040,00

Fuente: Asociación Brasileña de Normas Técnicas - ABNT - Rev. NBR 10.004

- *Inflamabilidad (I)*

Un residuo será caracterizado como inflamable una vez que una muestra representativa presente cualquiera de las siguientes propiedades:

- Sea líquida y tenga punto de ignición inferior a 60 °C, determinado conforme INEN 1047, a excepción de las soluciones acuosas con menos de 24% de alcohol en volumen
- No sea líquida y capaz de, bajo condiciones de temperatura y presión de 25 °C y 1 atm, producir fuego por fricción, absorción de humedad o por alteraciones químicas espontáneas y; cuando esta inflamada quema vigorosa y persistentemente, dificultando la extinción del fuego
- Sea un oxidante definido como sustancia que puede liberar oxígeno y; como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad de fuego en otro material.

- *Patogenicidad (Biológico-Infecioso)*

Un residuo presenta un riesgo biológico infeccioso cuando contiene patógenos en cantidad o concentración suficiente para producir enfermedades. En la Tabla 3.4 se establecen los criterios técnicos para determinar si un residuo es biológico infeccioso.

Tabla 2.12 Criterios microbiológicos para no caracterizar a un residuo biológico como peligrosos

Parámetro	Concentración máxima permitida
Coliformes fecales	Media Geométrica de 7 muestras $\leq 2 \times 10^6$ NMP o UFC/g ST
Huevos de Helminos(*)	15/g
Salmonella sp(*)	10^3 /g

Fuente: Resolución 002 Norma Técnica de la Ordenanza 149 del DMQ

(*) si se cumple el límite de coliformes fecales, no es necesario analizar este parámetro

NMP: número más probable

UFC: unidades formadoras de colonias

ST: sólidos totales

- *Disposiciones Generales*

La Norma Técnica a más de la definición de residuos domésticos peligrosos establece disposiciones generales en donde se señala la descripción de los desechos ya considerados como peligrosos (tanto industriales como domésticos), su fuente de generación, estado físico y tratamiento que se debe dar a cada uno de ellos.

Además otra disposición de la norma establece que para no considerar a un residuo como peligroso el generador debe aplicar los criterios de corrosividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o patogenicidad (biológico-infeccioso) y cumplir con las concentraciones máximas por contaminantes determinadas en las tablas 2.9, 2.10 y 2.11.

CAPITULO 3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1 CLASIFICACIÓN DEL RESIDUO POR TIPO Y COMPOSICIÓN

Las pilas recolectadas fueron clasificadas por su reversibilidad en el proceso de generación es decir en primarias y secundarias y a su vez por su forma física y tamaño. No se realizó una subclasificación de pilas alcalinas en sus diversos tipos puesto que en su rotulación muy pocas anuncian el tipo de pila alcalina a la que corresponden, mientras que en el caso de las secundarias si fue posible clasificarlas en sus distintos tipos. El objetivo de esta clasificación es conocer los porcentajes de los tipos de pilas más consumidos para tener una tendencia. En la Sección 4.1 se presentan los resultados.

3.2 CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

3.2.1 NORMATIVA VIGENTE

De acuerdo a lo que establece la resolución 002 de la Norma Técnica de la Ordenanza 213 del DMQ en el Art. 11 la para los residuos peligrosos (Industriales y domésticos), en el presente proyecto de Titulación se aplicarán estos criterios para caracterizar al residuo que constituyen las pilas.

En primera instancia se aplicará el criterio de la disposición general señalando la descripción en la cual se establece a las pilas como un residuo doméstico peligroso, su fuente de generación, estado físico y tratamiento que se debe dar como se puede apreciar en el Cap. 4 Sección 4.2.1.1.

Posteriormente, se aplicará el criterio de toxicidad (ver sección 2.4.3.1.1) establecido en las definiciones de la normativa. No se aplicará los otros criterios de corrosividad, explosividad, inflamabilidad, patogenicidad (biológico-infeccioso) para caracterizar el residuo por dos razones: la primera porque la normativa caracteriza a las pilas como residuo doméstico peligroso por el criterio de toxicidad como se puede apreciar en el Capítulo 4 Sección 4.2.2.

La segunda razón es debido a que según estudios realizados por organismos de la Armada de los Estudios Unidos (Proact y Martín Marieta Study Inc. 1992) las pilas

no presentan las características de corrosividad e inflamabilidad establecidas para caracterizar a los residuos como peligrosos. (AGUILUZ LIZLY, TORRES MARIELA, 2006).

Sin embargo, tanto los empaques como en las pilas se advierte que no se las instale al revés, cargue (si estas no son recargables), ponga en fuego porque pueden explotar o producir fugas de sus componentes. Es decir al no cumplir las advertencias si podrían ser inflamables.

3.2.2 CRITERIO DE TOXICIDAD PARA CARACTERIZAR A UN RESIDUO COMO PELIGROSO

3.2.2.1 Prueba de Lixiviación

Las características de toxicidad, procedimiento de lixiviación TCLP (Toxicity Characteristic Leaching Procedure) es un ensayo normalizado adoptado por la EPA de los EE.UU. desde el 7 de noviembre de 1986.

Este ensayo es utilizado tanto para caracterizar a un residuo como peligroso por el criterio de toxicidad como para evaluar la eficacia de un proceso de estabilización.

El ensayo simula la acción de los ácidos orgánicos que deberían formarse por la descomposición de los residuos domésticos en un relleno sanitario.

El método consiste en triturar el residuo o material estabilizado para obtener partículas inferiores a 9,5 *mm*. El material triturado se mezcla con el líquido de extracción de ácido acético a un pH de 4,5 con una relación líquido-sólido 20:1, y se agita en un extractor rotativo durante 18-24 horas a 30 *rpm* y 22 °C. El extracto de la prueba de lixiviación se analiza en busca de constituyentes peligrosos (en nuestro caso metales pesados) para identificar si los mismos o uno de los mismos superan los valores de la norma.

3.2.2.1.1 Parámetros de la Prueba de Lixiviación

En nuestro caso de estudio la prueba de lixiviación se realiza a una replica de la muestra representativa de pilas a ser encapsuladas (Ver Anexo 1). Debido a que la solidificación del residuo se trata de una técnica de macro encapsulación y no micro-encapsulación como en el caso de estabilización de cenizas o escorias, debido al tamaño mismo del residuo, la prueba de lixiviación se llevará a cabo sin trituración. La idea es que el proceso se asemeje a la realidad en un relleno o vertedero.

Se utilizará una bomba peristáltica, la cual suministrará una adecuada velocidad de chorro y densidad de potencia, para asegurar un grado de mezcla y turbulencia en el líquido de extracción (lixivante) durante la prueba, en reemplazo a la agitación de un extractor rotativo a 30 rpm. La razón se debe a que el extractor disponible en el Laboratorio tiene una capacidad máxima de 10 Kg. y en nuestro caso el peso del residuo y del líquido de extracción supera esta capacidad.

Para el cálculo de la densidad de potencia adecuada se utilizarán las siguientes fórmulas (MUÑOZ, 2009):

$$Dp = \frac{Q \times hv \times \gamma}{V_{H_2O}} \times 9.8 \quad (1)$$

Donde:

Dp = Densidad de potencia [watt/m³]

Q = caudal [l/s]

hv = carga de velocidad [m]

γ = peso específico del agua [kg/l]

V_{H_2O} = volumen del agua [m³]

$$hv = \frac{v^2_{chorro}}{2g} \quad (2)$$

v = velocidad del chorro [m/s]

g = aceleración de la gravedad 9,8 [m/s²]

$$v_{chorro} = \frac{Q}{A_{tubería}} \quad (3)$$

Q = caudal [m³/s]

A = área de la tubería [m²]

3.2.2.2 Análisis de Metales Pesados

Posterior a la prueba de lixiviación se procederá al análisis del contenido de metales pesados (Ag, Cd, Co, Cr, Ni, Pb, Zn, Mn, Hg) determinados en la parte líquida de agua lixiviada en un medio ácido mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica.

Los resultados de la prueba serán comparados los valores de la Tabla 3.1 Concentración Máxima de contaminantes de acuerdo con la característica de

Toxicidad (Prueba de Lixiviación), en los parámetros de metales pesados. Si uno de estos parámetros supera la norma se caracterizará al residuo una vez más como peligroso.



Fig. 3.1 Espectrofotómetro de Absorción Atómica
Fuente: Departamento de Metalurgia Extractiva. EPN

Las lecturas de Absorción Atómica deben ser desarrolladas por un Ingeniero Químico y en un Laboratorio que cuente con la tecnología adecuada, por lo cual el análisis se realiza en el Laboratorio del Departamento de Metalurgia Extractiva de la EPN.

A continuación se presenta una breve descripción del método a ser aplicado:

La espectroscopía de absorción atómica (a menudo llamada AA) es un método instrumental de la química analítica que determina una gran variedad de elementos al estado fundamental como analitos.

Es un método instrumental que está basado en la atomización del analito en la matriz líquida y que utiliza comúnmente un nebulizador pre-quemador (o cámara de nebulización) para crear una niebla de la muestra y un quemador con forma de ranura que da una llama con un longitud de trayecto más larga.

La temperatura de la llama es lo bastante baja para que la llama de por sí no excite los átomos de la muestra de su estado fundamental. El nebulizador y la llama se utilizan para desolvatar y atomizar la muestra, pero la excitación de los átomos del analito es hecha por el uso de lámparas que brillan a través de la llama a diversas longitudes de onda para cada tipo de analito.

En la absorción atómica, la cantidad de luz absorbida después de pasar a través de la llama determina la cantidad de analito en la muestra. Una mufla de grafito para calentar la muestra a fin de desolvatarla y atomizarla se utiliza comúnmente hoy en día para aumentar la sensibilidad y selectividad, este sigue siendo un método de análisis comúnmente usado para ciertos elementos traza en muestras acuosas (y otros líquidos).

El espectrofotómetro de absorción atómica envía curvas de concentración, de un elemento a la vez, a una computadora. Esta curva es comparada con una curva característica y así se determina el contenido del elemento en la parte líquida de agua lixiviada en un medio ácido. (Espectroscopía de Absorción atómica, http://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica, 2008).

3.3 PROPUESTA DE ENCAPSULAMIENTO

Partiendo de lo citado en la sección 1.1 en cuanto a que la estabilización y/o solidificación se ha utilizado ampliamente en la estabilización de residuos peligrosos y al conocer que las pilas se constituyen en un residuo doméstico peligroso, y también siendo el cemento un reactivo de estabilización compatible con residuos que contienen metales pesados (ver tabla N.- 2.8), se escoge esta tecnología para nuestro proceso de estabilización.

En primera instancia la idea es aplicar esta tecnología por medio de la técnica de macro encapsulación debido al tamaño del residuo, elaborando testigos de dimensiones y peso que puedan ser manipulados manualmente y que en su interior contengan el residuo.

Como el cemento constituiría el reactivo conglomerante que posee una resistencia mínima pero no aporta una función resistente, se lo combinará con agregados o áridos (arena y grava), lo cual se denomina hormigón para obtener testigos con función uniforme y resistente. Las proporciones utilizadas estarán de acuerdo con

la resistencia mínima que se elija alcanzar. El interior del testigo estará constituido por una celda conteniendo el residuo, con una pared de cinco centímetros de hormigón en el todo el contorno del testigo. Se pretende realizar estos testigos con estructuras de varilla, es decir hormigón armado debido a que esto le agregaría función resistente ya que la celda conteniendo el residuo le restaría resistencia al bloque porque el sitio que ocupa desplazaría hormigón que en este volumen se podría contener.

Adicionalmente se elaborará tres probetas conteniendo únicamente hormigón de cada propuesta de encapsulamiento, estas probetas son cilíndricas de dimensiones 10 cm de diámetro y 5 cm de altura aproximadamente. Serán elaboradas para en los posteriores ensayos evaluar la calidad del hormigón.

Una vez constituida la idea en su etapa inicial de cómo se constituirá el encapsulamiento, se presenta a continuación una breve descripción de las tres propuestas a llevarse a cabo.

3.3.1 ENCAPSULAMIENTO EN TESTIGOS DE HORMIGÓN SIMPLE

Esta propuesta se plantea llevarla en testigos de 20 x 20 x 20 cm En el interior una celda de 10 x 10 x10 cm conteniendo el residuo.

Como agente inmovilizador de metales pesados se utilizará polvo o viruta de acero en un proporción de 1% (w/w) peso residuo (DRAGUN James, Journal of Soil Contamination, 1996).

La dosificación de los materiales para esta propuesta serán de 1:1,5:2,5 para alcanzar una resistencia a la compresión a los 28 días de 240 Kg/cm².

3.3.2 ENCAPSULAMIENTO EN TESTIGOS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE

Esta propuesta se plantea con los mismos componentes de la anterior pero adicionalmente con la utilización de aditivo impermeabilizante, aditivo utilizado con la finalidad de encontrar una disminución en la absorción de agua en el testigo, el aditivo utilizado será Sika 1 el cual será dosificado al 3% del peso del cemento. Ver Sección 4.3.3.

3.3.3 ENCAPSULAMIENTO EN TESTIGOS DE HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO

Esta propuesta se plantea con los mismos componentes de la anterior pero en esta ocasión se pretende utilizar un agregado adicional el cual es sílice (cuarzo) pulverizado, este material se lo obtendrá por trituración y pulverización de piedras de cuarzo. La justificación se debe a que el cuarzo como piedra natural presenta muy buenas propiedades en cuanto a resistencia muy buena a la abrasión y meteorización química que presenta a la intemperie a la vez que sus granos son muy difíciles de erosionar en su superficie, es químicamente muy inerte, presenta una alta dureza de 7 en la escala de Mohs y un peso específico de 2,65; además que es una estructura cristalizada y no amorfa como lo es el vidrio, esta estructura cristalizada no amorfa asegura una adecuada compatibilidad en la mezcla con el cemento y demás agregados. Este material se lo utilizará pulverizado con la finalidad que ocupe el espacio de los poros del testigo, consecuentemente disminuyendo la porosidad y aumentando la impermeabilidad del testigo. Se conoce como dato que el hormigón en general tiene una porosidad del 5%, entonces por seguridad se utilizará el 10% del volumen del hormigón.

En la sección 4.3.4 se presenta los resultados de las proporciones utilizadas para esta propuesta.

3.4 ENSAYOS DE ENCAPSULAMIENTO

3.4.1 EQUIPO

- Máquina Mezcladora o concretera 1/9 m³
- Palas de Mano

3.4.2 MATERIALES

- Cemento Pórtland
- Arena
- Grava
- Agua
- Aditivo impermeabilizante Sika 1
- Sílice pulverizado

3.4.3 PROCESO

Para las tres propuestas de encapsulamiento se lleva a cabo el mismo proceso que se esquematiza a continuación:

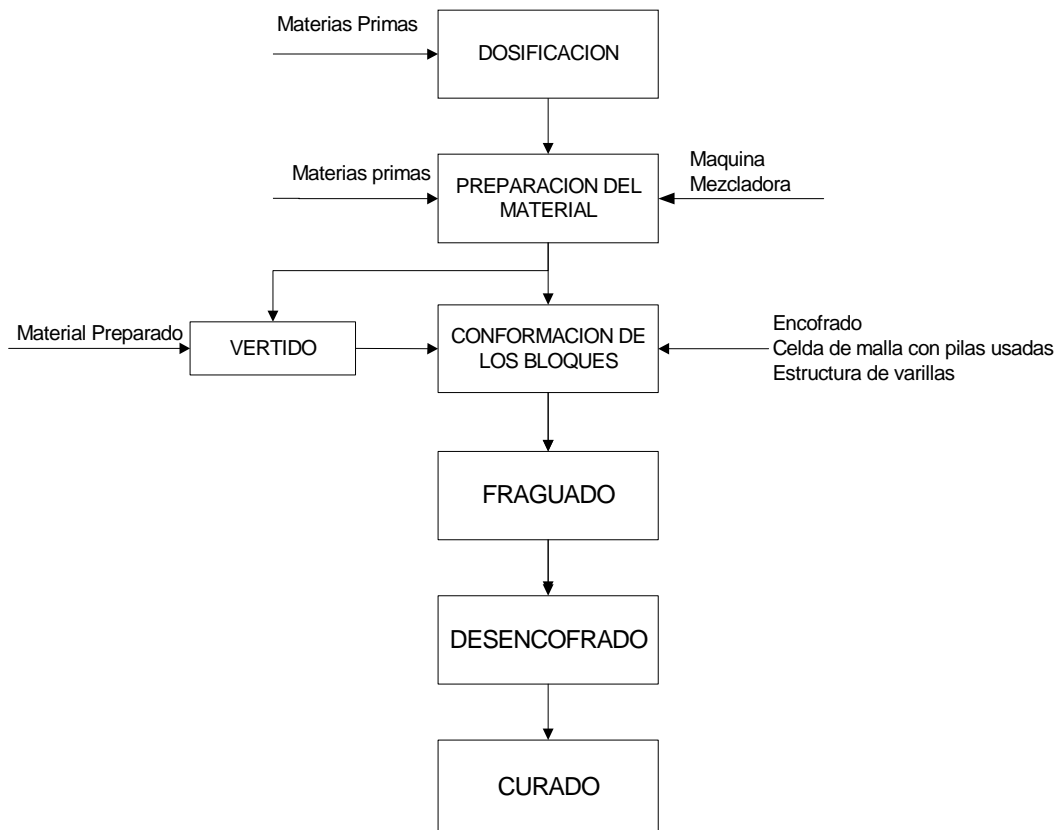


Figura N.- 3.2 Diagrama de Bloques del Proceso de Fabricación de Bloques de Hormigón
Fuente: La autora

3.5 EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE ENCAPSULAMIENTO

3.5.1 ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN AL MATERIAL ENCAPSULADO

Como parte de la evaluación de la eficacia del proceso de macro encapsulamiento de pilas, se realiza tres ensayos de lixiviación; a un testigo de cada una de las tres propuestas de encapsulamiento. La finalidad de este ensayo es verificar si existe una disminución en la migración de metales hacia el lixiviante de la que presente las pilas sin encapsular.

