

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Ambientales

Tesis de Grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Ambiental

**“ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE PILAS NO
RECARGABLES”**

Autora:

Andrea Maldonado Villalba

Directora de Tesis:

Ing. Katty Coral

**Quito - Ecuador
2008**

AGRADECIMIENTO

Dice: Juan Salvador Gaviota “Yo os deseo obstáculos, luchas. La batalla os endurecerá.

Hacia la ancianidad habréis adquirido ese aspecto vigoroso y rudo de las viejas rocas abatidas por las tempestades.

El mundo hostil os habrá esculpido, seréis caracteres, pero también tendréis carácter y el oleaje de la opinión os hará reír”

Richard Bach

Agradezco a Dios porque me ha dado la oportunidad de ser y de llegar a concluir una etapa más en mi vida.

A mis padres y a mis abuelitos, porque a través de Dios, con amor, sabiduría y ejemplo, moldearon mi espíritu e hicieron de mí una persona de bien y sobre todo me enseñaron que mi mayor gloria no está en no haber caído, sino en levantarme cada vez que caiga.

A una persona muy especial en vida y a todos mis amigos, con los cuales he compartido momentos inolvidables.

A la Universidad Internacional SEK, porque a través de sus Directivos y Personal Docente sembraron con infinita comprensión y paciencia el conocimiento y el deseo permanente de aprender. De manera especial mi reconocimiento a la Ing. Katty Coral, Directora de la Tesis, quién con su guía y conocimiento hizo posible, de la mejor manera, la realización de esta investigación.

Al Ingeniero M. Sc. Guillermo Realpe Director del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Quito y a todo su Equipo de Trabajo por la colaboración desinteresada, brindada para la ejecución del presente trabajo.

ANDREA MALDONADO VILLALBA

DEDICATORIA

A mis Padres, unas personas muy especiales, por su apoyo y esfuerzo diario, encaminado a contribuir en el logro de mis aspiraciones, triunfos académicos y personales.

A mi Hermano, su Esposa y en especial a mis hermosos Sobrinos que han sido un incentivo en todo momento.

ANDREA MALDONADO VILLALBA

RESUMEN

La investigación se refiere a la estabilización y solidificación de los componentes metálicos de las pilas desechadas (litio, níquel, cadmio, manganeso, zinc, plomo, cromo, mercurio), a través de su encapsulamiento en concreto, elementos que constituyen residuos peligrosos que pueden ocasionar daños adversos e irreparables en el ambiente y afectar a la salud de los seres humanos.

Se utilizó materiales comunes en la construcción, como el cemento, arena, ripio, agua y aditivo impermeabilizante-plastificante, con el fin de formar una masa sólida de hormigón en cilindros que inertizaron o encapsularon a 20, 15 y 8 pilas, evitando de esta manera la lixiviación de sus componentes metálicos hacia el ambiente. Los cilindros fueron sometidos al Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad (TCLP) y al ensayo de resistencia a la compresión, con el fin de determinar la calidad del mortero, resistencia y durabilidad.

Los lixiviados obtenidos en el Ensayo TCLP fueron analizados y comparados con el lixiviado de las pilas directamente expuestas a dicho Ensayo, con el objeto de establecer el Porcentaje de Reducción de las concentraciones de los metales tóxicos y su Índice de Contaminación Ambiental ICA, para así, poder determinar la efectividad del tratamiento.

Se encontró que en el lixiviado de los tres cilindros existe un 100% de reducción para el litio, níquel, cadmio y plomo. El manganeso presentó una reducción del 97% en el lixiviado de los cilindros que contenían 15 y 20 pilas y 96% en el cilindro que contenía 8 pilas. El zinc mostró una reducción del 99% en el lixiviado de los tres cilindros. En cuanto al ICA se determinó que la estabilización y solidificación de 8, 15 y 20 pilas reduce significativamente los ICA del Ni, Cd, Pb, Cr, de 35,37%, 26%, 17,40%, 9,33% a 0% en los cuatro casos. El ICA del Zn también disminuye de 40,15% a 3,2% en el caso del encapsulamiento de 8 y 20 pilas, mientras que en el de 15 pilas el ICA disminuye de 40,15% a 5%. Con todos estos resultados se demuestra la efectividad del tratamiento propuesto.

Los resultados de los ensayos de resistencia del hormigón mostraron cifras que se ubican dentro de los parámetros previstos y aceptados para las obras civiles.

Descriptores: estabilización, solidificación, pilas, hormigón, Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad (TCLP), lixiviado, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The investigation refers to the stabilization and solidification of metal components of discarded batteries such as lithium, nickel, manganese, zinc, lead, chromium and mercury encapsulating them in concrete. These elements constitute dangerous residues that can cause adverse damage beyond repair to the environment and affect the health of human beings.

Common construction materials were used like cement, sand, gravel, water with plasticizing and water resistant additives, with the objective to obtain a solid mass of concrete cylinders to make inert and encapsulate 8, 15 and 20 batteries avoiding the leaching of these metallic elements. These cylinders were submitted to the Toxicity Characteristics Leaching Procedure (TCLP) and the compression resistance test to determine the quality of the mortar, resistance and durability.

The leachates obtained in the TCLP trial were analyzed and compared with the leachates of the batteries directly exposed to the trail with the purpose to establish the Percentage of Reduction and the Environment Contamination Index (ECI) to be able to determine the effectiveness of the treatment.

It was found that leachates of the three cylinders reported a 100% reduction in lithium, nickel, cadmium and lead. Manganese showed a reduction of 97% in leachates of the cylinders that contained 15 and 20 batteries and 96% in the cylinder that held 8 batteries. Zinc reported a reduction of 99% in leachates of the three cylinders. In reference to the ECI, it was determined that the stabilization and solidification of 8, 15 and 20 batteries reduced significantly the ECI of Ni, Cd, Pb, Cr from 35,37%, 26%, 17,40%, 9,33% to 0% in all four cases. The Zn index also was reduced from 40,15% to 3,2% in the case of 8 and 20 encapsulated batteries, while with 15 batteries the index went from 40,15% to 5%. With all these results it was proven that the treatment proposed is effective.

The results of the compression resistance test of the concrete gave values that were in the parameters sought and accepted in the construction field.

Key words: stabilization, solidification, batteries, concrete, Toxicity Characteristics Lixiviation Procedure (TCLP), compression resistance, leachates.

ÍNDICE

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 OBJETIVO.....	2
1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 JUSTIFICACIÓN	2

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO	3
2.1 RESIDUOS PELIGROSOS	3
2.2 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA PILAS	5
2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PILAS	5
2.2.2 EFECTOS DE LAS PILAS SOBRE LA SALUD Y EL AMBIENTE.....	8
2.2.3 DISPOSICIÓN FINAL Y TRATAMIENTO.....	11
2.3 ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS.....	12
2.3.1 ESTABILIZACIÓN	12
2.3.2 SOLIDIFICACIÓN	13
2.3.3 OBJETIVOS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN	13
2.3.4 TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN	13
2.3.5 AGENTES ESTABILIZANTES Y SOLIDIFICANTES.....	15
2.4 CARACTERIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD QUÍMICA DE UN MATERIAL ESTABILIZADO Y SOLIDIFICADO	20
2.4.1 ENSAYOS DE EXTRACCIÓN O LIXIVIACIÓN.....	21
2.4.2 CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS.....	22
2.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉCNICAS DEL MATERIAL ESTABILIZADO Y SOLIDIFICADO	23
2.5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	23
2.6 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN O CONCRETO	24
2.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CONCRETO	24
2.6.2 ELEMENTOS DEL CONCRETO Y SUS FUNCIONES	25
2.7 ENSAYOS DE LOS MATERIALES	26
2.7.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS (ARENA) Y GRUESOS (RIPIO)....	27

2.7.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	28
2.7.3 POROSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS	29
2.7.4 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.....	29
2.7.5 DUREZA DE LOS AGREGADOS GRUESOS	30
2.8 MARCO LEGAL.....	31
2.8.1 NORMATIVA ECUATORIANA.....	31
2.8.2 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (ICA).....	32

CAPITULO III

METODOLOGÍA	34
3.1. ENSAYO TCLP A LAS PILAS.....	34
3.1.1 EJECUCIÓN DEL ENSAYO TCLP A PILAS INTACTAS.....	34
3.1.2 EJECUCIÓN DEL ENSAYO TCLP A PILAS GOLPEADAS.....	35
3.2. CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO OBTENIDO EN EL ENSAYO TCLP	37
3.2.1 ANÁLISIS DEL LIXIVIADO DEL ENSAYO DE TCLP A PILAS INTACTAS	37
3.2.2 ANÁLISIS DEL LIXIVIADO DEL ENSAYO DE TCLP A PILAS GOLPEADAS.	38
3.3 ENSAYOS EN MATERIALES	38
3.3.1 REDUCCIÓN (CUARTEO) DE MUESTRAS DE AGREGADOS.....	38
3.3.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS (ARENA) Y GRUESOS (RIPIO)....	39
3.3.3 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	39
3.3.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	40
3.3.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	40
3.3.6 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE LOS AGREGADOS	40
3.3.7 DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS	40
3.4 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN.....	41
3.5 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN	48
3.6 ELABORACIÓN DE PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN	50
3.6.1 ELABORACIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN SIN PILAS (BLANCO).....	51
3.6.2 ELABORACIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN QUE CONTIENEN 8 PILAS, SIN CANASTILLA.....	52
3.6.3 ELABORACIÓN DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON 15 PILAS CONTENIDAS EN UNA CANASTILLA PLÁSTICA	53
3.6.4 ELABORACIÓN DE PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN CON 20 PILAS CONTENIDAS EN UNA CANASTILLA METÁLICA.....	55

3.7 ENSAYO TCLP A LOS CILÍNDROS DE HORMIGÓN.....	55
3.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS CILINDROS DE HORMIGÓN	56
3.9 RECOLECCIÓN DE PILAS	57
3.9.1 RECOLECCIÓN FUTURA DE PILAS.....	57