Se ensaya en base a los mismos parámetros indicados en la Sección 3.2.2.1.1

3.5.2 ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS AL ENCAPSULAMIENTO DE POROSIDAD, PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN

Los ensayos de las propiedades físicas al encapsulamiento de Peso Específico, Absorción y Porosidad se llevan a cabo con la finalidad de evaluar la calidad del hormigón de las tres propuestas de encapsulamiento en base a los aditivos agregados.

3.5.2.1 Peso Específico

El peso específico de cualquier material se define como el peso de las partículas dividido para el volumen de las mismas.

Se determinará el peso específico tanto para los testigos como para las probetas de las tres propuestas de encapsulamiento. A continuación se describe el método, equipo y procedimiento utilizados:

3.5.2.1.1 Equipo

- Cesta metálica
- Recipiente con agua
- Balanza de capacidad de 20 Kg
- Recipiente metálico
- Horno
- Franela

3.5.2.1.2 Procedimiento

- Preparación de la muestra:

Lavar el material (testigos y probetas) para eliminar el polvo fino adherido a sus caras.

Dejar las muestras (testigos y probetas) sumergida en agua por 24 horas, para lograr su saturación.

- Determinación de valores:

- a) Secar las superficies de las muestras para lograr la condición sss (superficie saturada seca) del material
- b) Determinar el peso del material sss (testigos y probetas) (P1)

- c) Sumergir la canasta en el recipiente con agua y obtener su peso sumergido.
- d) Introducir las probetas en la canasta sumergida en agua
- e) Determinar el peso de las probetas sumergidas (P2) o peso de la muestra en agua. No se determinará el peso de los testigos en agua debido a que el tamaño de la canasta y la capacidad de la balanza para esta medición son insuficientes porque el tamaño de los testigos es mayor que el de la canasta y peso de los mismos supera la capacidad de la balanza para esta medición.
- f) Recoger el material (testigos y probetas) en un recipiente, previamente pesado y sumergido, e introducirlo al horno de 18 a 24 horas
- g) Determinar el peso del recipiente con la muestra seca.
- h) Determinar el peso de las muestras secas (P3)

3.5.2.1.3 Cálculos

Se aplican las siguientes fórmulas para el cálculo de los pesos específicos de las probetas:

$$\text{PesoEspecífico} = \frac{P_3}{P_1 - P_2}$$

$$\text{PesoEspecífico}_{\text{sss}} = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$

$$\text{PesoEspecíficoAparente} = \frac{P_3}{P_3 - P_2}$$

Para el caso de los testigos se calculará el peso específico seco y peso específico húmedo en base a las siguientes fórmulas:

$$\rho_{\text{húmedo}} = \frac{P_1}{V_t}$$

$$\rho_{\text{seco}} = \frac{P_3}{V_t}$$

3.5.2.2 Absorción

Se aplicará la siguiente fórmula para el cálculo de la absorción tanto para los testigos como para las probetas:

$$Absorción = \frac{P_1 - P_3}{P_3} \times 100$$

3.5.2.3 Porosidad

Se aplicará la siguiente fórmula para el cálculo de la porosidad tanto de los testigos como de las probetas:

$$Porosidad = \frac{V_t \times S_s - W_s}{W_s} \times 100$$

Donde:

- V_t : Volumen total del material (testigo o probeta) cm^3
 S_s : Peso específico en superficie saturada seca del material (testigo o probeta) g/cm^3
 W_s : Peso seco de la muestra (testigo o probeta) g

3.5.3 ENSAYO DE LAS PROPIEDADES TÉCNICAS DEL ENCAPSULAMIENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, IMPACTO

3.5.3.1 Resistencia a la Compresión

El ensayo de resistencia a la compresión es el más importante de todos los ensayos de evaluación de eficacia del proceso de encapsulamiento ya que una buena resistencia en el material estabilizado es sinónimo de un buen encapsulamiento y constituiría durabilidad en el transcurso del tiempo.

El procedimiento se basa en someter el testigo a la aplicación de una carga creciente de compresión, hasta provocar su falla (se considerará que esta ocurre cuando la muestra no puede soportar más carga). Este procedimiento se lleva a cabo en la máquina de ensayo la cual debe tener la capacidad para aplicar la carga de rotura.

Las muestras deben someterse a prueba en condiciones húmedas, para lo cual se las ha almacenado por lo menos durante 24 horas en agua, a una temperatura de $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. Todos los especímenes para una edad determinada de prueba se ensayan dentro de una tolerancia permisible.

Edad del Ensayo	Tolerancia
24 horas	± 1/2 hrs.
3 días	± 1 hr.
7 días	± 3 hrs.
28 días	± 12 hrs.

En este caso la edad predeterminada de prueba será a los 28 días puesto que esta edad de ensayo es la que representa la máxima dureza que alcanzará el material estabilizado.

Antes de sumergir los testigos y probetas en agua se determina el área suficiente de los mismos.

Las caras del cubo que van a estar en contacto con las placas de carga de la máquina de compresión, deben ser planas y limpias. El cubo a ser ensayado, se centra en la placa de carga, empezando luego a cargar con una velocidad moderada continua y no intermitente de manera que la carga máxima sea alcanzada en no menos de 20 seg. ni mas de 80 seg. del comienzo de la prueba, hasta que no se pueda soportar una carga mayor, debiendo registrarse la carga máxima aplicada.

La resistencia a la compresión de cada muestra se calcula dividiendo la carga máxima soportada por el cubo para la sección (área) de contacto del mismo y se la expresa en Kg/cm^2 .

Este ensayo se lleva a cabo en las máquinas de compresión del Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional, cuyo laboratorio se encuentra acreditado por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, lo cual garantiza la confiabilidad y precisión de los resultados en los ensayos realizados.

3.5.3.2 Impacto

3.5.3.2.1 Objetivo

Observar el comportamiento del bloque ante caídas bruscas.

3.5.3.2.2 Justificativo

Esta prueba no es una prueba estandarizada, sin embargo, se la lleva a cabo para predecir los resultados que tendrían los testigos si estos son arrojados bruscamente durante el transporte y almacenamiento como ocurre generalmente con los materiales de construcción.

Esta prueba se lleva a cabo arrojando individualmente los testigos desde la pared del cuarto de escombros de la EPN hacia el piso, la pared tiene una altura de 2 m. Los testigos se lanzaron en dos posiciones indistintamente, la primera es situándolos de frente, con la finalidad de que su caída sea de frente hacia el piso; y la segunda, fue de filo, con la finalidad de que una de sus esquinas o aristas sea la que tenga el primer contacto con el piso. Se determina mediante una percepción visual las averías de los mismos.

3.6 VIABILIDAD ECONÓMICA

Esta sección comprende el análisis económico, el cual se lo realiza en base al análisis del precio unitario de 1 m^3 de hormigón y un presupuesto para la elaboración de los seis testigos ($0,2 \times 0,2 \times 0,2 \text{ m}$) de las tres propuestas de encapsulamiento.

El análisis del precio unitario de 1 m^3 de hormigón se realiza en base a los siguientes costos:

Costos Directos.- estos comprenden los costos de alquiler de equipo y herramientas, costos de materias primas o materiales a utilizarse, costos de servicios necesarios para cumplir con el proceso y mano de obra.

Costos Indirectos.- comprenden gastos generales, utilidad e imprevistos.

El presupuesto se lo realiza en base al costo del precio unitario del hormigón y otros materiales utilizados en la elaboración de los testigos como son varillas, malla, agente estabilizador y encofrado.

Finalmente se realiza un cálculo estimado del costo del mismo tipo y número de pilas utilizadas en el modelo de encapsulamiento pero como nuevas para establecer que porcentaje del costo de las pilas nuevas representa encapsularlas cuando se convierten en residuo.

CAPITULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS DE LA CLASIFICACIÓN DEL RESIDUO

A continuación se presenta en la siguiente tabla el resumen de los resultados obtenidos de la clasificación:

Tabla N.- 4.1 Resultados de la Clasificación de Pilas recolectadas en el Programa de Recolección efectuado en la EPN.

Tipo de pilas	Tamaño de pila y voltaje	Total	Porcentaje %	
Primarias o No Recargables	AA 1,5 V	2960	42,4	
	AAA 1,5 V	2833	40,6	
	D 1,5 V	232	3,3	
	C 1,5 V	62	0,9	
	9V	84	1,2	
	Otras pequeñas: 1,5 V ; 12V ; 3V ; 6V	23	0,3	
	Botón	Grandes (Litio)	279	4,0
	Pequeñas	377	5,4	
Total Primarias o No Recargables		6850	98,1	
Secundarias o Recargables	AA	Ion-Litio	12	0,2
		Ni-MH 1,2V	18	0,3
		Ni-Cd (1,2V ; 3,6V)	25	0,4
	AAA	Ni-MH (1,2V)	13	0,2
	Otras	Ni-Cd (3,6V)	29	0,4
Ni-MH (3,6V)		6	0,1	
Total Secundarias o Recargables		103	1,5	
Otras	Sin etiqueta	29	0,4	
Total Otras		29	0,4	
TOTAL PILAS		6982	100,0	

Fuente: La autora

Se encontró que el total de pilas recolectadas corresponden a más de 60 distintas marcas. Por percepción visual se asegura que la mayoría del total recolectadas corresponde a la marca energizer y también una minoría corresponden a las denominadas pilas de contrabando.

Las 6982 pilas corresponden a un peso total 122,73 Kg, lo que correspondería alrededor de 50-60 pilas/Kg. Sin embargo, cabe mencionar que estas varían en su peso de acuerdo al tipo, la marca y el tamaño, encontrándose que para un mismo tipo y tamaño de pila los pesos varían para distintas marcas.

4.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO

4.2.1 NORMATIVA VIGENTE

4.2.1.1 Criterio para considerar a un desecho como peligroso

La Norma Técnica establece que si un desecho se encuentra dentro del Listado de Desechos Peligrosos, será considerado como peligroso y deberá obligatoriamente realizarse el tratamiento señalado y también establece su descripción, fuente de generación, estado físico. A continuación se presenta esta descripción para el caso de las pilas y baterías:

Tabla N.-4.2 Extracto del listado de residuos peligrosos de la Resolución 002 de la Norma Técnica de la Ordenanza 213 del DMQ

CODIGO	2.07*
DESCRIPCION	Acumuladores y baterías de níquel, cadmio, mercurio
E/G	E
FUENTE DE GENERACIÓN	Comercio, domiciliar, acumuladores gastados
CRETIB	T
F/Q	
BIOLÓGICO	
TÉRMICO	
DISPOSICIÓN	1
TRATAMIENTOS	Solidificación o encapsulamiento. Clasificación y recolección diferenciada

Donde:

* Baterías incluyendo pilas comunes y de botón.

E Residuo específico

G Residuo genérico

CRETIB (C) Corrosividad (R) Reactividad (E) Explosividad (T) Toxicidad (I) Inflamabilidad (B) Biológico-infeccioso

Tratamiento que se debe dar al residuo:

F/Q Físico Químico

1 Señala la opción a realizarse

Aplicando el primer criterio para considerar al residuo como doméstico peligroso tenemos como resultado que las pilas y baterías se encuentran dentro del Listado

de Desechos Peligrosos por la característica de toxicidad aunque no se presente en la Norma resultados de análisis de esta característica.

4.2.2 CRITERIO DE TOXICIDAD PARA CARACTERIZAR A UN RESIDUO COMO PELIGROSO

En esta sección se presenta otro criterio que establece la normativa. Este criterio se subdivide en dos a la vez. El primero analizando la concentración de metales pesados en base seca de residuo y el segundo mediante prueba de lixiviación. Esta sección aborda el análisis de este criterio comparado a la normativa, para establecer mediante resultados de análisis al residuo confirmar la caracterización del residuo ya establecida por la normativa.

4.2.2.1 Análisis de la Concentración de metales pesados en base seca presente en las Pilas

En esta sección se presenta concentraciones de metales pesados expresados en *mg/kg* de residuo (pilas), obtenidos de dos fuentes bibliográficas para ser comparados con la tabla 2.10 Sustancias Tóxicas Inorgánicas Bioacumulativas y Persistentes en los parámetros Cd, Cr, Pb, Hg y con la tabla 2.11 Sustancias Tóxicas Orgánicas Bioacumulativas y Persistentes en el parámetro Pb, para establecer si una de las concentraciones supera los límites establecidos por la norma en cuanto a la CLT (carga límite tolerable).

4.2.2.1.1 Análisis de la Concentración de metales pesados en base seca por marca de pila comparado a la Normativa

Según un estudio realizado por el Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC) de Chile en septiembre del 2003 se consideró 10 marcas de pilas alcalinas (dióxido de manganeso). En este estudio las pilas fueron preparadas mediante calcinación en mufla en Laboratorios de IDIEM y las determinaciones cuantitativas de metales pesados se ajustaron a lo establecido en la referencia "Standard Methods for the examination of water and wastewater 20th Edition 1998 método 3120 B (código interno ILMAL-019) en el Laboratorio de la Universidad de Chile CENMA.

Los parámetros analizados en este estudio fueron Cd, Cr, Pb, Hg. (AGUILUZ LIZLY, TORRES MARIELA, 2006).

A continuación se presenta en la siguiente tabla las marcas de pilas analizadas conjuntamente con su procedencia y el resultado de los análisis del estudio antes mencionado:

Tabla N.- 4.3 Concentración de Metales Pesados en base seca por marca de pila

Marca de pila	Procedencia	Concentración de Metales Pesados [mg/Kg]			
		Cd	Cr	Pb	Hg
Universe	Japón	2,53	11,14	107,8	125,9
Megapower	Sin procedencia	34,1	61,9	224,2	1,4
Duracell	USA	2,1	19,4	12,1	0,06
Durabell	Sin procedencia	14,8	57,2	109,3	0,88
Energizer	USA	2,53	7,11	26,9	0,05
Eveready Gold	Singapore	1,66	13,4	199,8	0,15
Rayovac	EAU	1,15	7,2	86,9	0,01
Sony	Indonesia	0,99	6,8	12,4	<LD
Panasonic	Brasil	1,81	12,3	20,4	0,13
Carrefour	Alemania	2,14	12,9	78,6	0,35

Fuente: SERNAC 2003 (AGUILUZ LIZLY, TORRES MARIELA, 2006)

En la siguiente tabla se presenta la comparación de los resultados del análisis del estudio consultado comparado a la CLT que establece la normativa:

Tabla N.- 4.4 Comparación de la Concentración de Metales Pesados en base seca por marca de pila con la normativa

Marca de pila	Concentración de Metales Pesados [mg/Kg]					
	Cd			Cr		
	Análisis	Norma	Cumple	Análisis	Norma	Cumple
Universe	2,53	200,0	SI	11,14	1.000,0	SI
Megapower	34,1	200,0	SI	61,9	1.000,0	SI
Duracell	2,1	200,0	SI	19,4	1.000,0	SI
Durabell	14,8	200,0	SI	57,2	1.000,0	SI
Energizer	2,53	200,0	SI	7,11	1.000,0	SI
Eveready Gold	1,66	200,0	SI	13,4	1.000,0	SI
Rayovac	1,15	200,0	SI	7,2	1.000,0	SI
Sony	0,99	200,0	SI	6,8	1.000,0	SI
Panasonic	1,81	200,0	SI	12,3	1.000,0	SI
Carrefour	2,14	200,0	SI	12,9	1.000,0	SI

Marca de pila	Concentración de Metales Pesados [mg/Kg]					
	Pb			Hg		
	Análisis	Norma	Cumple	Análisis	Norma	Cumple
Universe	107,8	13,0	NO	125,9	40,0	NO
Megapower	224,2	13,0	NO	1,4	40,0	SI
Duracell	12,1	13,0	SI	0,06	40,0	SI
Durabell	109,3	13,0	NO	0,88	40,0	SI
Energizer	26,9	13,0	NO	0,05	40,0	SI
Eveready Gold	199,8	13,0	NO	0,15	40,0	SI
Rayovac	86,9	13,0	NO	0,01	40,0	SI
Sony	12,4	13,0	SI	<LD	40,0	SI
Panasonic	20,4	13,0	NO	0,13	40,0	SI
Carrefour	78,6	13,0	NO	0,35	40,0	SI

Como se aprecia en los parámetros de plomo en casi todas las marcas se supera la CLT establecida por la norma, también en mercurio en la marca de pila universe. Por lo tanto, de este análisis comparativo de concentración de metales pesados en base seca presente en diferentes marcas de pilas comparado a la normativa se concluye que si se caracteriza como un residuo peligroso.