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
4.1 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO OBTENIDO EN EL ENSAYO TCLP A LAS PILAS	59
4.2 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DE LOS CILINDROS	62
4.3 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LOS METALES LIXIVIADOS	68
4.4 INDICE DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (ICA)	71
4.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS CILINDROS	76
4.6 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN.....	85
4.7 ENSAYOS EN MATERIALES	86
4.7.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS (ARENA) Y GRUESOS (RIPIO)....	86
4.7.2 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	94
4.7.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	94
4.7.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	94
4.7.5 DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	95
4.8 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE PILAS POR m ³ DE MEZCLA DE HORMIGÓN ..	95
4.9 CARATERÍSTICAS Y DISEÑO DE UNA BANCA.....	96
4.9.1 FORMA DE LA BANCA	96
4.9.2 VISTAS DE LOS CORTES DE LA BANCA Y SUS DIMENSIONES	98
4.9.3 VISTA DE LOS CORTES DE LA BANCA CON PILAS	99
4.9.4 CANASTA METÁLICA	100
4.9.5 FOTOMONTAJE DE LAS BANCAS EN UNA FOTOGRAFÍA DEL PARQUE METROPOLITANO.....	101
4.9.6 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE PILAS POR BANCA.....	102
4.9.7 COSTO DE LA BANCA	102

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	105
5.1 CONCLUSIONES	105

5.2 RECOMENDACIONES.....	106
--------------------------	-----

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA.....	108
--------------------------	------------

INDICE DE CUADROS Y TABLAS

Cuadro 1: Productos peligrosos y sus características	4
Cuadro 2: Clasificación de la pilas de acuerdo su composición, tipo y características.....	6
Tabla 1: Límites máximos establecidos para concentración de metales en lixiviados, Estándar de Louisiana 29-b.....	33
Cuadro 3: Peso fase sólida (pilas intactas)	35
Cuadro 4: Peso fase sólida (pilas golpeadas)	36
Cuadro 5: Análisis del lixiviado de pilas intactas (no golpeadas)	59
Cuadro 5.1: Análisis del lixiviado de pilas intactas (no golpeadas)	59
Cuadro 6: Análisis del lixiviado de pilas golpeadas	60
Cuadro 7: Resumen de las concentraciones máximas de metales presentes en los lixiviados de pilas intactas y golpeadas.....	61
Cuadro 8: Análisis de los lixiviados de las Probetas de hormigón	62
Cuadro 9: Caracterización del lixiviado de la Probeta sin pilas.....	63
Cuadro 10: Caracterización del lixiviado de la Probeta que contiene 8 pilas sin canastilla	63
Cuadro 11: Caracterización del lixiviado de la Probeta que contiene 15 pilas en canastilla p.	64
Cuadro 12: Caracterización del lixiviado de la Probeta que contiene 20 pilas en canastilla m.	65
Cuadro 13: Resumen de la caracterización de los lixiviados de las probetas de hormigón que contienen pilas.....	66
Cuadro 14: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de 20 pilas estabilizadas y solidificadas.....	68
Cuadro 15: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de 15 pilas estabilizadas y solidificadas.....	68
Cuadro 16: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de 8 pilas estabilizadas y solidificadas.....	69
Cuadro 17: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de las pilas estabilizadas y solidificadas.....	69
Cuadro 18: ICA de 8 pilas estabilizadas y solidificadas.....	72
Cuadro 19: ICA de 15 pilas estabilizadas y solidificadas	73

Cuadro 20: ICA de 20 pilas estabilizadas y solidificadas	74
Cuadro 21: Características de los cilindros de hormigón y su resistencia a los 7 días de elaborados	76
Cuadro 22: Características de los cilindros de hormigón y su resistencia a los 28 días de elaborados	77
Cuadro 23: Resistencia de los cilindros sin pilas, a los 7 y 31 días de elaborados.....	78
Cuadro 24: Resistencia de los cilindros con 8 pilas sin canastilla, a los 7 y 31 días de elaborados.	79
Cuadro 25: Resistencia de los cilindros con 15 pilas en canastilla plástica, a los 7 y 31 días de elaborados.....	80
Cuadro 26: Resistencia de los cilindros con 20 pilas en canastilla metálica, a los 7 y 28 días de elaborados.....	81
Cuadro 27: Resumen de las Resistencias de los cilindros de hormigón, a los 7 y 31/28 días de elaborados.....	82
Cuadro 28: Resistencias y sus principales usos.....	82
Cuadro 29: Resumen, diseño de la mezcla de hormigón	85
Cuadro 30: Componentes de la mezcla de hormigón.....	85
Cuadro 31: Granulometría de los agregados finos de Fucusuco	86
Cuadro 32: Granulometría de los agregados finos de Disensa	88
Cuadro 33: Granulometría de los agregados gruesos de Disensa.....	90
Cuadro 34: Combinación óptima de arena de Fucusuco y ripio de Disensa	92
Cuadro 35: Volumen de cilindros de hormigón que contienen pilas	95
Cuadro 36: Precios de los materiales utilizados en la investigación.....	103
Cuadro 37: Costo Total de los materiales	104

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resumen de los valores máximos de metales presentes en los lixiviados de pilas intactas y golpeadas	61
Gráfico 2: Comparación del lixiviado de las pilas tratadas (estabilizadas y solidificadas) con el lixiviado de pilas no tratadas	64
Gráfico 3: Comparación del lixiviado de 15 pilas tratadas (estabilizadas y solidificadas) con el lixiviado de pilas no tratadas	65
Gráfico 4: Comparación del lixiviado de 20 pilas tratadas (estabilizadas y solidificadas) con el lixiviado de pilas no tratadas	66
Gráfico 5: Caracterización de los lixiviados de las probetas de hormigón que contienen pilas.....	67
Gráfico 6: Resumen Porcentaje de Reducción.....	70

Gráfico 7: Comparación del ICA de los metales de las pilas tratadas con ICA de los metales las pilas sin tratamiento.....	75
Gráfico 8: Resistencia de los cilindro sin pilas, a los 7 y 31 días de elaborados.....	78
Gráfico 9: Resistencia de los cilindros con 8 pilas sin canastilla a los 7 y 31 días de elaborados.	79
Gráfico 10: Resistencia de los cilindros con 15 pilas en canastilla plástica, a los 7 y 31 días de elaborados.....	80
Gráfico 11: Resistencia de los cilindros con 20 pilas en canastilla metálica, los 7 y 28 días de elaborados.....	81
Gráfico 12: Resumen de las Resistencias de los cilindros de hormigón, a los 7 y 31/28 días de elaborados.....	83
Gráfico 13: Curva granulométrica los agregados finos de Fucusuco.....	87
Gráfico 14: Curva granulométrica de los agregados finos de Disensa.....	89
Gráfico 15: Curva Granulométrica de de los agregados gruesos de Disensa.....	91
Gráfico 16: Comparación de la curva de Fuller Thomson con la curva granulométrica de los agregados combinados.....	93
Gráfica 17: Forma de la banca	97
Gráfico 18: Vistas de los cortes de la banca y sus dimensiones.....	98
Gráfico 19: Cortes de la banca y sus dimensiones	99
Gráfico 20: Canasta metálica y sus dimensiones	100

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Resultados de Laboratorios

ANEXO 2: Fotografías

ANEXO 3: Procedimiento del Ensayo de TCLP

ANEXO 4: Procedimientos para Analizar Metales Pesados establecidos en el Manual del Espectrofotómetro HACH.

ANEXO 5: Procedimientos para ejecutar los Ensayos en los materiales, regidos bajo Normas ASTM

ANEXO 6: Diseño y Reestimación de la mezcla de Hormigón.

ANEXO 7: Información Aditivo Impermeabilizante Plastificante.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

Debido al incontrolable desarrollo de las sociedades y al avance de la industrialización se ha incrementado la generación de residuos tanto urbanos como industriales, los mismos que pueden presentar características tóxicas y peligrosas, convirtiéndose en una amenaza para el ambiente y los seres vivos.

Los seres humanos estamos generando este tipo de residuos en forma permanente y constante en todas las actividades que desarrollamos, dentro de estos residuos encontramos a las pilas no recargables, las cuales están compuestas de metales tóxicos y peligrosos para el ambiente y para la salud de los seres vivos.

Por tal razón, la investigación propuesta busca inertizar o inmovilizar estos componentes, con la finalidad de evitar su contacto con el ambiente, a través de la técnica de estabilización y solidificación, esto es encapsulándolos, utilizando como agentes estabilizantes y solidificantes al cemento, arena, ripio, agua y aditivo impermeabilizante plastificante, los que se caracterizan por ser materiales de uso común en distintas obras civiles y de costo económico.

Como parte de la investigación se ejecutaron análisis físicos y químicos con el objeto de comprobar la eficacia, resistencia y durabilidad del material estabilizado, para ello se contó con el apoyo de la Universidad Internacional SEK y el Laboratorio de Construcción de la Pontificia Universidad Católica de Quito.

Se pretende además, encontrar un uso adecuado, de bajo costo y sostenido del sólido generado en el tratamiento, en el sector de la construcción, como por ejemplo en bancas para parques, bordillos de aceras u otros elementos de las obras civiles.

En el Ecuador, de manera escasa, existen empresas que realizan trabajos de mitigación del impacto nocivo que producen las pilas desecho, tal es el caso de HAZWAT que dispone a las pilas en vertederos de seguridad y de la Dirección de Gestión Ambiental de ETAPA,

empresa del Municipio de Cuenca, la cual ha desarrollado el Programa de Recolección de Pilas Usadas, que consiste en la recolección, clasificación de acuerdo a su composición y en la disposición final a través del encapsulamiento de éstas en hormigón.

1.2 OBJETIVO

Alcanzar resultados óptimos a través del tratamiento de estabilización y solidificación de pilas no recargables, de tal forma que sus componentes no representen un potencial peligro para el ambiente y para los seres vivos en general.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Recolectar pilas y baterías desechadas en forma adecuada y segura para tratarlas y minimizar el impacto de éstas en el ambiente.
- b) Minimizar el nivel de toxicidad de los constituyentes de las pilas.
- c) Obtener lixiviados con baja concentración de los componentes de las pilas del material estabilizado y solidificado, de tal manera de que éstos no representen un potencial peligro para el ambiente y para la salud de los seres vivos.
- d) Encontrar un uso adecuado, de bajo costo y sostenido del sólido generado en el tratamiento de estabilización y solidificación, en el sector de la construcción.