4.2.2.1.2 Análisis de la Concentración de Metales Pesados por Tipo de Pila comparado a la Normativa

Tabla N.- 4.5 Concentración de metales pesados en base seca por tipo de pila

Tipo de Pila	Concentración de Metales Pesados [mg/Kg]				
	Cd	Ni	Pb	Hg	Zn
Alcalina AA	1,64	5,46	40,07	0,353	735,95
Corriente AA	<0,27	55,67	61,45	2,831	219,06
Corriente MN 1300	<0,27	21,01	44,51	3,053	144,65
Alcalina MN 1400	3,28	2,31	9,42	0,032	545,45
Botón	0,77	6,66	12,38	204,95	824,76
Pila de celular	DNC	22,55	12,64	0,866	85,61

DNC: Detectable pero no cuantificable

Fuente: RIVERA, 2002

Tabla N.- 4.6 Comparación de la Concentración de metales pesados en base seca por tipo de pila

Tipo de Pila	Concentración de Metales Pesados [mg/Kg]					
	Cd			Ni		
	Análisis	Norma	Cumple	Análisis	Norma	Cumple
Alcalina AA	1,64	200,0	SI	5,46	4.000,0	SI
Corriente AA	<0,27	200,0	SI	55,67	4.000,0	SI
Corriente MN 1300	<0,27	200,0	SI	21,01	4.000,0	SI
Alcalina MN 1400	3,28	200,0	SI	2,31	4.000,0	SI
Botón	0,77	200,0	SI	6,66	4.000,0	SI
Pila de celular	DNC	200,0	SI	22,55	4.000,0	SI

Tipo de Pila	Concentración de Metales Pesados [mg/Kg]								
	Pb			Hg			Zn		
	Análisis	Norma	Cumple	Análisis	Norma	Cumple	Análisis	Norma	Cumple
Alcalina AA	40,07	13,0	SI	0,353	40,0	SI	736	10.000,0	SI
Corriente AA	61,45	13,0	SI	2,831	40,0	SI	219,1	10.000,0	SI
Corriente MN 1300	44,51	13,0	SI	3,053	40,0	SI	144,7	10.000,0	SI
Alcalina MN 1400	9,42	13,0	NO	0,032	40,0	SI	545,5	10.000,0	SI
Botón	12,38	13,0	NO	205	40,0	NO	824,8	10.000,0	SI
Pila de celular	12,64	13,0	NO	0,866	40,0	SI	85,61	10.000,0	SI

Como se aprecia en los parámetros de plomo de tres tipos de pilas se supera la carga límite tolerable establecida por la norma, también en mercurio en la pila tipo botón. Por lo tanto, de este análisis comparativo de concentración de metales pesados en base seca presente en diferentes tipos de pilas comparado a la normativa se concluye que si se caracteriza como un residuo peligroso.

4.2.3 RESULTADOS DE LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN A LAS PILAS

4.2.3.1 Parámetros de la Prueba

Las condiciones de Laboratorio que se adoptaron para esta prueba fueron:

- **Relación sólido-líquido**

El volumen de agua empleado para la prueba fue de 20 lt., el peso del residuo de 1,7 Kg., con lo cual la relación líquido-sólido fue de 12:1.

- **pH**

Se midió el pH inicial del agua el cual fue de 6,9, dosificando ácido acético grado analítico (99% pureza) se bajó el pH a 4,5, registrándose un volumen gastado de

ácido de 4,45 ml. El pH final de la solución fue de 4,47. Al finalizar la prueba luego de 24 horas se registro un pH=4,96.

- **Grado de Mezcla y turbulencia**

El parámetro que mide el grado de mezcla y turbulencia es la densidad de potencia (D_p). Para garantizar una adecuada mezcla, esta debe estar por sobre los 10 watt/m^3 (MUÑOZ, 2009). Para este caso, se trabajó con una densidad de potencia $D_p = 27 \text{ watt/m}^3$, con lo que se garantiza la mezcla completa.

A continuación se presenta el ejemplo de cálculo en base a las fórmulas utilizadas

- Datos:

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{1(lt)}{4,56(s)} = 0,22(l/s)$$

$$\varnothing_{\text{manguera}} = 10 \text{ mm}$$

- Cálculos:

$$A_{\text{tubería}} = \pi \times R^2 = \pi \times (10/2)^2 = 1 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$v_{\text{chorro}} = \frac{2,2 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = 2,2(m/s)$$

$$h_v = \frac{(2,2)^2}{2 \times 9,8} = 0,247(m)$$

$$D_p = \frac{0,22 \times 0,247 \times 1}{0,02} \times 9,8 = 27(\text{watt} / \text{m}^3)$$

- **Tiempo de Lixiviación**

El tiempo de mezcla de la prueba de lixiviación fue de 24 horas.

- **Temperatura**

Durante el tiempo de la prueba se mantuvo una temperatura $23,2 - 23,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Finalizado el tiempo de la prueba se tomo una muestra de aproximadamente 1 litro del líquido de extracción, luego se procede al análisis del contenido de metales pesados determinados en la parte líquida del agua lixiviada en un medio ácido mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica.

Ver Anexo 2.

4.2.3.2 Resultados de los análisis de metales pesados de la prueba de lixiviación a las pilas y comparación con la normativa.

Las lecturas de Absorción Atómica de metales pesados al líquido de extracción dieron los siguientes resultados:

Tabla N.-4.7 Lecturas de AA de metales pesados de la prueba de lixiviación a la muestra de pilas

Determinación	Tipo de Contaminante	Resultado [mg/l]	Normativa	Cumple
Plata	Ag	<0,01	5	SI
Cadmio	Cd	<0,01	1	SI
Cobalto	Co	<0,01	-	-
Cromo	Cr	<0,01	5	SI
Níquel	Ni	1,35	-	-
Plomo	Pb	<0,1	5	SI
Zinc	Zn	2,17	-	-
Manganeso	Mn	0,07	-	-
Mercurio	Hg	<0,00001	0,2	SI

Fuente: La autora

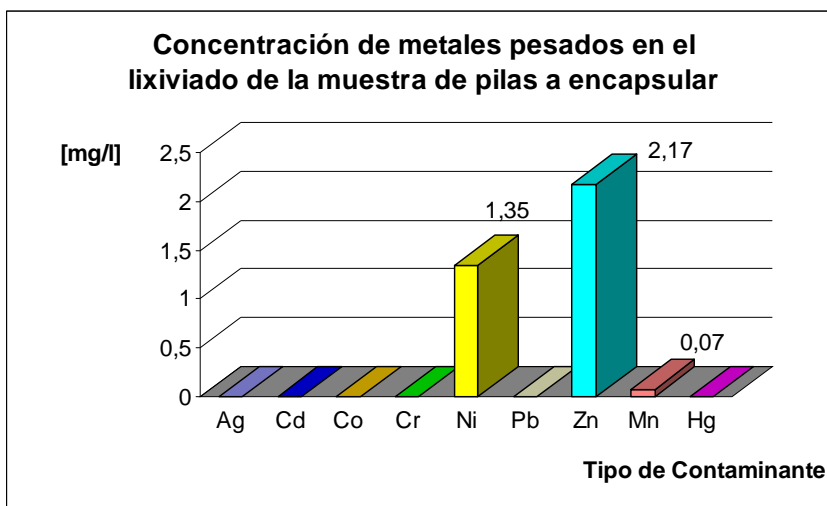


Gráfico N.-4.1 Concentración de metales pesados en el lixiviado de la muestra de pilas a encapsular

Fuente: La autora

Los resultados de esta prueba indican que en ningún caso los resultados de análisis de metales pesados superan los valores establecidos por la norma, por lo que por este criterio no se caracterizaría como residuo peligroso, sin embargo criterio de toxicidad a través de la prueba de lixiviación no es el único para caracterizar a este residuo como peligroso, como se indicó en la sección 4.2.21.1, los diferentes tipos de pilas y marcas de pilas si superaron los valores establecidos

por la norma en cuanto a contenido de metales pesados en base seca de pilas (mg/Kg) y también por lo que la norma ya caracteriza a este residuo como doméstico peligroso, por lo cual se requiere de un proceso de solidificación o encapsulamiento.

4.3 RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE ENCAPSULAMIENTO

4.3.1 DISEÑO DEL MODELO DE ENCAPSULAMIENTO

Se diseñó un modelo de encapsulamiento mediante la conformación de testigo de hormigón armado que en su interior contienen una celda cúbica con las pilas usadas.

A continuación se presentan esquemas del diseño de encapsulamiento:

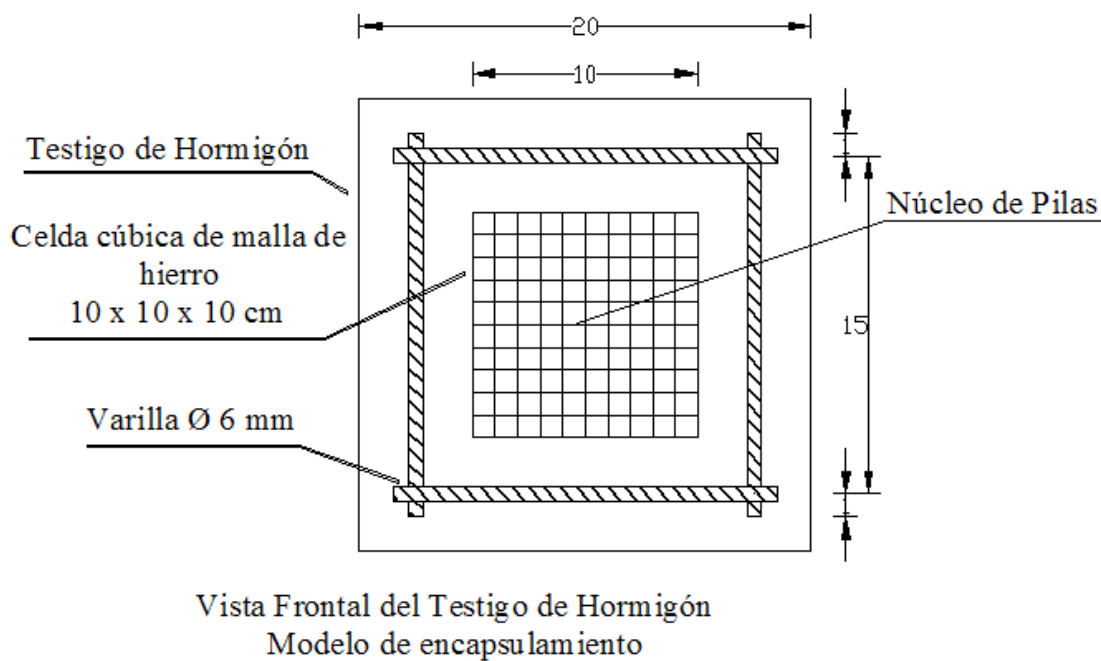


Figura N.- 4.1 Vista Frontal del Testigo de Hormigón
Fuente: La autora

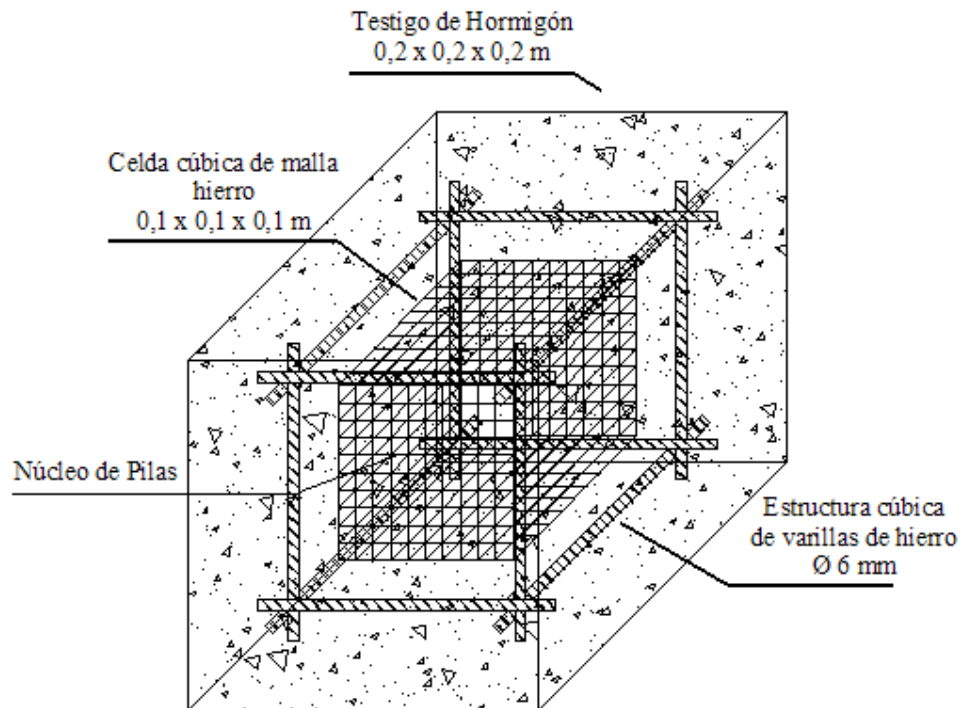


Figura N.- 4.2 Modelo de Encapsulamiento
Fuente: La autora

4.3.2 TESTIGOS DE HORMIGÓN SIMPLE

En la siguiente tabla se presentan las proporciones de materiales utilizados para esta propuesta de encapsulamiento:

Tabla N.-4.7 Composición de la mezcla para conformar Testigos de Hormigón Simple

Proporción	Muestra	Componente	Unidad	Cantidad	Porcentaje [%]
1:1,5:2,5	1	Cemento	Kg.	7,23	9,3
		Arena*	lts.	7,2	28,7
		Grava*	lts.	11,9	47,8
		Agua	lts.	3,5	14,1

Fuente: La autora

* Las granulometrías de la arena y grava utilizadas para el encapsulamiento se detallan en los anexos 1 y 2, respectivamente.

Los testigos de hormigón de las tres propuestas de encapsulamiento a parte de sus componentes están también conformados por el residuo a ser encapsulado, el cual estará contenido en una celda cúbica de malla de acero hierro galvanizado y una estructura de varillas con se aprecia en el diseño del encapsulamiento en la sección 4.3.1. A continuación la tabla que resume el peso del residuo a ser encapsulado y el agente de estabilización química que se utilizará en las tres propuestas de encapsulamiento:

Tabla N.- 4.8 Detalle del residuo a ser encapsulado

RESIDUO	PESO Kg	Agente de estabilización Química	Cantidad g
Pilas usadas	1,7	Partículas de acero (1% w/w del residuo)	17

Fuente: La autora

4.3.3 TESTIGOS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE

En la siguiente tabla se presentan las proporciones de materiales y aditivos utilizados para esta propuesta de encapsulamiento:

Tabla N.- 4.9 Composición de la mezcla para conformar Testigos de Hormigón con aditivo impermeabilizante

Proporción	Muestra	Componente	Unidad	Cantidad	Porcentaje [%]
1:1,5:2,5	2	Cemento	Kg.	7,23	9,3
		Arena	lts.	7,2	28,7
		Grava	lts.	11,9	47,8
		Agua	lts.	3,2	12,7
		Aditivo Sika 1	lts.	0,35	1,4

Fuente: La autora

4.3.4 TESTIGOS DE HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO

En la siguiente tabla se presentan las proporciones de materiales y agregados para esta propuesta de encapsulamiento:

Tabla N.- 4.10 Composición de la mezcla para conformar Testigos de Hormigón + sílice como agregado

Proporción	Muestra	Componente	Unidad	Cantidad	Porcentaje [%]
1:1,5:2,5	3	Cemento	Kg.	7,23	8,8
		Arena	lts.	7,2	27,0
		Grava	lts.	11,9	44,9
		Agua	lts.	3,5	13,2
		Agregado Sílice*	lts.	1,6	6,0

Fuente: La autora

* En el anexo 3 se detalla la preparación de sílice a ser utilizado como agregado en esta propuesta de encapsulamiento.

4.4 ENSAYOS DE ENCAPSULAMIENTO

4.4.1 PROCESO

4.4.1.1 Dosificación

En la parte inicial del proceso se establecieron las proporciones en peso y volumen de los materiales utilizados en la mezcla, la dosificación de los materiales necesarios para elaborar el hormigón se establecieron de acuerdo a la resistencia a la compresión deseada la cual fue de 240 Kg/cm² para un agregado grueso con máxima dimensión de 19 mm. La proporción utilizada fue de 1:1,5:2,5 para cemento, arena y grava, respectivamente. En la sección 4.3.2, 4.3.2 y 4.3.3 se detallan las cantidades exactas de materiales, agregados y aditivos utilizados para la elaboración de cada propuesta de encapsulamiento.

4.4.1.2 Preparación del material

En la máquina mezcladora o concretera se realizaron las mezclas del material de acuerdo a las dosificaciones establecidas en las secciones 4.3.1, 4.3.2 y 4.3.3 dependiendo de la propuesta de encapsulamiento, con la finalidad de que todos los materiales se integren a la mezcla. Para cada propuesta de encapsulamiento se realizó una mezcla individual del material.

4.4.1.3 Conformación de los Bloques y Vertido

En los moldes o encofrados se colocó la mezcla en una cantidad suficiente que cubra 5 centímetros del molde, posteriormente se situó en el centro del mismo la celda cúbica de malla de hierro galvanizado conteniendo la muestra de pilas usadas (1,7 Kg en peso de residuo), 1% de partículas de acero (17 g) y la estructura cúbica de varillas en el molde. Finalmente se depositó la mezcla hasta

completar el llenado de los moldes, se retiró el exceso de material mediante un barredor manual.

4.4.1.4 Fraguado

El fraguado del cemento comienza en el momento que éste se pone en contacto con el agua. El comienzo se ha definido como el tiempo hasta el cual la pasta de cemento admite ser remoldeada, sin alteración de sus propiedades y el fin del fraguado al tiempo necesario para que la pasta adquiriera la resistencia suficiente para soportar su propio peso.

En resumen, el proceso inicial de hidratación por el cual los testigos de hormigón cambian de un estado fluido a un estado rígido.

4.4.1.5 Desencofrado

A las 24 horas se desmoldaron los testigos y probetas, se los trasladó a una bandeja con agua para el proceso de curado y endurecimiento.

4.4.1.6 Curado

Es el proceso de aplicar y controlar ciertas condiciones de humedad para mejorar el proceso endurecimiento del hormigón.