1.3 JUSITIFICACIÓN

La investigación propuesta busca, mediante la aplicación de conceptos básicos de estabilización y solidificación de los residuos tóxicos, encontrar soluciones a los problemas de polución ocasionados por el inadecuado tratamiento de los componentes tóxicos (metales) de las pilas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 RESIDUOS PELIGROSOS

Debido al incontrolable desarrollo de las sociedades y al avance de la industrialización se ha incrementado la generación de residuos tanto urbanos como industriales, los mismos que pueden presentar características tóxicas y peligrosas, convirtiéndose en una amenaza para el ambiente y los seres vivos. Por lo tanto es muy importante definir el término **residuo peligroso**.

“Los residuos peligrosos han sido definidos como residuos o combinaciones de residuos que representan un peligro actual o potencial para los seres vivos u otros organismos vivos, son persistentes en la naturaleza, es decir no son degradables, pueden acumularse biológicamente, pueden ser letales o causar o tender a causar efectos perjudiciales acumulativos.”¹

“Son los desechos que requieren precauciones especiales para su almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento o eliminación para evitar daños a personas o propiedades, e incluye residuos explosivos, inflamables, volátiles, radiactivos, tóxicos y patológicos”.²

Existen propiedades que determinan si un residuo es peligroso o no y están relacionadas con temas de salud y seguridad.

a) Propiedades relacionadas con la seguridad

- Corrosividad
- Explosividad

¹ Tchobanoglous G., Theisen H. & Vigil S., 1994. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Mc Graw-Hill. Madrid. v.1, pg. 115-116.

² Glyn J., & Gary W., 1999. *Ingeniería Ambiental*. Segunda Edición. Prentice Hall. México D.F., pg. 85.

- Inflamabilidad
- Reactividad

b) Propiedades relacionadas con la salud

- Cancerogenicidad
- Infecciosidad
- Irritante
- Mutagenicidad
- Toxicidad
- Reactividad
- Teratogenicidad

Existen productos utilizados en los hogares que se encuentran dentro de los residuos peligrosos y en el siguiente cuadro se detallan algunos productos:

Cuadro N° 1: Productos peligrosos y sus características

PRODUCTO	TIPO
Productos de limpieza	Corrosivos, Inflamables
Productos de cuidado personal	Venenosos, Inflamables
Productos de automóvil	Venosos, Inflamables, Corrosivos.
Productos de pintura	Inflamables
Productos misceláneos, Pilas, baterías de telefonía celular	Corrosivos
Pesticidas, herbicidas y fertilizantes	Venosos, Inflamables
Lodos y sólidos inorgánicos	Venenosos, Corrosivos, Inflamables

Fuente: Tchobanoglous G., Theisen H., & Vigil S., 1994. *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Mc Graw-Hill. Madrid. v. 1.

Elaborado: Andrea Maldonado

Como se menciona en el cuadro, las pilas usadas están clasificadas como residuos peligrosos debido a su composición tóxica y peligrosa para el ambiente y las personas.

2.2 DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA PILAS

Se denomina pila a un sistema en el que la energía química a partir de una reacción de oxidación-reducción se transforma en energía eléctrica, esta reacción implica transferencia de electrones del elemento que se oxida al elemento que se reduce.

Están compuestas por celdas electrolíticas denominadas Ánodo y Cátodo:

- **Ánodo:** Metal o aleación metálica que se oxida en el electrolito
- **Cátodo:** Oxido metálico donde se produce la reducción

Estas celdas están separadas entre sí por una solución iónica llamada electrolito, que conduce los electrones entre ambas.

Estos elementos están contenidos en un envase o en un recipiente metálico o plástico, con separadores de los elementos activos como papel o cartón, también presentan elementos auxiliares constructivos como plomo o cadmio que mejoran la embutición, o presentan mercurio que limita la corrosión, además de elementos de presentación comercial.

2.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PILAS

Existen muchos tipos de pilas que se pueden clasificar inicialmente en dos grandes grupos:

- **Primarias:** A este grupo pertenecen las pilas que se agotan porque su energía química se convierte en energía eléctrica y no es posible recuperar el estado de carga.
- **Secundarias o baterías:** Se caracterizan porque su transformación de energía química en eléctrica es reversible, por lo que se pueden recargar. Por tanto la cantidad de residuos generados es mucho menor.

En el siguiente cuadro se citan los principales tipos de pilas, sus características y sus composiciones:

Cuadro N° 2: Clasificación de la pilas de acuerdo su composición, tipo y características

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES COMPONENTES	RANGO DE PESO TÍPICO (g)	MERCADO	ALICACIONES DE USO
Pilas estándar de zinc-carbón	Primaria	Pilas tradicionales cilíndricas, tienen una vida relativamente corta	Oxido de manganeso, zinc, agua y carbón	5-150	Venta al por menor	Aparatos domésticos
Pilas estándar alcalinas de manganeso	Primaria	Tienen mayor vida que las de zinc y carbón, son más herméticas y más seguras para aparatos que requieren mayor potencia	Oxido de manganeso, zinc y hierro	8-150	Venta al por menor	Aparatos domésticos de audio, cámaras de video, fotografía y otros aparatos portátiles domésticos.
Pilas de botón de mercurio	Primaria	Tienen hasta un 30% de mercurio. Gradualmente están quedando desfasadas y la tendencia será hacia otras con menor contenido de mercurio.	Oxido de mercurio, zinc y hierro.	1-50	Venta al por menor	Aparatos para sordos, marcapasos y fotografías
Pilas botón de zinc-aire	Primaria	Alternativa a las pilas de óxido de mercurio, alta densidad de energía.	Agua, zinc y hierro	0,3-40	Venta la por menor	Aparatos para sordos, marcapasos y fotografías
Pilas botón de oxido de plata	Primaria	Alternativa a las oxido de mercurio, larga duración	Oxido de plata, zinc y hierro	0,4-15	Venta al por menor	Calculadoras y relojes

NOMBRE	TIPO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPALES COMPONENTES	RANGO DE PESO TÍPICO (g)	MERCADO	ALICACIONES DE USO
Pilas botón alcalinas de manganeso	Primaria	Mismas características que tienen las estándar	Dióxido de Manganeso, zinc, agua y hierro	1-15	Venta al por menor	Equipos pequeños portátiles
Pilas botón de litio y dióxido de manganeso	Primaria	Tienen dos a cuatro veces más potencia que las alcalinas de manganeso	Litio, dióxido de manganeso y hierro	1-7	Venta al por menor	Equipos de control remoto ligeros
Pilas cilíndricas de litio y dióxido de manganeso	Primaria	Tienen dos a cuatro veces más potencia que las alcalinas de manganeso	Litio, dióxido de manganeso, hierro y potasio	3-50	Venta al por menor	Cámaras y otros aparatos ligeros
Baterías de níquel-cadmio	Secundaria		Níquel, cadmio, hierro y potasio	10-1000	Venta al por menor	Herramientas, luces de emergencia, aparatos domésticos, videocámaras, teléfonos móviles
Baterías de níquel-metal hidruro	Secundarias	Tienen aproximadamente un 50% más de energía que las de Ni-Cd	Níquel, hierro y potasio	10-1000	Fabricantes de equipos	Videocámaras, teléfonos móviles, ordenadores
Baterías herméticas de plomo	Secundarias	Son las de arranque de automoción pero de menor peso y tamaño	Plomo y ácido sulfúrico	200-3000	Fabricantes de equipos	Luces de emergencia, sistemas de alarma.

Fuente: www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/residuos/planificacion_residuos/pdf/borradorpnir_anexo8.pdf, *Plan Nacional Integrado de Residuos (2007-2015)*, Actualización del Programa Nacional de Pilas y Baterías Usadas. España, Ministerio de Medio Ambiente. ANEXO 8

Elaborado: Andrea Maldonado Villalba

2.2.2 EFECTOS DE LAS PILAS SOBRE LA SALUD Y EL AMBIENTE

Cuando las pilas son desechadas de forma inadecuada pueden oxidarse y liberar algunos de sus componentes como el mercurio, cadmio, zinc, manganeso, plomo, litio, níquel y cromo, que son capaces de contaminar el suelo y mezclarse con el agua, ocasionando daños perjudiciales en el ambiente y en la salud de los seres humanos. A continuación se describen los principales efectos que tienen los metales mencionados sobre la salud y el ambiente.

a) MERCURIO

Cuando el “mercurio sufre una metilación por parte de los microorganismos que se encuentran en el suelo, en los sedimentos o aguas superficiales se convierte en metilmercurio”³, el cual es un compuesto bioacumulable de elevada toxicidad. “Este compuesto afecta al sistema nervioso central, puede causar defectos de nacimiento, daño en los intestinos, riñones y estómago.”⁴

“El metilmercurio en aguas superficiales puede ser absorbido por la mayoría de los organismos y dañar su sistema nervioso.”⁵ Se acumula en la mayoría de los peces y en las cadenas alimenticias de las que forman parte.

b) CADMIO

El cadmio se caracteriza por causar “daños sobre los riñones e hígado, necrosis de los órganos genitales y también es bioacumulable.”⁶

Representa una amenaza para el suelo, ya que interfiere en sus procesos microbiológicos, mata a las lombrices y a otros animales esenciales para mantener

³ www.greenfacts.org/es/glosario/mno/metilmercurio.htm. *Metilmercurio*. Greenfactas.

⁴ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Hg.htm. *Efectos del Mercurio sobre la salud*. Lenntech.

⁵ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Hg.htm. *Efectos ambientales del Mercurio*. Lenntech

⁶ Coral K., 2004-2005. *Manual de Ingeniería Ambiental Aguas, Suelos, RTP*. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Internacional “SEK”. Quito. pg. 5.

su estructura. “En los animales acuáticos puede causar alteraciones en el hígado y daños en nervios y cerebro.”⁷

c) **PLOMO**

En el caso del plomo cuando este es ingerido produce “daños cerebrales, al sistema nervioso central, a los riñones, causa defectos de nacimiento y disminución de las habilidades de aprendizaje en los niños.”⁸

Tiene la capacidad de acumularse en organismos acuáticos y terrestres, interfiere en sus principales funciones como por ejemplo puede “disminuir la producción de oxígeno en el caso del fitoplancton.”⁹

d) **LITIO**

Es un “metal corrosivo para los ojos, la piel y el tracto respiratorio, su inhalación puede causar edema pulmonar y en el caso de que sea ingerido puede provocar dolor abdominal, náuseas y debilidad.”¹⁰

Este metal “reacciona con el nitrógeno, el oxígeno y el vapor de agua que se encuentran en el aire, originando el hidróxido de litio, el cual representa un potencial peligro para los organismos terrestres y acuáticos, ya que es extremadamente corrosivo.”¹¹

e) **CROMO**

Este metal se lo puede encontrar como cromo III y cromo VI. El primero es un nutriente esencial para los seres humanos y la falta de este puede causar “trastornos metabólicos, diabetes y el exceso puede causar erupciones cutáneas.

⁷ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cd..htm. *Efectos ambientales del Cadmio*. Lenntech

⁸ Coral K., Op. cit., pg. 6.

⁹ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Pb.htm. *Efectos ambientales del Plomo*. Lenntech

¹⁰ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Li..htm. *Efectos del Litio sobre la salud*. Lenntech

¹¹ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Li..htm. *Efectos ambientales del Li*. Lenntech.

La forma hexavalente es cancerígena y a largo plazo puede provocar sensibilidad en la piel, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño a los riñones e hígado y alteración del material genético.”¹²

El cromo acidifica el suelo y limita la capacidad de las plantas de captar nutrientes. “En los animales puede causar problemas respiratorios y contribuir a la formación de tumores.”¹³

f) NIQUEL

El níquel en pequeñas cantidades es esencial para los seres vivos, pero cuando es ingerido en altas cantidades puede ser peligroso para la salud, “generando enfermedades como el asma, bronquitis crónica, reacciones alérgicas, desordenes del corazón y defectos de nacimiento.”¹⁴

“En los suelos arenosos puede dañar a las plantas y en aguas superficiales puede disminuir el rango de crecimiento de las algas y microorganismos.”¹⁵ Cabe destacar que este elemento no se biomagnifica en la cadena alimenticia.

g) ZINC

El Zinc constituye un elemento traza que es esencial para los seres humanos, sin embargo en altas concentraciones “puede causar problemas de salud, como úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas, anemia y dañar el páncreas.”¹⁶

Cuando este elemento entra en los cuerpos de los organismos acuáticos especialmente en peces, es capaz de biomagnificarse en la cadena alimenticia. “En el suelo puede interferir en la actividad de los microorganismos y lombrices; y hacer que la descomposición de la materia orgánica sea más lenta.”¹⁷

¹² www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cr..htm. *Efectos del Cromo sobre la salud*. Lenntech.

¹³ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Cr..htm. *Efectos ambientales del cromo*. Lenntech

¹⁴ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Ni..htm *Efectos del Niquel sobre la salud*. Lenntech

¹⁵ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Ni..htm. *Efectos ambientales del Niquel*. Lenntech

¹⁶ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Zn..htm. Ibidem. *Efectos del Zinc sobre la salud*. Lenntech

¹⁷ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Zn.htm. *Efectos ambientales del Zinc*. Lenntech

h) MANGANESO

El manganeso se caracteriza por ser un elemento tóxico esencial, es decir es necesario para la supervivencia de los seres humanos, pero es tóxico cuando está presente en elevadas concentraciones. “Puede causar daños en los nervios, en el tracto respiratorio y en el cerebro, generar enfermedades como parkinson, embolia pulmonar y bronquitis.”¹⁸

Cuando los animales ingieren altas concentraciones de este elemento pueden sufrir “daños en los pulmones, cerebro e hígado y alteraciones en el desarrollo de fetos. En las plantas puede provocar inflamación de la pared celular, abrasamiento de las hojas y aparecimiento de puntos marrones en las mismas.”¹⁹

2.2.3 DISPOSICIÓN FINAL Y TRATAMIENTO

Las pilas se pueden destruir mediante incineración, en donde se convierten en ceniza inerte, pero las emisiones gaseosas del proceso están cargadas de partículas finas de metales como cadmio, mercurio y zinc, que podría ser muy perjudiciales para el ambiente y para la salud de los seres humanos, el control de estas emisiones depende de la calidad del equipo de incineración que se dispone.

Otro proceso es disponer las pilas en vertederos controlados, en donde son ubicadas en tarros plásticos con hormigón, una vez que se llenan con esta mezcla, son sellados y enterrados en una celda del vertedero controlado.

Existe otro proceso en donde se recupera los metales de las pilas mediante el “método hidrometalúrgico, el cual consiste en la disolución parcial o 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, este método presenta cuatro etapas.”²⁰

¹⁸ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn..htm. *Efectos del Manganeso sobre la salud*. Lenntech

¹⁹ www.lenntech.com/espanol/tabla-peiodica/Mn..htm. *Efectos ambientales del Manganeso*. Lenntech

²⁰ www.medioambiente.gov.ar. ¿Qué hacer con las pilas y baterías?. Argentina. Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.

- **Molienda:** consiste en triturar la masa de pilas, previa selección.
- **Separación:** Tamizado para separar el polvo fino, separación magnética de materiales ferromagnéticos como la carcasa de hierro y de no ferromagnéticos como la piezas de zinc y separación neumática del papel y plástico.
- **Lixiviación:** separación de los metales a través de un tratamiento ácido y posterior neutralización para separar sales.
- **Cementación:** formación de amalgama de Cd y Hg con Zn.

El método cuenta con un sistema de colecta, tratamiento o recuperación del mercurio que se volatiliza en las distintas etapas. Para este tratamiento se requiere de una elevada inversión económica.

También se puede citar la técnica de estabilización y solidificación en la gestión de pilas.

2.3 ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

La técnica de estabilización y solidificación es ampliamente aplicada al tratamiento de residuos peligrosos.

2.3.1 ESTABILIZACIÓN

La estabilización es un proceso químico que transforma residuos contaminantes solubles en elementos de menor capacidad de solubilidad al añadir reactivos. Tiende a mejorar algunas de las propiedades de los residuos como la impermeabilidad, insolubilidad, densidad, resistencia y el manejo.

También se la conoce como inertización, en donde se utilizan agentes estabilizantes o inertizantes con residuos inorgánicos peligrosos, para minimizar la velocidad de migración de sus componentes al ambiente y reducir el nivel de toxicidad.

En la estabilización se produce la fijación química, que detoxifica, inmoviliza, insolubiliza o reduce la peligrosidad de un residuo. Se logra la fijación generalmente por reacciones químicas que se origina entre uno o más componentes del residuo y la matriz sólida.

2.3.2 SOLIDIFICACIÓN

La solidificación es un proceso que utiliza material solidificante que cambia las propiedades físicas de los residuos peligrosos y genera un sólido monolítico de alta integridad estructural, es decir un sólido que presenta un alto grado de resistencia, una baja permeabilidad y una elevada resistencia a la compresión. En este método se emplea el cemento como ligante.

2.3.3 OBJETIVOS DEL PROCESO DE ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN

- Minimizar el grado de toxicidad.
- Reducir la velocidad de migración de los contaminantes al ambiente.
- Aumentar la resistencia.
- Limitar la disolución del contaminante cuando es expuesto a lixiviación.
- Mejorar las características físicas del residuo, para lograr un adecuado manejo del mismo.
- Disminuir la permeabilidad del residuo
- Elevar la resistencia a la compresibilidad.

2.3.4 TÉCNICAS DE ESTABILIZACIÓN Y SOLIDIFICACIÓN

Dentro de las técnicas de estabilización y solidificación se pueden citar las siguientes:

- a) Macroencapsulación
- b) Microencapsulación

- c) Absorción
- d) Adsorción
- e) Precipitación
- f) Detoxificación

a) Macroencapsulación:

Es un mecanismo en donde los constituyentes del residuo peligroso quedan atrapados físicamente en una matriz estructural de gran tamaño, los contaminantes se localizan en los poros del material estabilizante. Los constituyentes estabilizados únicamente por macroencapsulación pueden migrar al ambiente si no se conserva la integridad de la masa solidificada.

b) Microencapsulación

Es un proceso que ocurre a nivel microscópico, se caracteriza porque los contaminantes quedan atrapados en el interior de la estructura cristalina de la masa solidificada. Cabe mencionar que si el residuo no está alterado o ligado químicamente la velocidad de liberación del contaminante en el sólido estabilizado puede aumentar al disminuir el tamaño de las partículas y quedar expuesta una superficie mayor.

c) Absorción

Para este mecanismo se requiere un material sólido absorbente, el cual retiene los líquidos libres del residuo en su interior. Se emplea principalmente para eliminar los líquidos libres y mejorar las características de manejo del residuo. Los absorbentes más comunes son:

- Suelo
- Cenizas
- Polvo de hornos de cemento.
- Polvo de hornos de cal.
- Heno y paja

d) Adsorción

“La adsorción es el fenómeno por el cual los contaminantes quedan ligados de manera electroquímica a los agentes de estabilización de la matriz”.²¹ Los contaminantes fijados a la matriz estabilizadora presentan menor probabilidad de quedar libres en el ambiente que aquellos no fijados químicamente. Los residuos orgánicos pueden ser estabilizados a través de arcillas modificadas orgánicamente.

e) Precipitación

“Algunos procesos de estabilización precipitan los contaminantes del residuo dando lugar a una forma más estable de los constituyentes dentro del residuo”.²² Este proceso se aplica en la estabilización de residuos inorgánicos, como los lodos que contienen hidróxidos de metales.

f) Detoxificación

La detoxificación se origina por algunas reacciones que se producen durante el proceso de estabilización, la cual modifica un constituyente químico en otro no tóxico o menos tóxico.

2.3.5 AGENTES ESTABILIZANTES Y SOLIDIFICANTES.

El proceso de estabilización y solidificación se realiza mediante aditivos (reactivos), como aglomerantes que aumentan la resistencia asociada a la estabilización y sorbentes que principalmente retienen los contaminantes.