4.5 EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DEL PROCESO DE ENCAPSULAMIENTO

4.5.1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE LIXIVIACIÓN AL MATERIAL ENCAPSULADO

4.5.1.1 Parámetros de la Prueba

4.5.1.1.1 Testigo de Hormigón Simple

El volumen de agua empleado para la prueba fue de 20 lts., el peso del testigo de 17,17 Kg, lo cual da como resultado una relación líquido-sólido de 1,16 : 1.

El pH inicial del agua fue de 6,98; dosificando ácido acético grado analítico (99% pureza) se bajó el pH a 4,5, registrándose un volumen gastado de ácido de 5,5 ml.

El pH final de la solución fue de 4,5, al finalizar la prueba luego de 24 horas se registro un pH = 9,94. Para el grado de mezcla y turbulencia se registro una $D_p = 27 \text{ watt/m}^3$ con un $Q = 0,23 \text{ l/s}$ igual que en la prueba de lixiviación de pilas. El tiempo de la mezcla durante la prueba de lixiviación fue de 24 horas. La temperatura se mantuvo entre 22-24,2 °C.

Finalizado el tiempo de la prueba se tomo una muestra de aproximadamente 1 litro del líquido de extracción, luego se procede al análisis del contenido de metales pesados determinados en la parte líquida del agua lixiviada en un medio ácido mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica.

4.5.1.1.2 Testigo de Hormigón con aditivo impermeabilizante

El volumen de agua empleado para la prueba fue de 20 lts. y el peso del bloque de 17, 265 Kg, lo cual da como resultado una relación líquido-sólido de 1,16 : 1.

El pH inicial del agua fue de 6,98; dosificando ácido acético grado analítico (99% pureza) se bajó el pH a 4,49; registrándose un volumen gastado de ácido de 6 ml. El pH final de la solución fue de 4,5, al finalizar la prueba luego de 24 horas se registro un pH = 9,31. Para el grado de mezcla y turbulencia se registro una $D_p = 27 \text{ watt/m}^3$ con un $Q = 0,23 \text{ l/s}$ igual que en la prueba de lixiviación de pilas. El tiempo de la mezcla durante la prueba de lixiviación fue de 24 horas. La temperatura se mantuvo en 22-24,2 °C.

Finalizado el tiempo de la prueba se tomo una muestra de aproximadamente 1 litro del líquido de extracción, luego se procede al análisis del contenido de metales pesados determinados en la parte líquida del agua lixiviada en un medio ácido mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica.

4.5.1.1.3 Testigo de Hormigón con sílice como agregado

El volumen de agua empleado para la prueba fue de 20 lts., el peso del testigo de 17, 354 Kg, con lo cual la relación líquido-sólido fue de 1,15 : 1.

El pH inicial del agua fue de 6,99, dosificando ácido acético grado analítico (99% pureza) se bajó el pH a 4,5, registrándose un volumen gastado de ácido de 6 ml. El pH final de la solución fue de 4,47; al finalizar la prueba luego de 24 horas se registro un pH = 9,21. Para el grado de mezcla y turbulencia se registro una $D_p = 27 \text{ watt/m}^3$ con un $Q = 0,23 \text{ l/s}$ igual que en la prueba de lixiviación de pilas. El tiempo de la mezcla durante la prueba de lixiviación fue de 24 horas. La temperatura se mantuvo en 22-24,3 °C.

Finalizado el tiempo de la prueba se tomo una muestra de aproximadamente 1 litro del líquido de extracción, luego se procede al análisis del contenido de metales

pesados determinados en la parte líquida del agua lixiviada en un medio ácido mediante el uso de un espectrofotómetro de absorción atómica.

4.5.1.2 Resultados de los Análisis de Metales Pesados

4.5.1.2.1 Testigo de Hormigón Simple

Tabla N.- 4.11 Comparación de los resultados de la lectura de AA de la prueba de lixiviación del Testigo 1 con la

Determinación	Tipo de Contaminante	Resultado [mg/l]	Normativa	Cumple
Plata	Ag	<0,01	5	SI
Cadmio	Cd	<0,01	1	SI
Cobalto	Co	<0,01	-	-
Cromo	Cr	<0,01	5	SI
Níquel	Ni	0,02	-	-
Plomo	Pb	<0,1	5	SI
Zinc	Zn	0,01	-	-
Manganeso	Mn	<0,01	-	-
Mercurio	Hg	<0,00001	0,2	SI

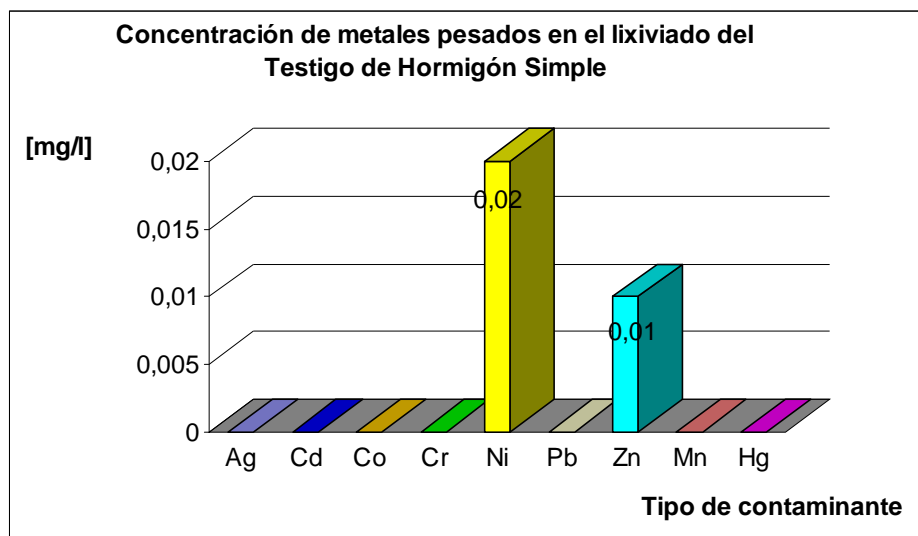


Gráfico N.- 4.2 Concentración de metales pesados en el lixiviado del Testigo de Hormigón Simple

4.5.1.2.2 Testigo de Hormigón con aditivo impermeabilizante

Tabla N.- 4.13 Comparación de los resultados de la lectura de AA de la prueba de lixiviación del Testigo 2 con la Normativa

Determinación	Tipo de Contaminante	Resultado [mg/l]	Normativa	Cumple
Plata	Ag	<0,01	5	SI
Cadmio	Cd	<0,01	1	SI
Cobalto	Co	<0,01	-	-
Cromo	Cr	<0,01	5	SI
Níquel	Ni	<0,01	-	-
Plomo	Pb	<0,1	5	SI
Zinc	Zn	0,01	-	-
Manganeso	Mn	0,01	-	-
Mercurio	Hg	<0,00001	0,2	SI

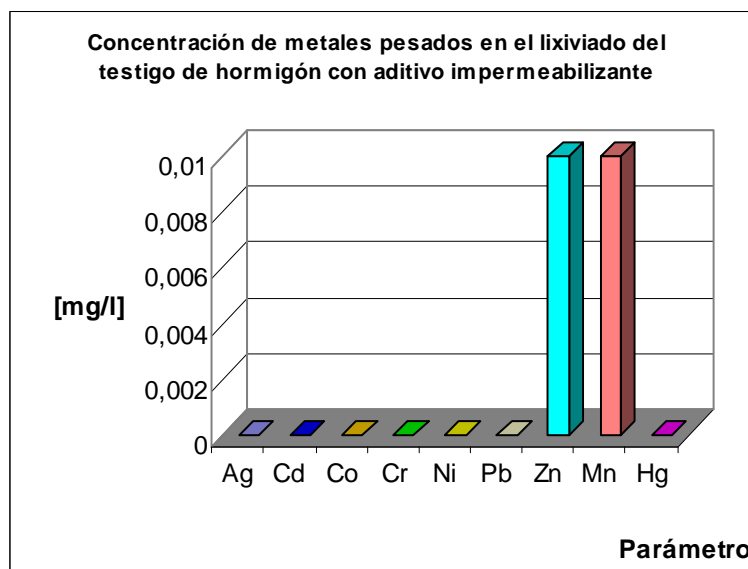


Gráfico N.- 4.3 Concentración de metales pesados en el lixiviado del Testigo 2

4.5.1.2.3 Testigo de Hormigón con sílice como agregado

Tabla N.- 4.14 Comparación de los resultados de la lectura de AA de la prueba de lixiviación del Testigo 3 con la Normativa

Determinación	Tipo de Contaminante	Resultado [mg/l]	Normativa	Cumple
Plata	Ag	<0,01	5	SI
Cadmio	Cd	<0,01	1	SI
Cobalto	Co	<0,01	-	-
Cromo	Cr	<0,01	5	SI
Níquel	Ni	<0,01	-	-
Plomo	Pb	<0,1	5	SI
Zinc	Zn	0,01	-	-
Manganeso	Mn	0,01	-	-
Mercurio	Hg	<0,00001	0,2	SI

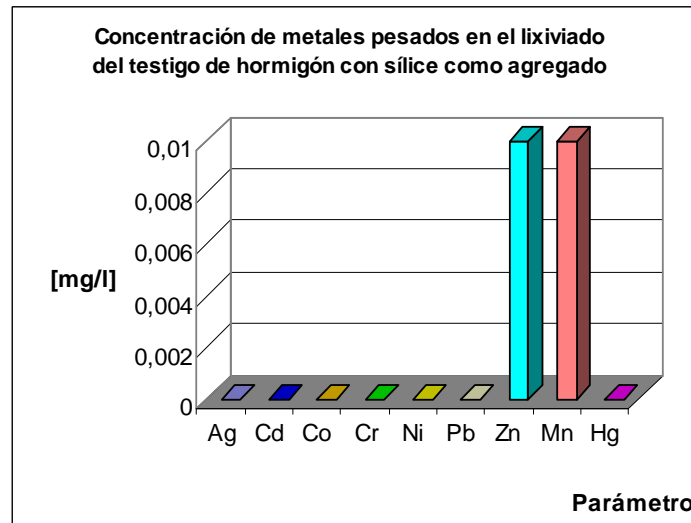


Gráfico N.- 4.4 Concentración de metales pesados en el lixiviado del bloque 3

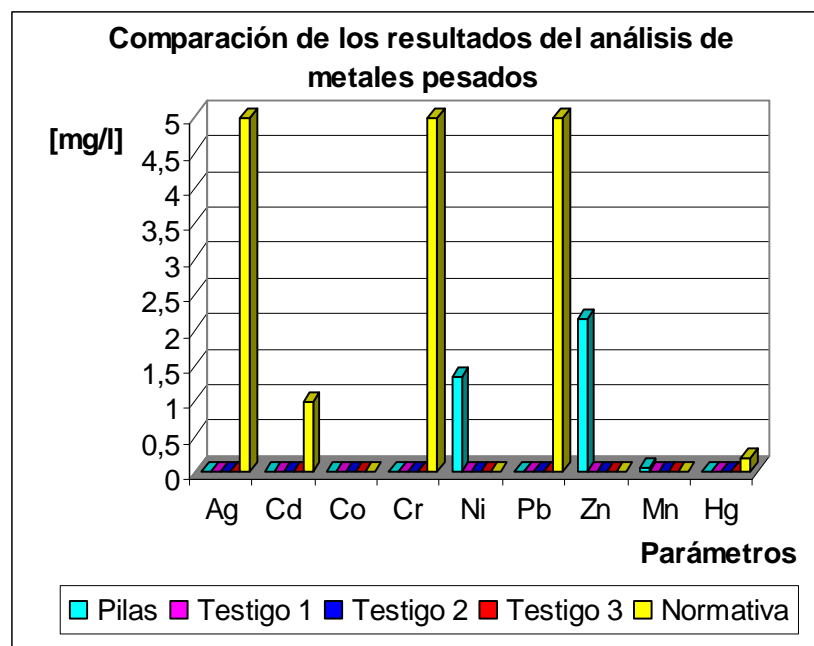


Gráfico N.- 4.4 Comparación de los resultados del los análisis de metales pesados

4.5.2 ENSAYOS DE PROPIEDADES FÍSICAS AL ENCAPSULAMIENTO DE POROSIDAD, PESO ESPECÍFICO, ABSORCIÓN

4.5.2.1 Peso Específico

4.5.2.1.1 Probetas

- Datos

Tabla N.- 4.15 Datos para cálculo de peso específico de las probetas de hormigón simple

Hormigón Simple					
	Peso Seco	Peso Sumergido			
Probetas	Peso de la Probeta Seca en Aire (g) (P ₃)	Peso de la Canastilla (g)	Peso de la Canastilla (g) + Probeta (g)	Peso de la Probeta en agua(g) (P ₂)	Peso de la Probeta en superficie saturada seca (g) (P ₁)
1	441,1	2144,5	2412	267,5	478,3
2	428,4	2144,5	2406	261,5	472,4
3	435,8	2144,5	2411,5	267,0	481,8

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.16 Datos para cálculo de peso específico de las probetas de hormigón con aditivo impermeabilizante

Hormigón con aditivo impermeabilizante					
	Peso Seco	Peso Sumergido			
Probetas	Peso de la Probeta Seco en Aire (g) (P ₃)	Peso de la Canastilla (g)	Peso de la Canastilla (g) + Probeta (g)	Peso de la probeta en agua(g) (P ₂)	Peso de la Probeta en superficie saturada seca (g) (P ₁)
1	404,9	2144,5	2388	243,5	445,7
2	408,4	2144,5	2390	245,5	450,7
3	426,5	2144,5	2400	255,5	465,1

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.17 Datos para cálculo de peso específico de las probetas de hormigón con sílice como agregado

Hormigón + sílice como agregado					
	Peso Seco	Peso Sumergido			
Probetas	Peso de la Probeta Seco en Aire (g) (P ₃)	Peso de la Canastilla (g)	Peso de la Canastilla (g) + Probeta (g)	Peso de la Probeta en agua(g) (P ₂)	Peso de la Probeta en superficie saturada seca (g) (P ₁)
1	399,7	2144,5	2387,5	243	442,2
2	434,6	2144,5	2409,5	265	475,8
3	420,5	2144,5	2399,5	255	459,8

Fuente: La autora

- **Resultados**

Tabla N.- 4.18 Resultados de Peso específico de las probetas de hormigón simple

Hormigón Simple			
Probetas	Peso Específico	Peso Específico sss	Peso Específico Aparente
1	2,09	2,27	2,54
2	2,03	2,24	2,57
3	2,03	2,24	2,58
PROMEDIO	2,05	2,25	2,56

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.19 Resultados de Peso específico de las probetas de hormigón con aditivo impermeabilizante

Hormigón con aditivo impermeabilizante			
Probetas	Peso Específico	Peso Específico sss	Peso Específico Aparente
1	2,00	2,20	2,51
2	1,99	2,20	2,51
3	2,03	2,22	2,49
PROMEDIO	2,01	2,21	2,50

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.20 Resultados de Peso específico de las probetas de hormigón con sílice como agregado

Hormigón + sílice como agregado			
Testigos	Peso Específico	Peso Específico sss	Peso Específico Aparente
1	2,01	2,22	2,55
2	2,06	2,26	2,56
3	2,05	2,25	2,54
PROMEDIO	2,04	2,24	2,55

Fuente: La autora

Los resultados promedio del peso específico de las probetas para las tres propuestas presentan valores similares, siendo mayor el valor de las probetas de Hormigón Simple con un valor de 2,05 seguido de la probeta de Hormigón más sílice como agregado con un valor de 2,04 y finalmente con el menor valor las probetas de hormigón con aditivo impermeabilizante con un valor de 2,01.

El peso específico sss es el peso específico del material con agua mientras que el peso específico aparente representa el peso específico del material seco. Los

valores de los resultados como se aprecia en las tablas anteriores se presentan en el mismo orden que los resultados anteriormente descritos.

En general para un hormigón con resistencia de 210 Kg/cm² un peso específico adecuado es igual a 2,4 sin embargo, los resultados indican que nuestros valores son bajos lo cual significa que son menos compactos. La razón puede deberse a la grava que se utilizó en el proceso de fabricación, ya que esta fue de otra granulometría.

4.5.2.1.2 Material Encapsulado

- **Datos**

Tabla N.- 4.21 Datos para el cálculo de Peso Específico de los Testigos de hormigón armado

TESTIGOS	Peso del Testigo en superficie saturada seca (Kg) (P1)	Peso del testigo Seco en Aire (Kg) (P3)	VOLUMEN (cm ³)
1	18,47	17,17	8069,87
2	17,995	17,265	7979,5
3	18,689	17,354	8049,93

Fuente: La autora

- **Resultados**

Tabla N.- 4.22 Resultados de Peso específico de los testigos de hormigón armado

TESTIGOS	ρ húmedo g/cm ³	ρ seco g/cm ³
1	2,29	2,13
2	2,26	2,16
3	2,32	2,16

Fuente: La autora

El testigo de hormigón armado más sílice como agregado es el que mayor peso específico presenta, lo cual indica que este bloque es más compacto que los demás, sin embargo cabe recalcar que la diferencia en los resultados con los otros testigos es mínima.

4.5.2.2 Absorción

4.5.2.2.1 Probetas

Tabla N.- 4.23 Resultados de Absorción de las probetas de hormigón simple

Hormigón Simple	
Probetas	Absorción %
1	8,43
2	10,27
3	10,56
PROMEDIO	9,75

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.24 Resultados de Absorción de las probetas de hormigón con aditivo impermeabilizante

Hormigón con aditivo impermeabilizante	
Probetas	Absorción %
1	10,08
2	10,36
3	9,05
PROMEDIO	9,83

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.25 Resultados de Absorción de las probetas de hormigón con sílice como agregado

Hormigón + sílice como agregado	
Probetas	Absorción %
1	10,63
2	9,48
3	9,35
PROMEDIO	9,82

Fuente: La autora

4.5.2.2.2 Material Encapsulado

Tabla N.- 4.26 Resultados de Absorción de los testigos de hormigón armado

TESTIGOS	Absorción %
1	7,57
2	4,23
3	7,69

Fuente: La autora

A diferencia de los valores obtenidos para el caso de las probetas, los testigos si se encuentran dentro del rango aceptable de absorción para hormigones.

El testigo de hormigón armado con aditivo impermeabilizante es la propuesta que menor absorción presenta con un valor de 4,2 % (730 cm³ de agua) lo que indica que esta propuesta es la mejor en cuanto a esta propiedad puesto que lo que se persigue es que exista la menor absorción posible para que en períodos de humectación del testigo sea la menor cantidad de agua posible la que se infiltre en el testigo y se evite la lixiviación de los elementos constituyentes de las pilas.

4.5.2.3 Porosidad

4.5.2.3.1 Probetas

Tabla N.- 4.27 Datos para el cálculo de Porosidad de las Probetas de Hormigón Simple

HORMIGÓN SIMPLE			
Probetas	Volumen Total cm ³	Ss g/cm ³	Peso Seco de la muestra g
1	215,38	2,23	438,7
2	211,24	2,31	441,1
3	211,54	2,29	441,6
PROMEDIO	212,72	2,27	440,47

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.28 Resultados de Porosidad de las Probetas de Hormigón Simple

HORMIGÓN SIMPLE	
Probetas	Porosidad %
1	9,41
2	10,45
3	9,62
PROMEDIO	9,83

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.29 Datos para el cálculo de Porosidad de las Probetas de Hormigón con aditivo impermeabilizante

HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE			
Probetas	Volumen Total cm^3	Ss g/cm^3	Peso Seco de la muestra g
1	213,41	2,19	424,9
2	214,97	2,18	426,4
3	209,18	2,25	427,7
PROMEDIO	212,52	2,20	426,33

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.30 Resultados de Porosidad de las Probetas de Hormigón con aditivo impermeabilizante

HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	
Probetas	Porosidad %
1	9,81
2	9,80
3	10,01
PROMEDIO	9,87

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.31 Datos para el cálculo de Porosidad de las Probetas de Hormigón con sílice como agregado

HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO			
Probetas	Volumen Total cm^3	Ss g/cm^3	Peso Seco de la muestra g
1	206,42	2,22	417,8
2	210,41	2,21	421,6
3	208,97	2,30	439,1
PROMEDIO	208,60	2,24	426,17

Fuente: La autora

Tabla N.- 4.32 Resultados de Porosidad de las Probetas de Hormigón con sílice como agregado

HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO	
Probetas	Porosidad %
1	9,89
2	10,06
3	9,36
PROMEDIO	9,77

Fuente: La autora

Los resultados de porosidad de los testigos son similares a los de absorción cercanos al 10%, sin embargo más adelante puede observarse para el caso de los testigos los valores son menores y están dentro del rango aceptable para hormigones.

4.5.2.3.2 *Material Encapsulado*

Tabla N.- 4.33 Resultados de Porosidad de los Testigos de Hormigón Armado

TESTIGOS	Porosidad %
1	7,57
2	4,23
3	7,69

Fuente: La autora

El bloque de hormigón armado con aditivo impermeabilizante es la propuesta que menor porosidad presenta con un valor de 4,23 % lo cual indica que esta propuesta es la mejor en cuanto a esta propiedad puesto que también se persigue que se alcance la menor porosidad y por tanto sea menor la cantidad de agua que el hormigón absorba en períodos de humectación.

4.5.3 ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES TÉCNICAS AL ENCAPSULAMIENTO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION, IMPACTO

4.5.3.1 Resistencia a la Compresión

4.5.3.1.1 Resultados de los Ensayos de Resistencia a las Probetas

En esta prueba se ensayó a 2 probetas por cada propuesta.

- PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE**

Carga Máxima (a la ruptura)₁ = 5 Ton.

Carga Máxima (a la ruptura)₂ = 4,5 Ton.

Tabla N.- 4.34 Datos para el cálculo de Resistencia de las Probetas de Hormigón Simple

PROBETAS DE HORMIGÓN SIMPLE				
PROBETA	Diámetro 1 cm	Diámetro 2 cm	Promedio	Área cm ²
1	5,06	5,16	5,11	20,5
2	5,05	5,17	5,11	20,5

Fuente: La autora

$$\text{Resistencia a la Compresión}_1 = 244 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la Compresión}_2 = 220 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la Compresión}_{\text{PROMEDIO}} = 232 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

- PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE**

Carga Máxima (a la ruptura)₁ = 4,1 Ton.

Carga Máxima (a la ruptura)₂ = 3,9 Ton.

Tabla N.- 4.35 Datos para el cálculo de Resistencia de las Probetas de Hormigón con aditivo impermeabilizante

PROBETAS DE HORMIGÓN CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE				
PROBETA	Diámetro 1 cm	Diámetro 2 cm	Promedio	Área cm ²
1	5,11	5,19	5,15	20,8
2	5,11	5,19	5,15	20,8

Fuente: La autora

$$\text{Resistencia a la Compresión}_1 = 197 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la Compresión}_2 = 187 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la Compresión}_{\text{PROMEDIO}} = 192 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

- **PROBETAS DE HORMIGÓN + SÍLICE COMO AGREGADO**

Carga Máxima (a la ruptura)₁ = 4,7 Ton.

Carga Máxima (a la ruptura)₂ = 5,3 Ton.

Tabla N.- 4.36 Datos para el cálculo de Resistencia de las Probetas de Hormigón con aditivo impermeabilizante

PROBETAS DE HORMIGÓN CON SÍLICE COMO AGREGADO				
PROBETA	Diámetro 1 cm	Diámetro 2 cm	Promedio	Área cm ²
1	5,09	5,04	5,07	20,15
2	5,12	5,08	5,1	20,43

Fuente: La autora

$$\text{Resistencia a la Compresión}_1 = 233 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la Compresión}_2 = 260 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Resistencia a la Compresión}_{\text{PROMEDIO}} = 247 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se presenta en la siguiente tabla el resumen de los resultados de la resistencia a la compresión para los probetas ensayadas:

Tabla N.- 4.37 Resultados de Resistencia de las Probetas de Hormigón Armado

Probetas	Resistencia a la Compresión Promedio Kg/cm ²
1	232
2	192
3	247

Fuente: La autora

Las proporciones de cemento, arena, grava y agua utilizadas en la fabricación del hormigón fueron diseñadas para alcanzar una resistencia a la compresión a los 28 días de 240 Kg/cm² inicialmente para el caso del ensayo de hormigón simple y observar los resultados obtenidos para los otros dos tipos de encapsulamiento en los cuales en el uno se utilizaría un aditivo y en el otro un agregado.

Los resultados demuestran que para el caso del hormigón simple es ligeramente menor la resistencia alcanzada a la calculada y esperada con un valor de 232 Kg/cm², mientras que para el caso del hormigón con aditivo impermeabilizante el valor es bajo en comparación al anterior, se aduce este resultado a que durante el encofrado del hormigón durante su fabricación en estas probetas el proceso de vertido en los moldes no fue uniforme, lo cual disminuyó la superficie de contacto y la resistencia a la compresión. En el caso del hormigón más sílice como agregado la resistencia alcanzada es de 247 [Kg/cm²] ligeramente mayor a la calculada y esperada.

4.5.3.1.2 Resultados de los Ensayos de Resistencia al Material Encapsulado

La edad del ensayo se lo realizó a los 28 días, tiempo en el cual el testigo alcanza la mayor resistencia.

- **TESTIGO 1: HORMIGÓN ARMADO SIMPLE**

Carga Máxima (a la ruptura) = 53, 58 Ton.

Tabla N. 4.38 Medidas del Testigo 1

ÁREA	Medida 1 cm	Medida 2 cm	Promedio cm
Ancho	19,9	20,0	19,95
Largo	20,2	20,2	20,2

Fuente: La autora

$$\text{Área} = 402,99 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia a la Compresión} = 133 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

- **TESTIGO 2: HORMIGÓN ARMADO CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE**

Carga Máxima (a la rotura) = 81,62 Ton.

Tabla N. 4.39 Medidas del Testigo 2

ÁREA	Medida 1 cm	Medida 2 cm	Promedio cm
Ancho	19,8	19,8	19,8
Largo	20,1	20,1	20,1

Fuente: La autora

$$\text{Área} = 397,98 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia a la Compresión} = 205 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

• **TESTIGO 3: HORMIGÓN ARMADO + SÍLICE COMO AGREGADO**

Carga Máxima (a la ruptura) = 72,28 Ton.

Tabla N. 4.40 Medidas del Testigo 3

ÁREA	Medida 1 cm	Medida 2 cm	Promedio cm
Ancho	19,8	19,8	19,8
Largo	20,1	20,1	20,1

Fuente: La autora

$$\text{Área} = 403 \text{ cm}^2$$

$$\text{Resistencia a la Compresión} = 180 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Se presenta en la siguiente tabla el resumen de los resultados de la resistencia a la compresión para los bloques ensayados:

Tabla N. 4.41 Resistencia a la Compresión del material encapsulado

Testigos	Resistencia a la Compresión Kg/cm^2
1	133
2	205 *
3	179

Fuente: La autora

El testigo 2 el cual corresponde al de hormigón armado con aditivo impermeabilizante presenta la mayor resistencia a la compresión; sin embargo es menor a la resistencia esperada, seguido del testigo 3 el cual corresponde al de hormigón armado con sílice como agregado y el que presenta menor resistencia a la compresión es el testigo 1 el cual corresponde al de hormigón armado simple. Por tanto, el testigo 2 al presentar la mejor resistencia a la compresión es la mejor opción que garantizaría la conservación de la integridad de la masa solidificada. En el Anexo N.-9 y 10 se presentan las gráficas resultantes de los ensayos de resistencia de compresión a la ruptura de los testigos.

4.5.3.2 Impacto

4.5.3.2.1 Testigo 1 Hormigón Simple

El testigo no presenta fracturas, únicamente desgaste en una esquina del mismo debido al impacto. Ver Anexo 11.

4.5.3.2.2 Testigo 2 Hormigón con aditivo impermeabilizante

El testigo no presenta fracturas, únicamente en dos esquinas del mismo se presentaron leves desgastes producidos por el impacto. Ver Anexo 11.

4.5.3.2.3 Testigo 3 Hormigón + sílice como agregado

El testigo no presenta ningún tipo de afectación o desgaste, es decir terminó intacto luego del lanzamiento. Debido a este resultado se procedió a realizar un segundo lanzamiento del mismo pero en esta ocasión de frente sobre el testigo 2 para observar los resultados, los mismos que fueron la afectación leve de dos esquinas, las cuales se desgastaron por el impacto. Ver Anexo 11.

De forma general ninguno de los testigos sufrió una ruptura o afectación que ponga en peligro la integridad de la masa solidificada que pudiera traer como consecuencia la migración metales pesados de las pilas (teniendo en cuenta que si se hubiese dado este escenario sumado a un período de humectación traería como consecuencia la corrosión y migración de los metales de las mismas), por lo que se concluye que los mismos pueden ser lanzados (como ocurre durante la transportación y almacenamiento de bloques como material de construcción) sin que se pudieran ver afectados.

4.6 Viabilidad Económica

Tabla N. 4.42 Análisis del Precio Unitario de 1 m³ de Hormigón

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Fecha: Julio 2009					
Rubro: Hormigón estructural de cemento Pórtland, f'c=240kg/cm ²					
Unidad: m ³					
Especificaciones: Incluye suministro y colocación					
1) <i>LISTA DE MATERIALES</i>					
Código	Material	Cantidad	Unidad	Costo/Unidad	Total
1	Cemento	7,50	saco	6,75	50,63
2	Grava	1,10	m ³	12,00	13,20
3	Arena	0,65	m ³	14,00	9,10
4	Agua	0,30	m ³	3,00	0,90
5	Aditivos	1,50	kg	5,00	7,50
TOTAL:					81,33
2) <i>MANO DE OBRA</i>					
Código	Personal	Cantidad	Rend/hora	Costo/hora	Total
1	Albañil	1	1	2,98	2,98
2	Peón	7	1	1,70	11,93
3	Laboratorista	1	10	2,98	0,30
TOTAL:					15,21
3) <i>LISTA DE MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS</i>					
Código	Maquinaria	Cantidad	Rend/hora	Costo/hora	Total
1	Hormigonera 1 saco	1	1	0,32	0,32
2	Vibrador 2 HP	1	1	0,13	0,13
3	Herramienta menor	1	1	0,13	0,13
TOTAL:					0,58
COSTOS DIRECTOS:					97,08
Código	COSTOS INDIRECTOS			Porcentaje	Total
1	Gastos Generales			9%	8,74
2	Utilidad			10%	9,71
3	Imprevistos			1%	0,97
TOTAL:					19,42
PRECIO UNITARIO TOTAL:					116,55

En la tabla anterior se presenta el análisis del precio unitario de 1 m³ de hormigón estructural de cemento Pórtland f'c=240 kg/cm², del cual se concluye que el precio unitario total es 116,55 USD /m³.

Tabla N. 4.43 Presupuesto para la elaboración de los seis testigos (0,2 x 0,2 x 0,2 m) de las propuestas de encapsulamiento

Rubro	Unidad	Cantidad	P. Unitario USD	P. Total USD
Hormigón	m3	0,048	116,55	5,59
Varilla de Hierro Ø 6 mm	Kg	2,72	2,20	5,98
Malla	m2	0,36	4,20	1,512
Agente Estabilizador	Kg	0,10	2,20	0,22
* Encofrado	m2	0,19	4,00	0,76
TOTAL				14,07

Fuente: La autora

* Se puede utilizar por lo menos 5 veces ($0,96 / m^2 / 5 = 0,19 m^2$)

En la tabla anterior se presenta el presupuesto para la elaboración de los seis testigos (0,2 x 0,2 x 0,2 m) de las tres propuestas de encapsulamiento, del cual tenemos que el costo es de \$ 14,07, y el costo de cada testigo \$ 2,35.

De estos análisis concluimos que es factible económicamente llevar a cabo un proceso de macro encapsulamiento de pilas en testigos para dar una opción adecuada de destino final a las pilas consideradas residuos domésticos peligrosos, y es así que de los cálculos se obtiene que el costo de encapsulamiento de 1 Kg. de pilas usadas es de \$1,40, conociendo que un kilo de pilas usadas aproximadamente comprenden 90 pilas (es un valor variable debido a que las pilas varían en su peso de acuerdo al tipo y marca), con lo cual se deduce que el costo de encapsulamiento de 1 pila esta en alrededor de 1,5 ctvs. aproximadamente.

El costo de encapsulamiento de un testigo de hormigón armado con aditivo impermeabilizante costaría \$ 2,35; conociéndose que para el modelo de encapsulamiento propuesto cada testigo contendría alrededor de 1,7 Kg. de pilas usadas.

Así mismo el costo de encapsulamiento de 1 m³ de hormigón armado con aditivo impermeabilizante corresponde a un valor de \$ 293,75, lo cual corresponde a la fabricación de 125 bloques del modelo de encapsulamiento propuesto y lo cual significaría encapsular alrededor de 212,5 Kg. de pilas usadas.

Adicionalmente se ha realizado el cálculo estimado de cuanto cuesta el mismo tipo y número de pilas que se utilizó en el modelo de encapsulamiento pero como nuevas, para establecer que porcentaje del costo de las pilas nuevas representa encapsularlas cuando estas se convierten en un residuo.

Se presenta en la siguiente tabla los resultados de este cálculo, para el cual se averiguó los costos de los distintos tipos de pilas en sus marcas más comunes, ya que para el encapsulamiento se utilizó pilas usadas de distintas marcas y representaría un trabajo mas detallado averiguar el precio de cada una de ellas, por esta razón se cálculo en base a las marcas más conocidas y comercializadas cuyo precios son aproximados:

Tabla N. 4.43 Costo estimado de pilas nuevas

Tipo de pila		Número de pilas	Costo USD
Alcalinas	D	2	2,9
	C	2	3,3
	9 V	1	3,3
	AA	36	23,4
	AAA	38	33,25
Recargables	AA	1	5
	AAA	1	4
Botón	Grandes	4	6
	Pequeñas	4	4
Otras	-	1	0,65
Total			85,8

Fuente: La autora

Analizando el costo estimado de pilas nuevas frente al costo de encapsulamiento del mismo número de pilas usadas tenemos que el costo de las 90 pilas usadas que se utilizaron para el encapsulamiento es de \$ 85,8 aproximadamente, y el valor de encapsular estas pilas es de \$ 2,35; de lo cual concluimos que el costo de encapsulamiento representa tan solo el 2,7 % del valor en el cual las pilas se comercializan, es decir aproximadamente entre 2 y 3 ctvs./pila adicional al valor en el cual se comercializan.

CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Debido a iniciativas ambientales por parte de los productores y regulaciones por parte de gobiernos de ciertos países, se han mejorado las tecnologías en la producción y consecuentemente la disminución en el contenido de metales pesados como mercurio en las baterías. Sin embargo, no se constata si estas regulaciones solo se aplican en estos países, y si en países como el nuestro continúan exportándose pilas más contaminantes.
- Las pilas botón de óxido de plata (1% mercurio), óxido de mercurio (30% mercurio), y recargables Ni-Cd, Ni-MH y pilas de contrabando son las más contaminantes y no deberían ser arrojadas conjuntamente con los residuos domiciliarios.
- El Ecuador se satisface del consumo de pilas únicamente por importaciones (90% de EE.UU., China y Colombia, 10% restante otros países). No se tiene datos exactos cuales tipos de pilas son las más consumidas, solo se conoce que en su mayoría se importa pilas cilíndricas en un 55,6%, recargables en un 35,6% y botón en un 8,75%, esto para el año 2000. El mayor consumo se da en la zona urbana. El 99% son arrojadas en la basura domiciliaria.
- El DMQ consume el 39,9% de las importaciones que llegan al país. Además de las que viene por contrabando, de esto no se tiene datos exactos solo estimaciones. Para el 2007 consumido el mayor consumo corresponde a las pilas AA con un 66.7%, sin embargo es un dato general este tamaño de pila puede corresponder a diversos tipos. Resultado de las estimaciones se tiene que se consumen 5 pilas/hab.año.
- El Ecuador no cuenta con programas de reciclaje de este residuo ya que no existe la infraestructura necesaria que es altamente costosa, tan solo se conoce que la ciudad de Cuenca realiza un programa de gestión en el cual se ha llegado

a recoger el 1,2% de este desecho generado en esta ciudad, el programa es llevada a cabo por la empresa municipal Etapa.

- En su mayoría países desarrollados si cuentan con plantas de reciclaje para este residuo, y otros como Argentina y Brasil están adoptando métodos de reciclaje. Sin embargo, en otros aun se utiliza el método de recolectarlas y disponerlas en contenedor y en otros es inexistente cualquier gestión.
- El impacto que provoca este residuo principalmente en el caso de baterías recargables en el agua se da por lixiviación, percolación e infiltración a cursos de agua, en el suelo al ser adsorbidos los constituyentes del residuo y estar móviles o biodisponibles como iones en condiciones ácidas, el la biota por bioacumulación en plantas y animales, y en la salud por ingesta de alimentos por la cadena alimenticia.
- En cuanto a peligrosidad los metales de mayor preocupación, presentes en las pilas de uso doméstico son cadmio, manganeso, mercurio, níquel y zinc. Cualquiera que sea el método de disposición, siempre existe alguna posibilidad de liberación de estos metales.
- En las opciones de manejo del residuo tenemos una jerarquía que va desde prevenir la contaminación (a través de la minimización en la generación del residuo por iniciativas que reformulen el proceso, modifiquen el proceso de fabricación, etc.), reuso y reciclaje, tecnologías de tratamiento (incineración, etc.) y finalmente como menos deseada disponer en vertederos. La primera se ha llevado a cabo por los productores que han reformulado disminuyendo el contenido de metales en cierto tipo de pilas, el reuso a través de la utilización de baterías recargables para generar menos volumen de residuo, sin embargo estas son más nocivas al ambiente que las alcalinas. Reciclaje es la opción más idónea sin embargo no es aun viable en nuestro país. Tratamiento como incineración tampoco se ha llevado a cabo. Al no estar disponibles estas, se escoge una tecnología acorde a la realidad y es la disminución de la movilidad de los metales por medio de estabilización y/o solidificación.

- El Ecuador no cuenta con regulaciones en cuanto al requerimiento de pilas para que se puedan comercializar estos productos, tan solo depende de políticas ambientales adoptadas por otros países como Brasil, sin embargo eso no garantiza que los países proveedores adopten tales resoluciones para países como el nuestro. El DMQ tan solo cuenta con una resolución de la norma técnica de la Ordenanza para residuos domésticos peligrosos en el cual está incluido este tipo de residuo.
- De los resultados de la clasificación de pilas recolectadas en la EPN el 98,1% corresponden a primarias o no recargables y solo el 1,5 % a secundarias o recargables. Estas estuvieron constituidas por más de 60 marcas distintas siendo la más consumida la marca Energizer. Este volumen recolectado es equivalente a 122,73 Kg.
- La norma técnica cita a las pilas como desechos domésticos peligrosos por criterio de toxicidad y establece a la solidificación o encapsulamiento como el tratamiento que debe llevarse a cabo como destino final del mismo.
- De los resultados de la comparación de los análisis de metales pesados en base seca por marca y tipo de pila con la normativa se encontró que en los parámetros de plomo ocho marcas de pilas superan el límite 13 *mg/Kg* establecido por la norma y en mercurio una marca de pila supera el límite de 40 *mg/kg* establecido por la norma. Mientras que en la comparación por tipo de pila se encontró que las baterías alcalinas de manganeso, botón y celular en el parámetro de plomo superan el límite establecido por la norma y las pilas botón superan el límite en el parámetro mercurio. Como se supera los límites en más de un parámetro entonces se caracteriza al residuo como peligroso.
- Los resultados de los análisis de metales de la prueba de lixiviación a la muestra de pilas no superaron los valores establecidos por la norma, sin embargo como en su composición en base seca si superan entonces se mantiene la caracterización como residuos doméstico peligroso.

- Los resultados de los análisis de metales de la prueba de lixiviación del material encapsulado tampoco superaron los valores establecidos por la norma. Se evidencio una disminución de la concentración de níquel y zinc de la concentración que presento la prueba de lixiviación de pilas, esto para el caso del testigo de hormigón simple. Mientras que para el caso de las otras dos propuestas de encapsulamiento la concentración de metales se encontraron en los valores mínimos.
- De los resultados de la evaluación de la eficacia del proceso de encapsulamiento se tiene que todos los testigos presentaron un ligero menor peso específico (2,16) que el esperado para un hormigón con resistencia de 210 [Kg/cm^2] y peso específico adecuado igual a 2,4. Pero si obtuvieron mayores pesos específicos que sus respectivas probetas, lo cual indica que son más compactos que estos.
- De los resultados de Absorción el testigo con aditivo impermeabilizante presenta la menor absorción (4,2%). De igual manera esta propuesta presenta la menor porosidad.
- De los resultados de la resistencia a la compresión en general las probetas presentan mayor resistencia que sus respectivos bloques a excepción de las probetas de hormigón con aditivo impermeabilizante que es menor esto debido a un error en el proceso de vertido el cual no fue uniforme y se aduce que esto resto resistencia. Estos resultados son coherentes puesto que la celda cúbica ubicada en el centro del testigo desplaza al hormigón que se podría utilizar en este espacio y eso resta resistencia. El testigo de hormigón con aditivo impermeabilizante es el que mayor resistencia presentó con un valor a 205 Kg/cm^2 , valor de resistencia similar a la de un bloque o adoquín utilizado para tránsito peatonal cuyo valor de resistencia es de 200 Kg/cm^2 .

- De los resultados de la prueba de impacto en general ninguno de los testigos presentó afectaciones que comprometan la integridad del residuo estabilizado, tan solo leves desgastes en sus esquinas.
- Se concluye que la propuesta que presento mejores resultados corresponde a los testigos de hormigón con aditivo impermeabilizante.
- De los resultados del análisis económico de la mejor propuesta tenemos que el costo de 1,40 USD/Kg pilas, 2,35 USD/bloque y que de 1 m³ de hormigón es posible obtener alrededor de 125 bloques, lo que equivaldría a encapsular 212,5 Kg. de pilas usadas por el valor de 293,75 USD. Comparando el precio de pilas nuevas frente al costo estimado de las mismas pilas pero usadas, encapsuladas en el bloque se tiene que el 2,7% del precio de las pilas nuevas corresponde el costo para poder encapsularlas, lo que equivaldría a elevar entre 2 y 3 ctvs. de su valor original. Como se aprecia el costo no resulta tan elevado como se pensaría por lo que se concluye que aplicar esta tecnología si es viable económicamente, así como técnicamente por la accesibilidad de encontrar los materiales y herramientas, y ambientalmente ya que si logra alcanzar lo citado en la bibliografía que es disminuir la migración de los contaminantes al medio ambiente.

5.2 RECOMENDACIONES

- Los bloques de material encapsulado pueden y se recomienda ser aplicados en lugar de los molones o basílicas para muros de contención, para taludes. En el peor de los casos podrían ser aplicables para ser usados en muros de contención en un relleno sanitario. Otra aplicación recomendable podría ser para base de monumentos.
- Al no existir el reciclaje, otro camino podría ser el recurrir a una estrategia de exportación hacia países que tienen la tecnología para reciclar como EE.UU. o Canadá, por lo que se recomienda la realización de estudios en los cuales se busque actores interesados dispuestos a realizar inversiones en el tratamiento de pilas, principalmente baterías de celular las cuales son potencialmente contaminantes. Esto puede ser llevado a cabo en base a lo que establece el Convenio de Basilea en cuanto a los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos hacia países con tecnologías para su tratamiento y también basados en las regulaciones que tienen otros países como Brazil hacia los productores importadores en cuanto a que para poder comercializar debe existir el reintegro de sus productos usados a través del consumidor , y directamente o por medio de terceros realicen los procedimientos de recolección, tratamiento y/o reciclaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIBROS Y MANUALES

- AGUILUZ Lizly, TORRES Mariela; DIAGNÓSTICO DE LA GESTIÓN DE PILAS Y SU PELIGROSIDAD COMO RESIDUOS EN CHILE. Santiago-Chile. 2006
- MUÑOZ, Marcelo; MANUAL DE MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. 1era. Edición. Quito-Ecuador. 2008
- LA GRECA Michael, BUCKINGHAM Phillip, EVANS Jeffrey; GESTION DE RESÍDUOS TÓXICOS Tratamiento, Eliminación y Recuperación de suelos Volumen II. 1era. Edición. Mc Graw Hill. México. 1996
- RIVERA, Juan; MANEJO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS, EN LA COMUNA DE TALCAHUANO. I. Municipalidad de Talcahuano-Dirección de Medio Ambiente. 2002
- MARTINEZ, Xavier; GUÍA PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESÍDUOS PELIGROSOS Tomo 1 y 2. 1era. Edición. Quito-Ecuador. 2007
- DREW QUEMICAL CORPORATION. Principios de Tratamiento de Agua Residual. Drew Productos Químicos. Sao Paulo-Brasil
- TCHOBANOGLOUS, George; THEISEN, Hilary; VIGIL, Samuel; GESTIÓN INTEGRAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Mc Graw-Hill
- LEÓN, César; QUÍMICA ANALÍTICA CUALITATIVA
- DRAGUN, James; JOURNAL OF SOIL CONTAMINATION. Volumen 5. Número 4. Lewis Publishers. EE.UU. 1996

-

ARTÍCULOS

- REIDLER; Nivea: RISSO, Wanda; PROGRAMA PAPA-PILHAS-USING THE RESULTS OF RESEARCH TO CREATE A SUSTAINABLE PUBLIC AND ENVIRONMENTAL HEALTH PROGRAM THROUGH PRIVATE INSTITUTION. XXXI Congreso Interamericano AIDIS. Santiago-Chile. 2008

- BONILLA, Pablo; RECUPERACIÓN Y REUTILIZACIÓN DE COMPONENTES QUÍMICOS PROVENIENTES DE PILAS Y/O BATERÍAS POR VÍA HÚMEDA. Congreso Internacional de Reciclaje de Materiales. Quito-Ecuador.2007

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS

- ANÓNIMO. Energizer. <http://www.energizer.com/Pages/default.aspx>., 2009
- ANÓNIMO. GP Batteries. <http://www.gpbatteries.com.hk/html/front/index.html>, 2009
- ANÓNIMO. Web-Resol. <http://www.resol.com.br>, 2009
- ANÓNIMO. United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/>, 2009
- ANÓNIMO. WIKIPEDIA. Espectroscopía de Absorción atómica. http://es.wikipedia.org/wiki/Espectroscopia_de_absorci%C3%B3n_at%C3%B3mica, 2009
- ANÓNIMO. Revisión y análisis de las experiencias de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador y México respecto de los cinco elementos claves para el manejo ambiental de pilas y baterías. <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsars/e/fulltext/pilas/pilas.pdf>, 2009
- ANÓNIMO, Battery Recycling Information Sheet. <http://www.wasteonline.org.uk/resources/InformationSheets/Batteries.htm>, 2009
- ANÓNIMO, Etapa Cuenca http://www.etapa.net.ec/DGA/dga_pro_rec_pil_que_hac.aspx, 2009

ANEXOS

Anexo 1. Muestra de pilas a ser encapsuladas

Nº de muestras: 7 (Encapsulamiento (6), Prueba de Lixiviación (1))

Detalle de la muestra

Peso = 1,707 Kg.

Tipo de pila		Número de pilas	%	Peso
Alcalinas	AA	36	40	774,66
	AAA	38	42,2	444,85
	D	2	2,2	239,88
	C	2	2,2	141,91
	9V	1	1,1	46,34
Recargables Ni-MH	AA	1	1,1	22,62
	AAA	1	1,1	9,98
Botón	Diferentes tamaños	8	8,9	12,54
Otras	-	1	1,1	7,93
Total		90	100	1700,71

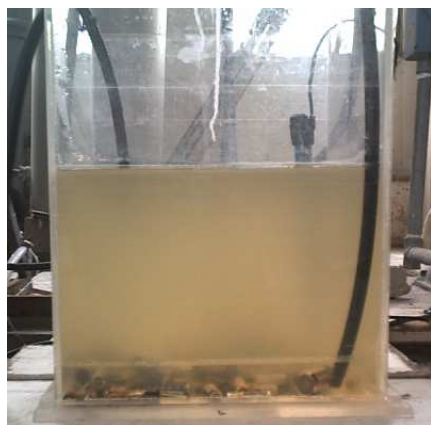


Anexo 2. ENSAYO DE LIXIVIACIÓN DE PILAS

a) Inicio de la Prueba



b) Finalización de la Prueba (Después de 24 horas)



c) Toma de muestra $v = 1$ lt.



Anexo 3. DETERMINACIÓN DE LA GRANULOMETRIA DE LA ARENA

1. OBJETIVO.-

- Determinar el tamaño de las partículas que componen la muestra de arena siendo la muestra del presente ensayo de 800 g. para agregado fino.
- Realizar la determinación granulométrica, tamizando la muestra de ensayo a través de un juego de tamices estandarizados (ASTM), de los que se obtienen datos para determinar la curva granulométrica, cuyas abscisas son las aberturas de los tamices y las ordenadas el porcentaje que pasa por cada uno de ellos, utilizando escala logarítmica en las abscisas.

2. EQUIPO.-

- Tamices, se utiliza los tamices de la denominada serie módulo de finura, de Duff de Abrams:

FINOS	
Nº de Tamiz	Diámetro (mm)
3/8	9,53
4	4,75
8	2,36
16	1,18
30	0,6
50	0,3
100	0,15
200	0,075

- Tapa y fondo
- Tamizadora
- Balanza
- Recipientes
- Brocha
- Cepillo Metálico

3. PROCEDIMIENTOS

- Secar la muestra de análisis en el horno a 110 °C de 18 a 24 horas y cuartear la muestra de ensayo.
- Armar los tamices en orden creciente de tamaños de abertura desde el plateo recolector (bandeja), hasta el mayor

- Se coloca la muestra por la parte superior del juego de tamices y se tapa.
- Agitar vigorosamente en la tamizadora durante 5 o 10 minutos.
- Determinar el peso del material retenido en cada uno de los tamices y anotar en el cuadro de valores.

4. CÁLCULOS

- Determinar el % que se retiene en cada uno de los tamices, referido al peso total retenido, que no debe diferir más del 2% del peso inicial de la muestra.
- Determinar el porcentaje retenido acumulado de material en cada uno de los tamices (números enteros)
- Determinar el % del peso del material que pasa por cada uno de los tamices.
- %pasa = 100 - %retenido
- Determinar el módulo de finura del material como sigue:

$$M.F = \frac{\sum \text{retenidos acumulados en los tamices serie módulo de finura}}{100}$$

5. RESULTADOS

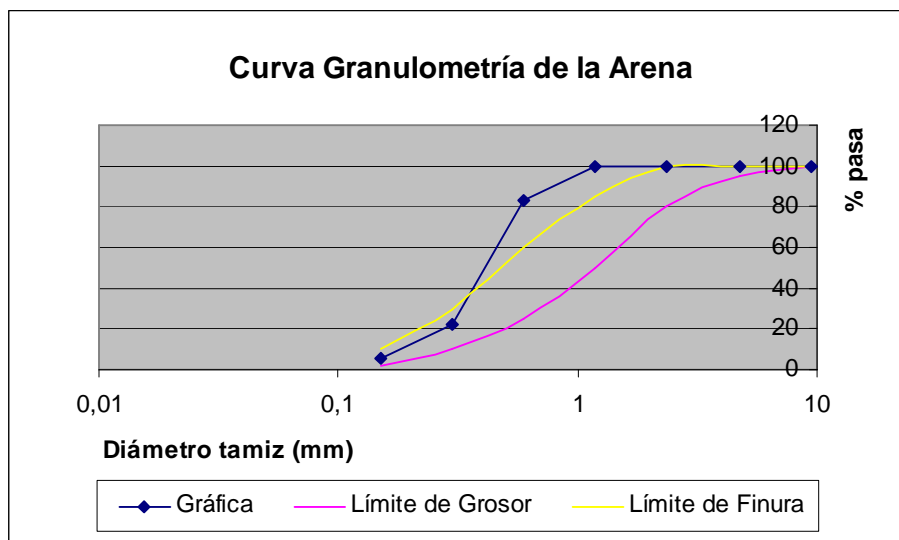
Nº de Tamiz	Peso retenido PARCIAL	Peso retenido ACUMULADO	% retenido ACUMULADO	% QUE PASA
3/8	0	0	0	100
4	0,2	0,2	0	100
8	0,4	0,6	0	100
16	2	2,6	0	100
30	134,8	137,4	17	83
50	489,2	626,6	78	22
100	122,4	749	94	6
200	39,9	788,9	99	1
bandeja	9,7	798,6	100	0

1. Granulometría de la Arena

Peso de la muestra (g):	800,00
MODULO DE FINURA:	1,89
% MALLA Nº 200	5
Variación % peso después de tamizar la muestra:	0,175

Nº de Tamiz	Límite de grosor	Límite de finura
3/8	100	100
4	95	100
8	80	100
16	50	85
30	25	60
50	10	30
100	2	10

2. Límites de Granulometría



3. Curva Granulométrica de la Arena

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De la granulometría obtenida en la muestra, el módulo de finura es de 1,89, siendo el establecido entre 2,3 y 3,0.
- La Curva Granulometría indica estar fuera de los límites antes indicados.
- El % que pasa la malla Nº 200 en la muestra es del 5% de la muestra original, lo cual demuestra que está dentro del rango establecido pues no puede ser mayor al 6%.
- La variación de muestra después de tamizarla en la prueba es de 0,17%, lo cual es menor al 2% de lo establecido.