Es importante conocer las principales características de los diferentes aglomerantes y sorbentes que se utilizan en esta técnica, para determinar si el residuo necesita un pre-tratamiento y para conocer la interacción aglutinante-residuo.

²¹ La Grega M., Buckingham P., & Evans J., 1996. *Gestión de Residuos Tóxicos: Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos.* Mc. Graw Hill. Madrid. v. 2, Cap. 11, pg 752.

²² Ibidem pg. 752.

Los agentes aglomerantes y sorbentes se pueden clasificar en dos grandes grupos: orgánicos e inorgánicos.

- **Inorgánicos:** se pueden citar una gran variedad de combinaciones de cemento hidráulico, cal, puzolanas, yeso y silicatos.
- **Orgánicos:** son resinas epoxi, resinas de urea-formaldehído, poliésteres, entre otros.

A continuación se describe los aglomerantes y sorbentes más utilizados en la Estabilización y Solidificación.

a) CAL

La cal hidratada, es esencial para ajustar el pH, también es ampliamente utilizada para estabilizar lodos residuales con presencia de metales y para el tratamiento de desechos urbanos.

Cuando la cal reacciona con los residuos presentes se originan silicato cálcico, alúmina cálcica o aluminio-silicato cálcico hidratados.

Es conveniente incorporar la cal en dos etapas, para aprovechar su poder de secado y de corrección de plasticidad.

b) CEMENTO

El cemento es el material más empleado con frecuencia en el proceso de estabilización y solidificación de residuos peligrosos.

El más común es el cemento tipo Pórtland, y se define “como un material aglomerante que tiene propiedades de adherencia y cohesión, las cuales permiten

unir fragmentos minerales entre sí, para formar un todo compacto con resistencia y durabilidad adecuada.”²³

Se produce por la pulverización del clínker, el cual está formado principalmente por silicatos hidráulicos de calcio, aluminatos de calcio y aluminoferritos de calcio, aunque normalmente también presenta una o más formas de sulfato de calcio, por tanto los materiales que intervienen en la fabricación de cemento son el óxido de calcio, sílice, alúmina y componentes de óxido de hierro.

En el proceso de estabilización y solidificación, el cemento se mezcla con el residuo y agregados, en caso de que el residuo no tenga una fase líquida, se debe añadir agua para la hidratación del mismo, de esta manera se genera una mezcla de hormigón o concreto, que una vez fraguada originará una masa dura y monolítica.

Reacción que se produce en la hidratación del cemento Pórtland:



Esta reacción proporciona al cemento Pórtland su fraguado inicial

“La estabilización con cemento se adapta mejor a residuos inorgánicos especialmente aquellos que contienen metales pesados, debido al pH elevado del cemento, los metales son retenidos como hidróxidos insolubles o carbonatos en la estructura endurecida.”²⁵

El plomo, cobre, zinc, estaño, cadmio probablemente se unen a la matriz por fijación química formando compuestos insolubles y el mercurio es retenido por microencapsulación física.

²³ Sánchez D., 1993. *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Tercera Edición. Bhandar Editores. Bogotá. Cap 2, pg. 27.

²⁴ La Grega M., Buckingham P., & Evans J., Op. cit., pg. 756.

²⁵ Ibidem, pg. 756.

Por último el utilizar el cemento en la técnica mencionada tiene grandes ventajas debido a que el manejo y el mecanismo de reacción del mismo son conocidos; y presenta un bajo costo ya que es utilizado en la industria de la construcción.

Aplicaciones

- Los residuos orgánicos sólidos o líquidos impiden el fraguado del cemento y se escapan como vapor.
- Los residuos inorgánicos como los ácidos pueden ser neutralizados por el cemento.
- Los residuos inorgánicos como los sulfatos tienen la capacidad de retardar el fraguado y causar disgregación.
- Los haluros pueden retardar el fraguado y ser fácilmente lixiviados del cemento.
- Los metales pesados son muy compatibles con el cemento.

c) PUZOLANAS

Las puzolanas se caracterizan por reaccionar con la cal en presencia de agua para producir un material de cementación, estas pueden ser silicatos solubles de sodio y potasio, pero también es posible emplear cenizas volantes, cenizas de horno de combustión, polvo de horno de cemento y las escorias de incineración.

Casi siempre es necesario utilizar un agente aglomerante como el cemento Portland, limo, compuestos de aluminio, yeso y carbonato cálcico.

Aplicaciones

- Los residuos orgánicos como los aceites y grasas, hidrocarburos aromáticos pueden impedir el fraguado y disminuir la durabilidad en largos períodos de tiempo.
- Los fenoles y alcoholes pueden retrasar el fraguado.

- Los ácidos son compatibles con las puzolanas debido a que estas los neutralizan.
- Las puzolanas pueden ser utilizadas en el tratamiento de metales pesados ya que son compatibles especialmente con el plomo, cadmio y cromo.

d) MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

Los termoplásticos encapsulan los residuos peligrosos, a través del calentamiento y secado de betunes asfálticos, parafinas o polietileno. El intervalo de calentamiento que se emplea se encuentra entre las temperaturas de 265 a 450 °F (130 A 230 °C). Posteriormente se produce un enfriamiento, obteniéndose una mezcla sólida rígida, pero deformable.

Aplicaciones

- Los residuos orgánicos sólidos o líquidos pueden vaporizarse con el calor o pueden ser utilizados como agentes de formación de enlaces.
- Los residuos inorgánicos como los ácidos son capaces de neutralizarse con los termoplásticos.
- Los residuos inorgánicos como los sulfatos pueden deshidratarse y rehidratarse causando el desmoronamiento.
- Los haluros pueden retardar e interferir con el tratamiento.
- Los metales pesados son muy compatibles y no interfieren en el tratamiento con termoplásticos.

e) POLÍMEROS ORGÁNICOS

Los residuos se mezclan con urea formaldehído y varios polímeros orgánicos específicos, haciendo que estos queden atrapados físicamente en una matriz polimérica con estructura porosa (como esponja).

Aplicaciones

- Los residuos orgánicos sólidos o líquidos pueden retardar la formación de polímeros.
- Los residuos inorgánicos como los ácidos son capaces de neutralizarse con los polímeros.
- Los residuos inorgánicos como los sulfatos son compatibles en el tratamiento con polímeros.
- Los haluros también son compatibles.
- Los metales pesados como el arsénico también son compatibles con los polímeros.

f) SILICATOS SOLUBLES

Los reactivos que contienen sílice en algunos casos se acidifican y originan una solución monosilíceica ácida cuando se mezclan con los residuos que contienen metales. En otros, la combinación de silicatos líquidos solubles y cemento forman la base del proceso.

Aplicaciones

- Los silicatos solubles son ampliamente utilizados para el tratamiento de metales, especialmente para el plomo, cobre y zinc.

2.4 CARACTERIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD QUÍMICA DE UN MATERIAL ESTABILIZADO Y SOLIDIFICADO

La estabilidad química de un material estabilizado y solidificado se determina mediante un ensayo de extracción y lixiviación, el cual permite obtener lixiviados que representan las principales características del mismo.

2.4.1 ENSAYOS DE EXTRACCIÓN O LIXIVIACIÓN

Consisten en la ejecución de una extracción química o lixiviación de los componentes tóxicos del residuo o del material estabilizado y solidificado, a través de un extractante en solución denominado **lixivante**, cuando el lixivante se contamina se conoce como **lixiviado** y la capacidad del material estabilizado para lixiviar contaminantes se conoce como **lixiviabilidad**.

Los principales factores que afectan la lixiviabilidad son la alcalinidad del producto y la relación superficie-volumen del residuo.

Existen varios tipos de ensayos de lixiviación de acuerdo a las necesidades de estudio requeridas, a continuación se enumeran los tipos de ensayos:

- Ensayo con filtro
- Ensayo de Liberación de Líquidos
- Ensayo de Toxicidad Procedimiento de Extracción (Petos)
- Procedimiento de Lixiviación Característico de toxicidad” (TCLP).
- Procedimiento de Lixiviación Uniforme Modificado (ANS 16.1)
- Ensayo de Concentración Máxima Posible
- Ensayo de Lixiviación de Equilibrio
- Ensayo de Lixiviación Dinámica

a) PROCEDIMIENTO DE LIXIVIACIÓN CARACTERÍSTICO DE TOXICIDAD (TCLP).

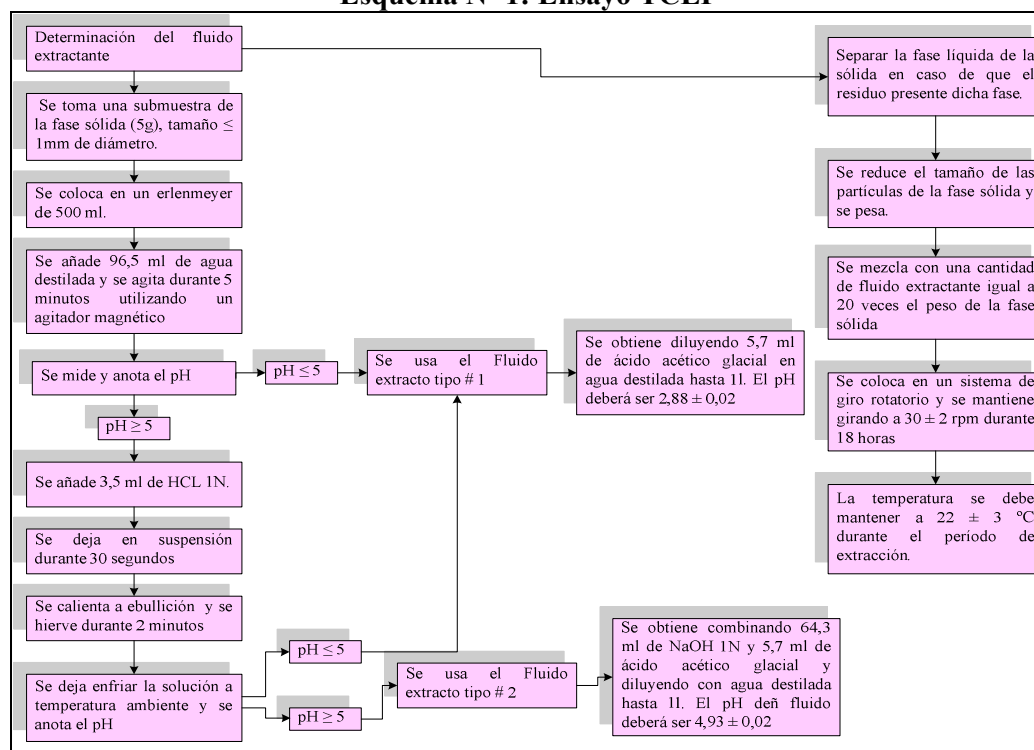
El TCLP permite determinar las características de los residuos, así como también las características del material estabilizado y solidificado, para sí poder evaluar la efectividad de este tratamiento.