Anexo 4. Determinación de la Granulometría de la Grava

7. OBJETIVO.-

- Determinar el tamaño de las partículas que componen la muestra de grava siendo la muestra del presente ensayo de 1000 g. para agregado grueso.
- Realizar la determinación granulométrica, tamizando la muestra de ensayo a través de un juego de tamices estandarizados, de los que se obtienen datos para determinar la curva granulométrica, cuyas abscisas son las aberturas de los tamices y las ordenadas el porcentaje que pasa por cada uno de ellos, utilizando escala logarítmica en las abscisas.

8. EQUIPO.-

- Tamices, se utiliza los tamices de la denominada serie módulo de finura, de Duff de Abrams de acuerdo al tamaño nominal:

GRUESOS	
Nº de Tamiz	Diámetro (mm)
1/2"	12,5
3/8"	9,5
4	4,75
8	2,36
16	1,18

- Tapa y fondo
- Tamizadora
- Balanza
- Recipientes
- Brocha
- Cepillo Metálico

9. PROCEDIMIENTOS

- Secar la muestra de análisis en el horno a 110 °C de 18 a 24 horas y cuartear la muestra de ensayo.
- Determinar el peso de la muestra inicial.
- Armar los tamices en orden creciente de tamaños de abertura desde el plateo recolector (bandeja), hasta el mayor

- Se coloca la muestra por la parte superior del juego de tamices y se tapa.
- Agitar vigorosamente en la tamizadora.
- Determinar el peso del material retenido en cada uno de los tamices y anotar en el cuadro de valores.

10. CÁLCULOS

- Determinar el % que se retiene en cada uno de los tamices, referido al peso total retenido, que no debe diferir más del 2% del peso inicial de la muestra.
- Determinar el porcentaje retenido acumulado de material en cada uno de los tamices (números enteros)
- Determinar el % del peso del material que pasa por cada uno de los tamices.
- %pasa = 100 - %retenido
- Determinar el módulo de finura del material como sigue:

$$M.F = \frac{\sum \text{retenidos acumulados en los tamices serie módulo de finura}}{100}$$

11. RESULTADOS

Nº de Tamiz	peso retenido parcial	peso retenido acumulado	% retenido acumulado	% que pasa
1/2"	0	0	0	100
3/8"	57,4	57,4	6	94
4	730,7	788,1	79	21
8	146,4	934,5	93	7
16	36,2	970,7	97	3
bandeja	29,3	1000	100	0

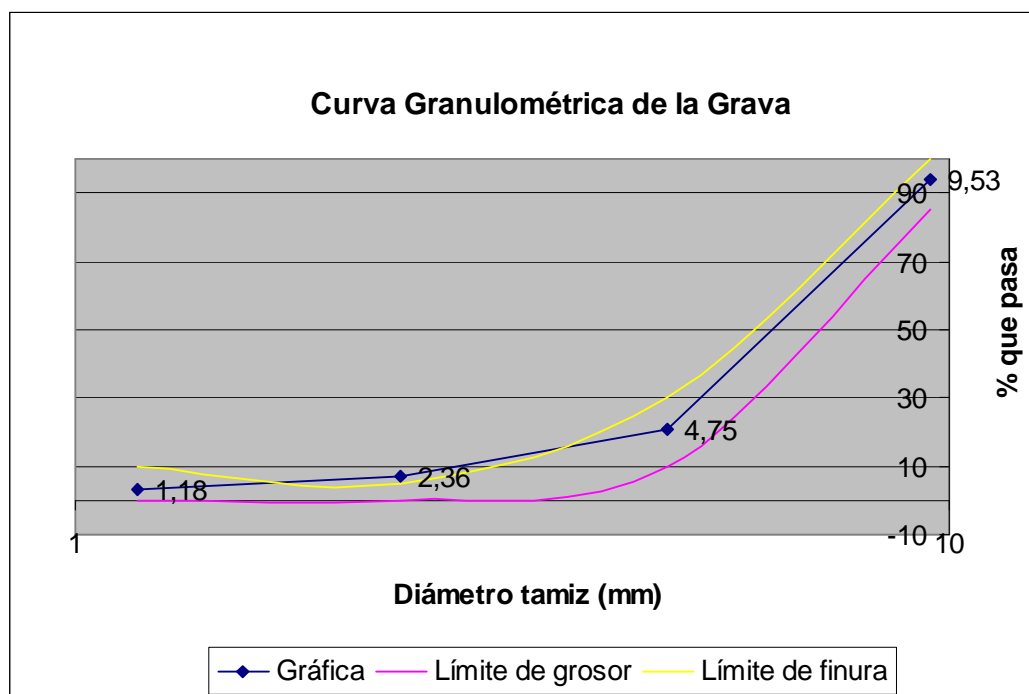
4. Granulometría de la Grava

Peso de la muestra (g):	1.000
MODULO DE FINURA:	4,25
% MALLA Nº 16	4
Variación % peso después de tamizar la muestra:	0,00

LIMITES TAMIZ	Límite de grosor	Límite de finura
1/2"	100	-
3/8"	85	100
4	10	30
8	0	5
16	0	10

5. Límites de Granulometría

Fuente: Grading Requirements for Coarse Agregates



6. Curva Granulométrica de la Grava

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- De la granulometría obtenida en la muestra, el módulo de finura es de 4,25, lo cual indica que corresponde a una grava fina, la cual es apropiada para el propósito establecido.
- La Curva Granulométrica indica que las partículas se encuentran dentro de los parámetros normales, únicamente en el tamiz N° 8 (2,36 mm) las partículas están ligeramente fuera del rango de los límites de finura.
- El % que pasa la malla N° 16 en la muestra es del 4% de la original, que está dentro del rango establecido pues no puede ser mayor al 6%.

- La variación de muestra después de tamizarla en la prueba es de 0,00%, lo cual es menor al 2% de lo establecido.



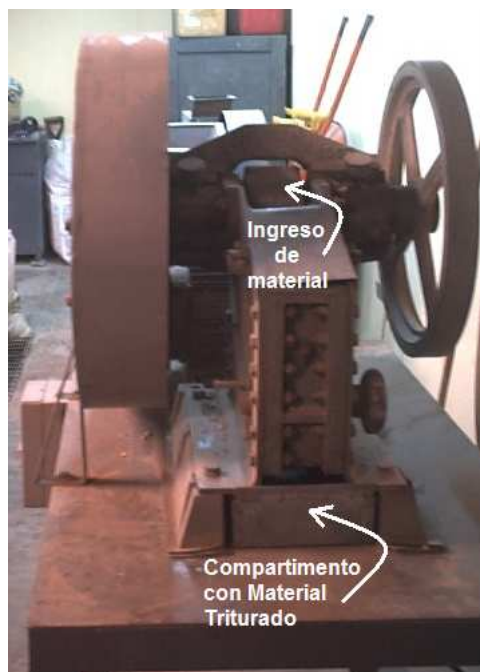
Anexo 5. Preparación del Sílice a ser utilizado como agregado en la conformación de testigos de hormigón armado con sílice como agregado

a) Materia Prima: el material a ser utilizado son piedras de cuarzo (SiO_2), las cuales fueron extraídas de las orillas de un río ubicado en el puerto de Misahualli Prov. de Napo.



b) Picado del material: previo a la trituración en la trituradora es necesario reducir el tamaño del material, para lo cual se pico el material manualmente con la ayuda de un pico y martillo.

c) Trituración: una vez reducido el tamaño de material en partículas de un tamaño de 10-15 mm se procedió a triturar en la trituradora del Departamento de Metalurgia Extractiva.



La trituradora redujo el tamaño del material considerablemente, sin embargo para ingresar al pulverizador es necesario que su tamaño sea el menor posible por lo que posterior a la trituradora el material triturado se ensayo en el molino de bolas, se recalca que se ajusto al máximo esta máquina para que el diámetro de las partículas sea el menor posible.





Molino de Bolas



Ingreso de sílice al molino de bolas



Resultado de sílice triturado

d) Pulverización: este proceso se llevó a cabo en el pulverizador, el mismo que admite partículas con diámetros menores a 1 mm. Esta máquina tiene la capacidad de pulverizar 100 g. de material por vez, el tiempo de pulverización fue de aproximadamente un minuto por vez.

Debido al ruido que emite esta máquina y al fino material que resulta del proceso, se utilizó protección auditiva, visual, mascarilla y guantes.



Pulverizador



Sílice a ser pulverizado

Sílice pulverizado

Anexo 6. Proceso de encapsulamiento de pilas y elaboración de prefabricados de hormigón armado

a) Mezclado del material



b) Preparación del material



c) Vertido



d) Conformación del Testigo



e) Macro encapsulamiento de pilas usadas



f) Fraguado



g) Desencofrado y curado



h) Testigos de Hormigón

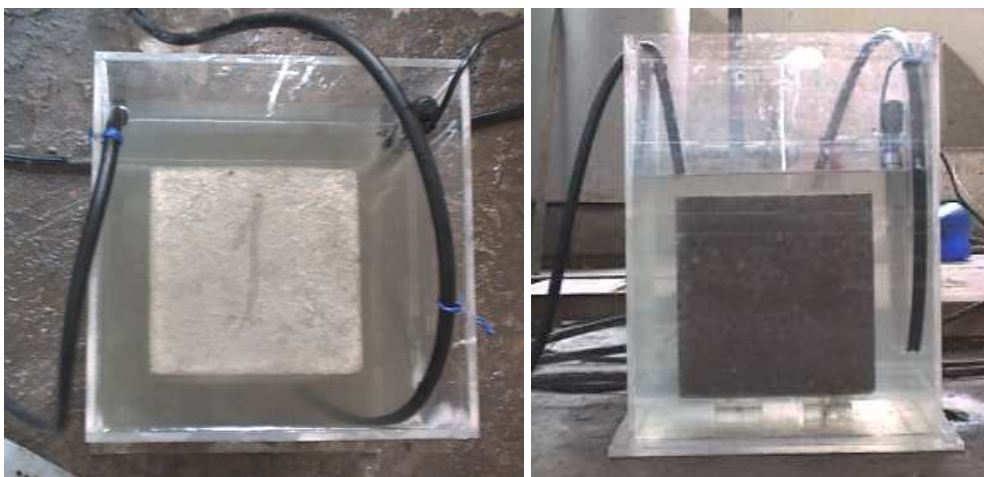


i) Probetas

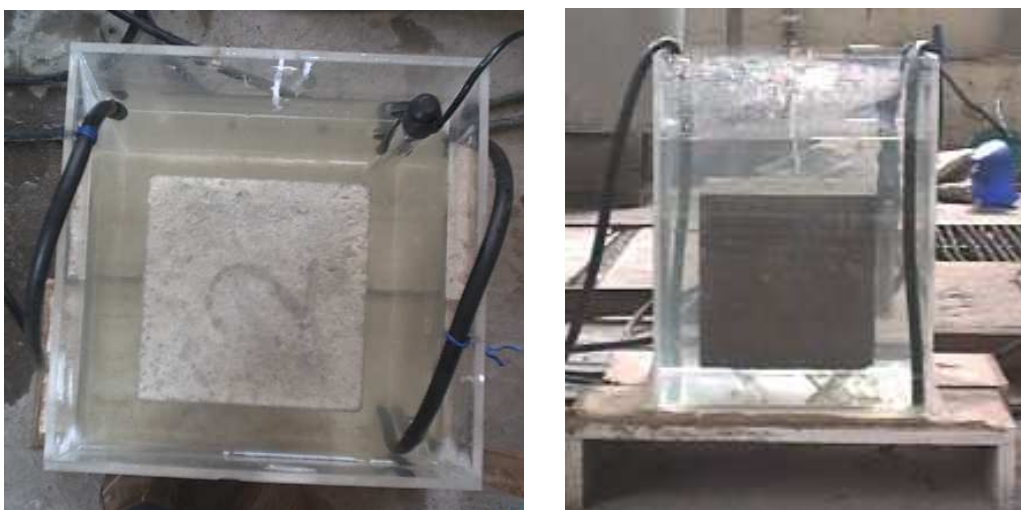


Anexo 7. Prueba de Lixiviación al material Encapsulado

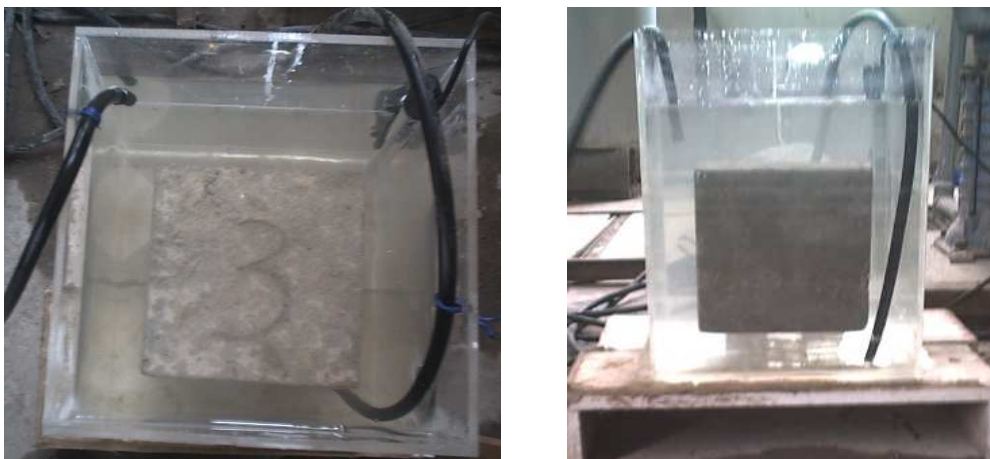
a) Testigo de Hormigón simple



b) Testigo de Hormigón con aditivo impermeabilizante



c) Testigo de Hormigón más sílice como agregado



Anexo 8. Resultados de los Análisis de metales pesados por lectura de Absorción Atómica de la Prueba de Lixiviación de pilas y material encapsulado

1) Resultados de los Análisis de metales pesados de la Prueba de Lixiviación de Pilas



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



RESULTADO DE ANALISIS

Solicitante: Vicente Ortiz
Referencia: ST - 4646
Fecha: 24-03-09
Muestras: Una muestra de agua
Método: Absorción Atómica

Muestra Código	Determinación	Resultados
#1 13/03/2009	Plata	<0,01 mg/l
	Cadmio	<0,01 mg/l
	Cobalto	<0,01 mg/l
	Cromo	<0,01 mg/l
	Níquel	1,35 mg/l
	Plomo	<0,1 mg/l
	Zinc	2,17 mg/l
	Manganeso	0,07 mg/l
	Mercurio	<0,1 ug/l



Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Departamento

2) Resultados de los Análisis de metales pesados de la Prueba de Lixiviación del Testigo de Hormigón Simple



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA



RESULTADO DE ANALISIS

Solicitante: Vicente Ortiz
Atención: Catalina Ortíz
Referencia: ST - 4657
Fecha: 17-04-09
Muestras: Una muestra de agua
Método: Absorción Atómica

Muestra Código	Determinación	Resultados
#2 02/04/2009	Plata	<0,01 mg/l
	Cadmio	<0,01 mg/l
	Cobalto	<0,01 mg/l
	Cromo	<0,01 mg/l
	Níquel	0,02 mg/l
	Plomo	<0,1 mg/l
	Zinc	0,01 mg/l
	Manganeso	<0,01 mg/l
	Mercurio	<0,1 ug/l

Ernesto de la Torre
 Ing. Ernesto de la Torre
 Jefe de Departamento

2) Resultados de los Análisis de metales pesados de la Prueba de Lixiviación del Testigo de Hormigón con aditivo impermeabilizante (#3)