El TCLP simula condiciones naturales del ambiente a las que pueden estar expuestos los residuos o muestras experimentales, se caracteriza por ser un método

más preciso y comparable y también facilita la recuperación de materias volátiles orgánicas.

“Este ensayo fue adoptado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) el 7 de noviembre de 1986”.²⁶ Es un ensayo normalizado que sustituye al ensayo toxicidad EP.

Esquema N° 1: Ensayo TCLP



Fuente: Coral K., 2004-2005. *Manual de Ingeniería Ambiental Aguas, Suelos, RTP*. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Internacional “SEK”. Quito.

Elaborado: Andrea Maldonado V.

2.4.2 CARACTERIZACIÓN DE LIXIVIADOS

La caracterización del lixiviado describe la composición del residuo, así como también la del material estabilizado y solidificado.

Existen dos metodologías generales para la caracterización: química y biológica.

²⁶ La Grega M., Buckingham P. & Evans J., Op. cit., pg. 775.

- **Caracterización química:** Determina los componentes movibles del residuo o del material tratado y propone una gestión adecuada en función de la naturaleza de los contaminantes. Además con los resultados de esta caracterización se puede obtener el porcentaje de reducción de los contaminantes del residuo tratado con el fin de evaluar la eficacia de la estabilización y solidificación.
- **Caracterización biológica:** Determina el impacto de la carga contaminante sobre el ambiente en términos de la concentración de lixiviado necesario para afectar a una población de seres vivos, sin diferenciar la causa que produce dicho efecto.

2.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉCNICAS DEL MATERIAL ESTABILIZADO Y SOLIDIFICADO

Es muy importante conocer las propiedades físicas, técnicas y de durabilidad del material estabilizado y solidificado a través de ensayos relacionados con el área de ingeniería civil, con el fin de determinar el fracaso o el éxito del tratamiento, dentro de estos ensayos se encuentra el ensayo de resistencia a la compresión.

2.5.1 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

La prueba determina si el material estabilizado y solidificado puede resistir bajo stress mecánico, cabe destacar que la característica más importante del concreto es la resistencia a la compresión.

Esta propiedad se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , lb/pl^2 (p.s.i.) o en MPa de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades.

Para evaluar la resistencia a la compresión es necesario someter al material tratado a pruebas mecánicas que pueden ser destructivas o no destructivas.

“De acuerdo a la EPA se considera que los materiales solidificados y estabilizados con una fuerza de 50 PSI, 0.34 MPa, 3.52 kg/cm² tiene una resistencia de compresión satisfactoria.”²⁷

2.6 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN O CONCRETO

Consiste en la selección de los materiales disponibles (cemento, agregados, agua y aditivos) y en la determinación de sus cantidades relativas para producir un concreto económico que presente las propiedades de resistencia, durabilidad, estabilidad y adecuada apariencia. Para tal efecto es necesario conocer algunas características del concreto y sus componentes principales.

2.6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CONCRETO

El concreto u hormigón está compuesto por una mezcla de dos componentes: **agregados** y la **pasta** que al unirse forman un todo compacto que después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

- **Pasta:** Se entiende como pasta a la mezcla de cemento Pórtland hidráulico, agua, aire el cual puede estar incluido en forma natural o intencionalmente y aditivos.
- **Agregados o áridos:** Están divididos en dos grupos, los finos y los gruesos, dentro del primer grupo se encuentran las arenas que pueden llegar hasta 1cm y dentro de agregados gruesos están el ripio o piedras de río que pueden llegar hasta 15 cm.

²⁷ Catarina L., 2006. *Estabilización y Solidificación de Residuos peligrosos*.
http://www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/ortiz_m_jr/capitulo4.pdf.

2.6.2 ELEMENTOS DEL CONCRETO Y SUS FUNCIONES

a) Cemento

El cemento Pórtland hidráulico presenta propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar el concreto. Como se mencionó anteriormente, el cemento fragua y se endurece con el agua, por tal razón se le conoce como hidráulico.

b) Agua

El agua es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes por medio de una serie de reacciones y se divide en agua de mezclado y agua de curado:

- **Agua de Mezclado:** Se define como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento contenido en ese volumen, para generar una pasta hidratada y lubricada. El agua de mezclado se presenta en dos formas básicas: agua de hidratación y agua evaporable.
 1. **Agua de hidratación:** Es la parte del agua de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel.
 2. **Agua evaporable:** Es el agua que puede evaporarse a 0% de humedad relativa del ambiente y 110°C de temperatura, pero no se encuentra libre en su totalidad.
- **Agua de Curado:** Constituye el agua adicional para lograr una buena hidratación del cemento y para que el concreto alcance sus propiedades.

c) Aire

En el proceso de mezclado del concreto es normal encontrar aire atrapado en forma natural dentro sus partículas. En algunas ocasiones es necesario incluir burbujas de aire por medio de aditivos con fines específicos.

d) Agregados

Los agregados son utilizados como materiales de relleno dentro de la mezcla de cemento, cuando se combinan con la pasta fraguada, proporcionan una parte de la resistencia que tendrá el concreto endurecido. “Se debe mencionar que los agregados controlan los cambios volumétricos de la pasta en el proceso de fraguado evitando que se generen agrietamientos que puedan afectar la resistencia.”²⁸

e) Aditivos

Son utilizados para modificar las propiedades del concreto logrando que se vuelva mas trabajable, existen aditivos para reducir el agua, retardar o acelerar el fraguada, para obtener un concreto impermeable, incluso de aire, entre otros. Para fines de esta investigación se tomó en cuenta un aditivo para obtener un hormigón impermeable.

2.7 ENSAYOS DE LOS MATERIALES

La selección y la determinación de las cantidades relativas de los componentes del concreto anteriormente mencionados, se realizan en base a los resultados obtenidos en los Ensayos de los materiales. A continuación, se describen las principales propiedades de los agregados finos y gruesos y se enuncian los ensayos que determinan estas propiedades.

²⁸ Sanchez D., 1993. *Tecnología del Concreto y del Mortero*. Segunda Edición. Bhandar Editores. pg. 225.

2.7.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS (ARENA) Y GRUESOS (RIPIO)

La granulometría define la distribución del tamaño de las partículas que se encuentra en una masa de agregados, permite conocer las relaciones de porosidad y compactación. Así como también ayuda a detectar deficiencias o excesos de un tamaño en particular.

Para conocer la distribución granulométrica de los agregados finos y gruesos se ha establecido el **análisis granulométrico**, que consisten en la separación de una muestra de agregados en fracciones de igual tamaño, los resultados obtenidos nos sirven para determinar la capacidad de acomodamiento, la compactación de las partículas dentro de un volumen dado de hormigón y la máxima resistencia.

Los resultados deben estar representados en forma gráfica a través de la curva granulométrica.

Del análisis granulométrico se derivan algunos factores que intervienen en el diseño de una mezcla de concreto y estos son:

- **“Modulo de finura:** El modulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material.
- **Tamaño Máximo:** Este factor establece que el tamaño máximo de un agregado corresponde al tamaño de la partícula más grande que hay dentro de la masa de agregados.
- **Tamaño Máximo Nominal:** Indica que el tamaño máximo nominal es el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregado que va a ser utilizada”²⁹.

El ensayo de granulometría se puede realizar en base a la norma ASTM C-136.

²⁹ Sanchez D., Op. cit., pg 79

a) **Granulometrías continuas ideales**

La curva granulométrica obtenida por la combinación de agregados finos y gruesos debe acercarse a una curva ideal, esto se consigue comparándola con modelos de curvas teóricas, que han sido desarrolladas para expresar una buena granulometría de agregados para concreto, dentro de estos modelos se encuentra el Principio de gradación de Fuller y Thompson, “el cual establece que la curva de gradación ideal de toda la masa, presenta un comportamiento elíptico en la parte de los agregados finos y converge con una línea recta tangente a la elipse en las fracciones siguientes. Todos los modelos teóricos de curvas que se han desarrollado se basan en el principio de Fuller y Thomson.

Sin embargo cabe destacar que las granulometrías ideales solo existen a nivel teórico que difícilmente se pueden reproducir en la práctica, de tal forma que una buena granulometría representa el aprovechamiento eficiente de las condiciones técnica y económicas para obtener los resultados deseados.”³⁰

2.7.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

De acuerdo con a lo citado por el autor Diego Sánchez de Guzmán en su obra “Tecnología del Concreto y del Mortero” la gravedad específica es utilizada para determinar el volumen ocupado por el agregado en la mezcla de concreto, es también usada para el cálculo de los vacíos en el agregado.

La densidad esta definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada³¹. Sin embargo en esta definición se debe tomar en cuenta que el agregado tiene cavidades o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua.

³⁰ Sanchez D., Op. cit., pg. 88.

³¹ Ibidem. pg. 95.

Para determinar la gravedad específica y absorción de los agregados finos se puede realizar el Ensayo Normalizado ASTM C-128 y para los agregados gruesos el Ensayo Normalizado ASTM C-127.