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRACTIVA

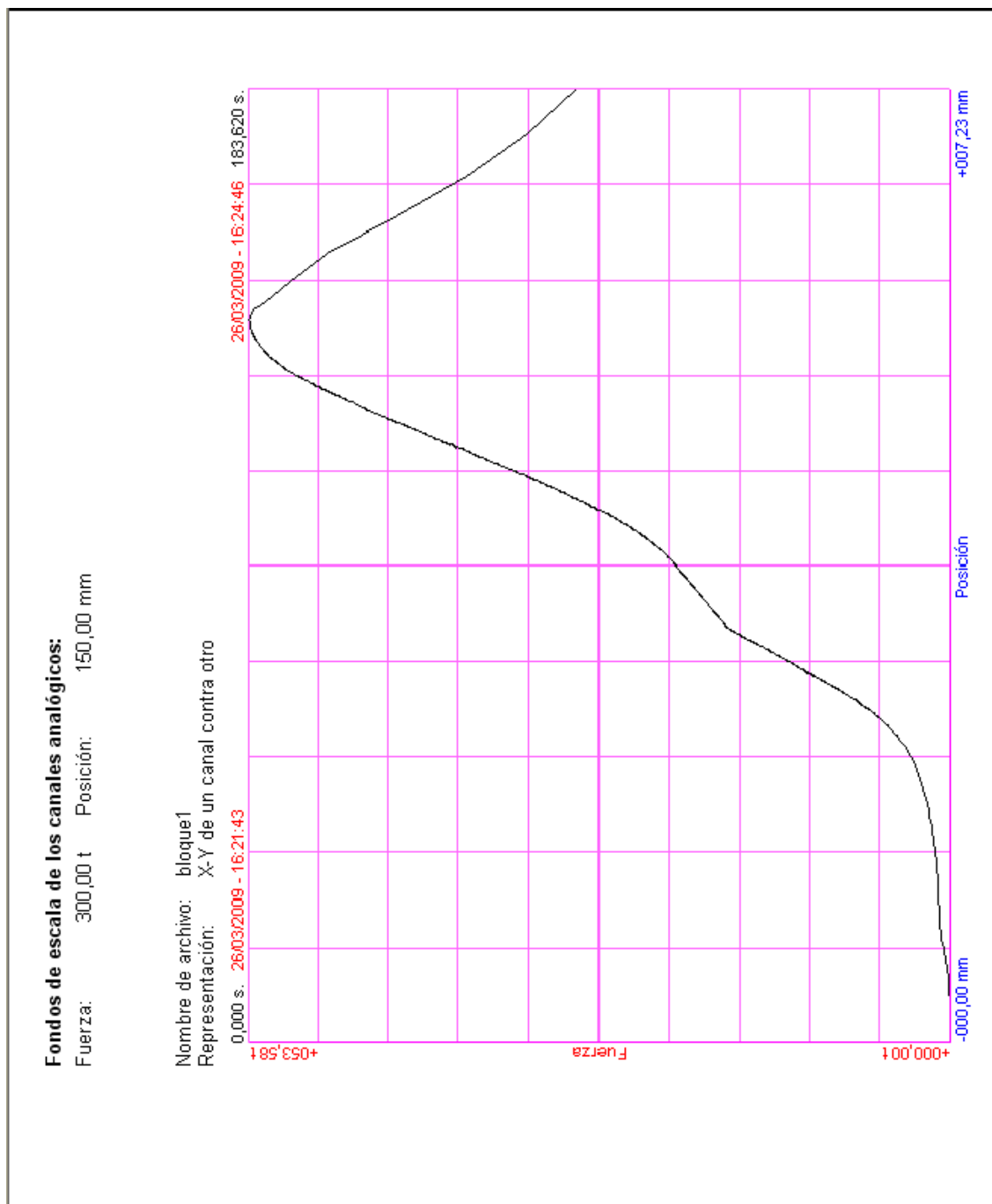


RESULTADO DE ANALISIS

Solicitante: Vicente Ortiz
Atención: Catalina Ortíz
Referencia: RM - 5562 y RM - 5564
Fecha: 27-04-09
Muestras: Dos muestra de agua
Método: Absorción Atómica

Muestra Código	Determinación	Resultados
#3 07/04/2009	Plata Cadmio Cobalto Cromo Níquel Plomo Zinc Manganeso Mercurio	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,1 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,1 ug/l
#4 08/04/2009	Plata Cadmio Cobalto Cromo Níquel Plomo Zinc Manganeso Mercurio	<0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,1 mg/l <0,01 mg/l <0,01 mg/l <0,1 ug/l

Mrs. Ernesto de la Torre
Ing. Ernesto de la Torre
Jefe de Departamento

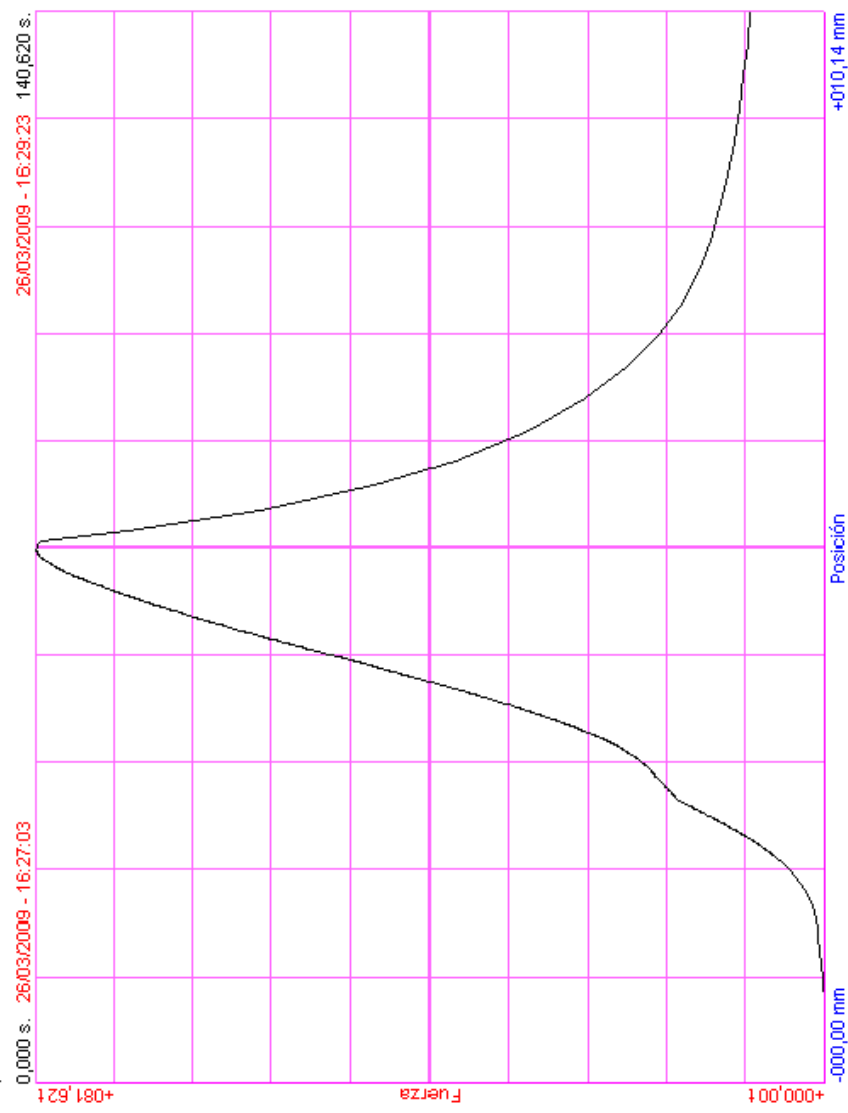
Anexo 9. Gráficas de los Ensayos de Resistencia a la Compresión

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: bloque2

Representación: X-Y de un canal contra otro

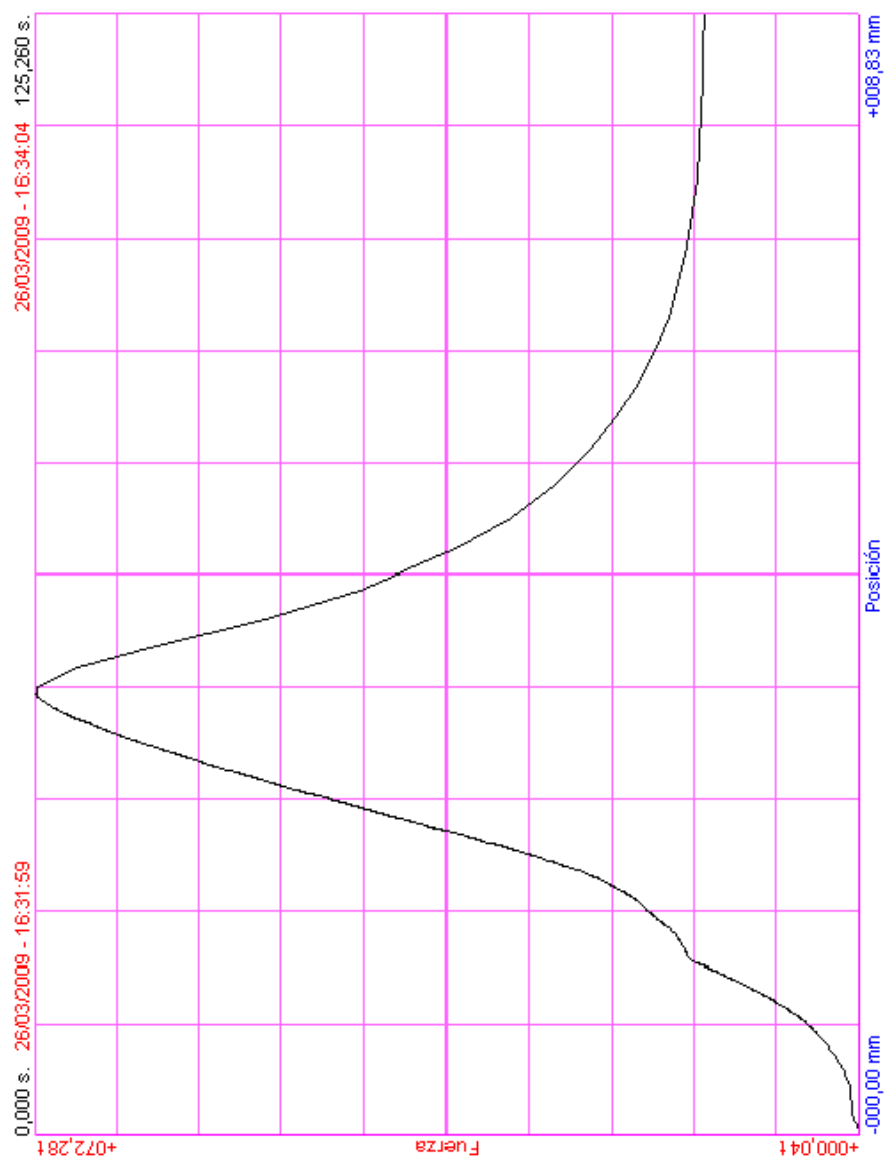


Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 300,00 t Posición: 150,00 mm

Nombre de archivo: bloque3

Representación: X-Y de un canal contra otro



26/03/2009 - 16:34:04 125,260 s.

Anexo 10. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS TESTIGOS**Testigo 1 HORMIGÓN ARMADO SIMPLE**

a)



b)



c)



Testigo 2 HORMIGÓN ARMADO CON ADITIVO IMPERMEABILIZANTE

a)



b)



c)



Testigo 3 HORMIGÓN ARMADO + SÍLICE COMO AGREGADO

c)



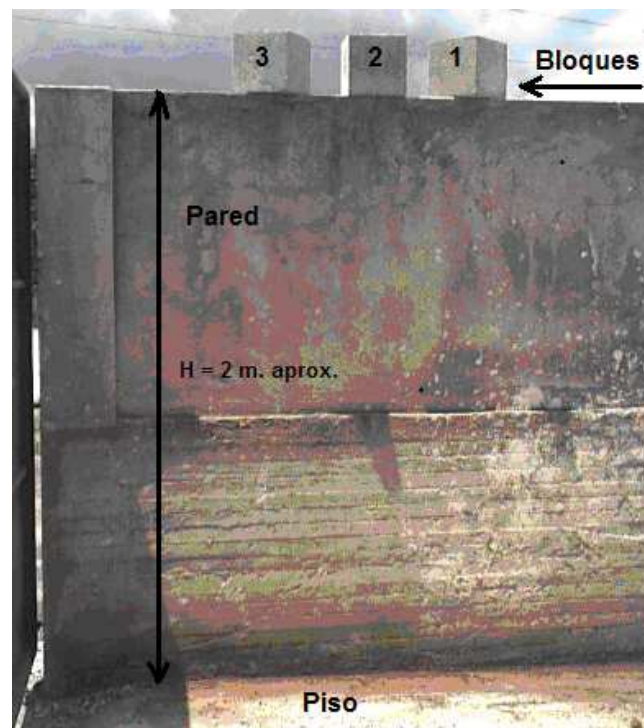
b)



c)



Anexo 11. Prueba Impacto

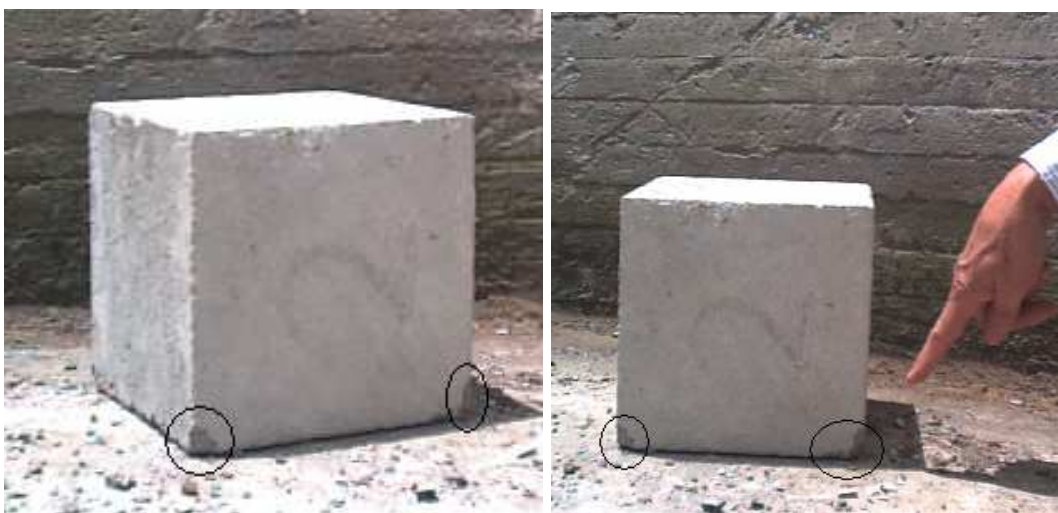


Testigo 1





Testigo 2



Testigo 3





Segundo Lanzamiento del Testigo 3



GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Absorción.-** constante de cada material que indica la capacidad del mismo para absorber y retener agua en sus poros permeables.
- **Aditivo.-** material utilizado eventualmente como un ingrediente del mortero y hormigón que se le añade durante su mezclado para modificar sus propiedades.
- **Árido.-** material granular que resulta de la disgregación y desgaste de las rocas, o que se obtiene mediante la trituración de ellas.
- **Arena, árido fino.-** árido cuyas partículas atraviesan por el tamiz INEN 4,75 mm y son retenidas en el tamiz INEN 75 μ m.
- **Baterías.-** se llama así a los arreglos de pilas conectados en serie para alcanzar mayores voltajes.
- **Curado.-** es el proceso de aplicar y controlar ciertas condiciones ambientales para el fraguado y endurecimiento del hormigón.
- **Desgaste.-** el desprendimiento de material o la desintegración del acabado de la superficie debido a agentes atmosféricos, agentes químicos, fricción o impacto en la piedra.
- **Destino Final.-** es la acción de depósito permanente de los residuos en sitios y condiciones adecuadas para evitar daños a la salud y al ambiente.
- **Dosificación.-** proporción en masa o en volumen de los distintos materiales que integre una mezcla.
- **Endurecimiento.-** proceso de aumento de la resistencia mecánica posterior al período de fraguado.
- **Ensayo TCLP.-** procedimiento para determinar el grado de lixiviación, por sus siglas en inglés que significan características de toxicidad, procedimiento de lixiviación.
- **Estabilización.-** proceso que utiliza aditivos (reactivos) para reducir la naturaleza peligrosa del residuo, disminuyendo la velocidad de migración de contaminantes y el nivel de toxicidad.
- **Fraguado.-** es el proceso inicial de hidratación por el cual el hormigón cambia de un estado fluido a un estado rígido.

- **Grava, árido grueso.-** árido cuyas partículas son retenidas por el tamiz INEN 4,75 mm.
- **Granulometría.-** distribución porcentual en masa de los tamaños de las partículas que constituyen un árido, determinada con tamices normalizados.
- **Gestores de residuos.-** Son las personas naturales o jurídicas, públicas o privadas calificadas por la DMA, responsables del manejo, gestión, recolección, transporte, transferencia o disposición final de los residuos.
- **Hormigón.-** es la mezcla constituida por aglomerantes hidráulicos, áridos (finos, gruesos), agua y el eventual uso de aditivos en proporciones adecuadas para obtener características prefijadas.
- **Hormigón armado.-** es el material compuesto de hormigón y varillas de refuerzo, generalmente de acero, dispuesto de manera que se asegure se acción conjunta.
- **Lixiviación.-** proceso por el cual los contaminantes se transfieren de un residuo y/o de una matriz estabilizada a un medio líquido como el agua (lixivante).
- **Lixivante.-** fluido al cual son lixiviados los contaminantes.
- **Lixiviabilidad.-** capacidad de un material estabilizado para lixiviar contaminantes
- **Lixiviado.-** se define como el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos y que extrae materiales disueltos o en suspensión.
- **Macro encapsulación.-** mecanismo por el cual los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados físicamente en una matriz estructural de mayor tamaño.
- **Metal Pesado.-** grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad en determinadas concentraciones para el ser humano y representan un problema ambiental.
- **Molón.-** piedra grande sin labrar, de forma regular o aproximadamente esférica, tal como se extrae de la cantera para su transporte y adecuación y cuyo diámetro aproximado es mayor a 20 centímetros.
- **Muestra.-** es la cantidad extraída al azar de un lote y representativa de la calidad del mismo.

- **Pila.-** generador de electricidad basado en la conversión de constituyentes químicos en energía eléctrica.
- **Residuo Doméstico Peligroso.-** Son aquellos que por su característica física o química como corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad o de riesgo biológico, puedan causar daños al ser humano o al medio ambiente.
- **Solidificación.-** proceso en el que se añade cantidad suficiente de material solidificante a los materiales peligrosos para originar una masa solidificada que mejore las propiedades técnicas y físicas del mismo.
- **Toxicidad.-** capacidad de una sustancia de ser letal en baja concentración o de producir efectos tóxicos acumulativos, carcinogénicos, mutagénicos, o teratogénicos a los organismos.
- **Vertido.-** es la operación de llenado de los moldes o encofrados con hormigón o mortero.