2.7.3 POROSIDAD Y ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

Absorción: “Es el incremento de la masa del agregado debido a la penetración de agua en sus poros durante un determinado período de tiempo, no se incluye el agua adherida a las superficies externas de los agregados.”³²

Uno de los factores que influye en las propiedades de durabilidad y mecánicas del concreto es la porosidad de los agregados “ya que una partícula compacta o maciza es más dura que una partícula porosa.”³³

De acuerdo a lo citado por el autor Diego Sánchez de Guzmán en su obra “Tecnología del Concreto y del Mortero”, la porosidad esta relacionada con la capacidad que tienen los agregados de absorber agua u otro líquido por medio de sus poros. Mediante la determinación de la capacidad de absorción se puede conocer la influencia que tiene la porosidad en el agregado.

Para determinar la densidad, la gravedad específica y la absorción de los agregados gruesos, se ha establecido el Ensayo Normalizado ASTM C-127 y para los agregados finos se ha establecido el Ensayo Normalizado ASTM C-128.

2.7.4 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS FINOS Y GRUESOS

El peso unitario determina de manera general la calidad del agregado y su disposición para ser utilizado en la fabricación de concreto.

³² Sanchez D., Op. cit., pg. 96.

³³ Ibidem. pg 96.

“Esta definido como la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido.”³⁴ . Para la obtención del peso unitario es necesario comprender los siguientes conceptos:

- **Masa Unitaria Compacta:** “Se define como el grado de acomodamiento de las partículas del agregado cuando se ha sometido a vibración, mejorando el acomodamiento y aumentando la masa unitaria”³⁵. Este parámetro nos sirve para determinar los volúmenes absolutos de agregados en el diseño de mezclas debido a que estos van a quedar confinados dentro de la masa del concreto.
- **Masa Unitaria Suelta:** “Es la masa del material que se encuentra en estado normal de reposo, ocupando un volumen mayor y presentando una masa unitaria menor.”³⁶

La determinación del peso unitario de los agregados se puede hacer en base a la norma ASTM C-29.

2.7.5 DUREZA DE LOS AGREGADOS GRUESOS

En el caso de que el concreto vaya a estar sometido a desgaste por abrasión, los agregados que intervengan en su fabricación deberán ser duros.

“La dureza es una propiedad que depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia de los agregados”³⁷

Para determinar esta propiedad de los agregados, se debe realizar el ensayo de desgaste de los mismos en la máquina de los Ángeles, ASTM C-131.

³⁴ Sanchez D., Op. cit., pg. 97.

³⁵ Ibidem. 98.

³⁶ Ibidem. pg. 98.

³⁷ Ibidem. pg. 100.

2.8 MARCO LEGAL

2.8.1 *NORMATIVA ECUATORIANA*

En el Ecuador no existe una normativa específica que regule el manejo y tratamiento de pilas y baterías usadas, sin embargo estas presentan características corrosivas y sus componentes representan un riesgo para la salud de los seres humanos, los recursos naturales y el ambiente, por lo tanto deben ser consideradas como desechos peligrosos.

En el Texto Unificado de Legislación Secundario Ambiental (TULAS), en el Libro VI de la Calidad Ambiental, Título V Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos, en artículo 151 se define el significado o concepto de “Desecho Peligroso” de la siguiente manera:

“Desechos Peligrosos: Son aquellos desechos sólidos, pastosos, líquidos o gaseosos resultantes de un proceso de producción, transformación, reciclaje, utilización o consumo y que contengan algún compuesto que tenga características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas, o tóxicas, que represente un riesgo para la salud humana, los recursos naturales y el ambiente de acuerdo a las disposiciones legales vigentes.”

Este instrumento legal también regula el manejo y tratamiento de los desechos mencionados en sus distintas fases:

- Recolección
- Transporte
- Reciclaje
- Disposición Final

Dichas regulaciones deben ser tomadas en cuenta para esta investigación, ya que se ha demostrado la efectividad de la misma.

Por tal razón, es importante tener la autorización de la Dirección de Medio Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito (DMMA) o en su defecto del Ministerio de Medio Ambiente, en consideración del artículo 182 del TULAS, que establece:

“Art.182: Los métodos de disposición final permitidos son: relleno de seguridad o confinamiento controlado, inyección controlada en pozos profundos e incineración de acuerdo al tipo de desecho peligroso, sin embargo el Ministerio de Ambiente podrá autorizar otros métodos de acuerdo a lo que considere pertinente.”

2.8.2 ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (ICA)

En la Tabla 2 de la Norma Técnica para Residuos Peligrosos (Industriales y Domésticos), contenida en la Ordenanza Metropolitana N° 213 “De la Prevención y control del Medio Ambiente”³⁸, se establecen los valores para las concentraciones máximas de contaminantes de acuerdo con su Característica de Toxicidad (Prueba de Lixiviación), los cuales bien podrían ser considerados para el cálculo del Índice de Contaminación Ambiental (ICA) en el presente trabajo de investigación, sin embargo éstos no son muy exigentes en comparación con los valores máximos permitidos para la concentración de metales pesados en lixiviados, establecidos en el Estándar de Louisiana 29-b³⁹, en esta investigación y por seguridad se tomarán los límites determinados en el Estándar mencionado para el calculo del ICA.

El ICA determina la relación entre la concentración del contaminante existente en el lixiviado y la concentración máxima establecida en normas o regulaciones de dicho contaminante.

³⁸ Dirección Metropolitana de Medio Ambiente de Quito. *Normas Técnicas para la aplicación de la Ordenanza 213*, Resolución 002.

³⁹ Oviedo J., 2000. *Inertización y Posibles Usos de Cenizas producidas por el Incinerador de Compañía Occidental*. Tesis de Grado inédita. Universidad Internacional SEK. Quito.

Tabla 1: Límites máximos establecidos para concentración de metales en lixiviados
Estándar de Louisiana 29-b

PARAMETRO	UNIDAD (mg/l)	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
Cadmio	mg/l	<0,1
Cromo	mg/l	<0,5
Plomo	mg/l	<0,5
Mercurio	mg/l	<0,02
Níquel	mg/l	1,34
Manganeso	mg/l	-
Litio	mg/l	-
Zinc	mg/l	<5

Fuente: Oviedo J., 2000. *Inertización y Posibles Usos de Cenizas producidas por el Incinerador de Compañía Occidental*. Tesis de Grado inédita. Universidad Internacional SEK. Quito

Se tomó el valor máximo permitido de Níquel en lixiviados establecido en el ANEXO VI, del Decreto Reglamentario 831/93, de la Ley Argentina 24051 para la Gestión de Residuos Peligrosos.

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. ENSAYO DE LIXIVIACIÓN CARACTERÍSTICO DE TOXICIDAD (TCLP) A LAS PILAS

El ensayo TCLP a pilas, fue ejecutado en el laboratorio de Química de la Universidad Internacional “SEK”. El procedimiento del ensayo TCLP establecido por la EPA se encuentra en el ANEXO 3.

3.1.1 EJECUCIÓN DEL ENSAYO TCLP A PILAS INTACTAS.

Esta prueba se basa en el procedimiento del ensayo TCLP.

a) Determinación del fluido extractante

1. Se colocó dos pilas en un vaso de precipitación de 500ml, se añadió 96,5ml de agua destilada y se procedió a agitar durante 5 minutos.
2. Se determinó un pH de 7.56, por lo que se añadió 3,5 ml de HCL (1N), durante 30 segundos se calentó esta mezcla a ebullición y se hirvió durante dos minutos.
3. Se dejó enfriar la mezcla a temperatura ambiente y se determinó un pH de 1, por lo tanto se utilizó el fluido extractante tipo 1.

El **fluido extractante N° 1**, se obtiene combinando 64,3 ml de NaOH (1N) y 5,7 ml de ácido acético glacial, diluyendo en agua destilada hasta 1 litro.

b) Ejecución del Ensayo de Lixiviación

1. Se tomó 9 pilas de diferente tamaño, composición y marca; y se peso cada una para obtener el peso total de la fase sólida, estableciendo un peso de 312, 98 g.

Cuadro 3: Peso fase sólida (pilas intactas)

Tipo de Pila	Peso (g)
D	150
9 volt	42,7
C	69,8
AA	24,59
AAA	8,92
Litio	16,33
Botón	0,64
Fase sólida TOTAL	312,98

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

2. El volumen de fluido extractante N° 1, fue igual a 20 veces el peso total de las pilas, es decir 6,25 l.

$$312,98\text{g} \times 20 = \mathbf{6259,6 \text{ ml o } 6,2 \text{ l}}$$

3. Para obtener este volumen se mezcló 398,66ml de NaOH (1N) y 35,34ml de ácido acético glacial y se los diluyó con agua destilada hasta obtener 6,25l.
4. Se colocó las pilas con el fluido, se agitó cada cierto tiempo y se dejó la mezcla durante 18 horas.

3.1.2 EJECUCIÓN DEL ENSAYO TCLP A PILAS GOLPEADAS.

La prueba se basa en el procedimiento del Ensayo de Lixiviación Característico de Toxicidad establecido por la EPA.

Las pilas fueron golpeadas en su recubrimiento metálico hasta deformarlo levemente y originar pequeñas cavidades, cuidando de que el mismo no se llegue a romper y evitando de esta manera el escape de los componentes. (Ver ANEXO 2, foto 2)

Esta acción fue realizada con la finalidad de establecer si las pilas maltratadas presentan una mayor lixiviación de sus componentes metálicos, con relación al lixiviado de las pilas intactas. Los resultados obtenidos muestran una mínima, casi nula variación, lo que cual se muestra en los cuadros 5 y 6 del Capítulo de Resultados.

a) Determinación del fluido extractante

Se siguieron los pasos mencionados en el ensayo TCLP a pilas intactas.

b) Ejecución del Ensayo de Lixiviación

1. Se tomó 9 pilas de diferente tamaño, composición y marca; y se peso cada una para obtener el peso total de la fase sólida, estableciendo un peso de 320,88 g.

Cuadro 4: Peso fase sólida (pilas golpeadas)

Tipo de Pila	Peso (g)
D	150,17
9 volt	46
C	65,23
AA	23,94
AAA	9,71
Litio	23,93
Botón	1,9
Fase sólida TOTAL	320,88

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

2. El volumen de fluido extractante N° 1, fue igual a 20 veces el peso total de las pilas, es decir 6,4 l.

$$320,88\text{g} \times 20 = \mathbf{6417,8 \text{ ml o } 6,4 \text{ l}}$$

3. Para obtener este volumen se mezcló 411,52ml de NaOH (1N) y 36,48ml de ácido acético glacial y se los diluyó con agua destilada hasta obtener 6,4l.
4. Se colocó las pilas con el fluido, se agitó cada cierto tiempo y se dejó la mezcla durante 18 horas.

3.2. CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO OBTENIDO EN EL ENSAYO TCLP

3.2.1 ANÁLISIS DEL LIXIVIADO DEL ENSAYO DE TCLP A PILAS INTACTAS

Una vez realizado el Ensayo de TCLP a pilas intactas, se analizó el lixiviado, determinando la presencia de metales como el Cromo total (Cr), Níquel (Ni), Cadmio (Cd), Plomo (Pb), Manganeseo (Mn), Zinc (Zn), Mercurio (Hg) y Litio (Li).

El Cr total, Ni, Cd, Pb, Mn y Zn fueron analizados en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Internacional SEK.

Se determinaron estos metales mediante la técnica de espectrofotometría, utilizando el equipo HACH DR/4000 PROCEDURE y se siguieron los procedimientos establecidos en el Manual HACH. En el ANEXO 4, se encuentran detallados los procedimientos.

El Hg fue analizado por el Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional.

El Li fue analizado por el laboratorio Particular Centro de Soluciones Analíticas Integrales (CENTROCESAL).

3.2.2 ANÁLISIS DEL LIXIVIADO DEL ENSAYO DE TCLP A PILAS GOLPEADAS.

Se deformó a las pilas a través de golpes con un martillo, teniendo cuidado de no romper su revestimiento metálico.

El lixiviado obtenido del Ensayo de TCLP a pilas golpeadas, fue caracterizado por el laboratorio de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica en el área de absorción atómica, en donde se analizaron todos los metales mencionados.

3.3 ENSAYOS EN MATERIALES

Se ensayaron los agregados finos (arena) y gruesos (ripio) con el fin de seleccionar los más adecuados y poder establecer sus cantidades relativas dentro de una mezcla determinada de concreto, para producir un concreto manejable y que al endurecer adquiriera las propiedades de resistencia, durabilidad y una apariencia adecuada.

Para el estudio y selección de los agregados finos se analizaron dos muestras diferentes de arena, la una procedente de la Planta de agregados Pifo de HOLCIM DISENSA ubicada en el km. 4 ½ de la vía Pifo – Papallacta y la otra procedente de la Cantera de Fucusuco ubicada en Pomasqui.

Para el estudio y selección de los agregados gruesos se analizó una muestra de ripio procedente de la Planta de agregados Pifo de HOLCIM DISENSA.

Los ensayos de los agregados finos y gruesos fueron realizados por el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Católica del Ecuador.

3.3.1 REDUCCIÓN (CUARTEO) DE MUESTRAS DE AGREGADOS

Reduce las muestras de los agregados tanto finos y gruesos a un tamaño apropiado para realizar ensayos.

El ensayo se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma ASTM C 702-98. El procedimiento detallado se encuentra en el ANEXO 5.

3.3.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS (ARENA) Y GRUESOS (RIPIO)

Este método determina la distribución granulométrica de los agregados finos y gruesos, consisten en la separación de una muestra de agregados en fracciones de igual tamaño mediante tamices de abertura cuadrada o redonda.

Este ensayo se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en las Norma ASTM C-136. El procedimiento detallado se encuentra en el ANEXO 5.

Con los resultados obtenidos se realizó la Curva granulométrica de la combinación de agregados finos y gruesos, dicha combinación se comparó con la Curva de Fuller Thomson, con el fin de encontrar el mejor acoplamiento.

Con este ensayo se seleccionó al agregado fino más adecuado y se determinó las proporciones óptimas de ripio y arena para la mezcla de hormigón.

3.3.3 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

Determina el peso unitario del agregado en condición suelta o compactada, y el cálculo de vacíos entre las partículas del agregado fino, grueso y la mezcla de agregados.

Este ensayo se realizó de acuerdo a los procedimientos establecidos en las Norma ASTM C-29. El procedimiento detallado se encuentra en el ANEXO 5.

3.3.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

El ensayo determina la gravedad específica de Bulk, la gravedad saturada con superficie seca, la gravedad específica aparente y la absorción del agregado fino.

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en las Norma ASTM C-128. El procedimiento detallado se encuentra en el ANEXO 5.

3.3.5 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

El ensayo determina la gravedad específica de Bulk, la gravedad saturada con superficie seca, la gravedad específica aparente y la absorción del agregado fino.

Se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en las Norma ASTM C-127. El procedimiento detallado se encuentra en el ANEXO 5.

3.3.6 CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL DE LOS AGREGADOS

Determina el porcentaje de humedad evaporable de una muestra de agregados por secado, humedad superficial y humedad de los poros del agregado.

El ensayo se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en las Norma ASTM C-566. El procedimiento detallado se encuentra en el ANEXO 5.

3.3.7 DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Determina la resistencia al desgaste de los agregados gruesos (ripio), mediante la máquina de los ángeles.

Este ensayo se realizó de acuerdo al procedimiento establecido en la Norma ASTM C-131. El procedimiento detallado se encuentra en el ANEXO 5.

3.4 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

El diseño y la reestimación de la mezcla de hormigón fueron realizados por la Ingeniera Civil Carla Dávila del Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Católica del Ecuador.

Para el diseño de la mezcla empleada en la investigación, se aplicó el método ACI 211 (Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para una Mezcla de Concreto Normal y Pesada). Considerando que el material será empleado para encapsular los metales que liberan las pilas, fue necesario elaborar un hormigón impermeable que presente una baja absorción capilar y permeabilidad; y una alta resistencia y durabilidad.

Se deben emplear cementos con mínima retracción a fin de prevenir la fisuración. En el caso de la investigación se utilizó el cemento que se comercializa en el país, cemento Pórtlan Puzolánico tipo IP, este tipo de cementos con adiciones (puzolana) presentan buenas características de impermeabilidad.

Para producir un hormigón impermeable la razón agua/ cemento debe ser tan baja como sea posible (siempre que se asegure el agua para la completa hidratación del cemento).

La consistencia de colocación de un hormigón impermeable debe estar dentro del rango blando fluido, esto es con un asentamiento en el cono de Abrams aproximadamente entre 8 y 14 cm.

A continuación se realiza una breve descripción del método ACI.

1. Selección del Asentamiento

Se seleccionó un asentamiento del hormigón entre 8 y 12 cm, a fin de obtener mezclas de consistencia plástica, fácilmente manejables y que pueden ser compactadas mediante varillado.

El hormigón en la investigación alcanzó un asentamiento de 13 cm, colocando un aditivo impermeabilizante plastificante de ADITEC.

2. Selección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo de los agregados utilizados en la dosificación de las mezclas fue de $\frac{3}{4}$ ".

3. Estimación del contenido de aire

No se requiere incluir aire en la mezcla por lo que no se utilizó aditivos inclusores de aire, sin embargo, durante la operación de mezclado queda aire naturalmente atrapado dentro del hormigón. El método ACI 211 recomienda asumir un porcentaje de contenido de aire de 2% para mezclas que no contiene aire intencionalmente incluido y cuyo tamaño máximo de agregado es de $\frac{3}{4}$ ".

4. Estimación del contenido de agua de mezclado

La cantidad de agua de mezclado por volumen unitario de hormigón, que se requiere para producir un determinado asentamiento, depende del requerimiento de agua del cemento, del tamaño máximo nominal del agregado, de la forma de las partículas, de la granulometría del agregado y del contenido de aire.

El agua de mezclado del hormigón empleado en esta investigación, el cual fue elaborado con agregado grueso procedente de la cantera de DISENSA, agregado fino de FUCUSUCO y cemento Pórtland Puzolánico tipo IP (HOLCIM), fue de 250,91 kg/cm³, cantidad necesaria para conseguir el asentamiento anteriormente especificado.

5. Selección de la relación agua/cemento

Para la selección de la relación agua cemento, se tomó en consideración que el hormigón debe ser impermeable, por lo tanto el hormigón se diseño con una relación agua – cemento de 0.55.

6. Cálculo del contenido de cemento

La cantidad de cemento se calcula mediante la ecuación:

$$C = A / (A/C)^{40} \quad [1]$$

Donde:

C = Contenido de cemento, en kg/m^3 .

A = Agua de mezclado, en kg/m^3 .

A/C = Relación agua – cemento.

7. Estimación de las proporciones de los agregados

Para asegurar la impermeabilidad, es necesario tener materiales pétreos que tengan la capacidad de acomodarse correctamente dentro de un volumen dado de hormigón, a fin de reducir los vacíos en la mezcla. Esta propiedad va a depender de la granulometría de los materiales.

Para obtener una granulometría óptima, en la investigación se modificaron las proporciones de agregado grueso y de agregado fino, hasta conseguir una curva que se asemeje a la curva granulométrica ideal de Fuller Thompson, estas proporciones fueron 60% de agregado grueso y 40% de agregado fino. En el Cuadro 33 y Gráfico 16 del Capítulo de Resultados se establece la granulometría del material combinado.

⁴⁰ ACI 211, 2002. *Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para una Mezcla de Concreto Normal y Pesada*.

8. Cálculo del peso unitario del hormigón

El peso unitario del hormigón en estado fresco se calcula mediante la siguiente expresión

$$U_m = 10G_a * (100 - A) + C_m * (1 - G_a/G_c) - W_m * (G_a - 1) \quad [2]$$

Donde:

U_m = peso unitario del hormigón (kg/m³)

G_a = gravedad específica promedio del agregado fino y el agregado grueso combinados.

G_c = gravedad específica del cemento (si se desconoce este valor se asume 3.15)

A = Contenido de aire (%)

W_m = Agua de mezclado (kg/m³)

C_m = Contenido de cemento (kg/m³)

9. Cálculo de la masa de agregados por metro cúbico de hormigón

El contenido de agregados se obtiene restando del valor del peso unitario el contenido de cemento y el contenido de agua de mezclado por metro cúbico de hormigón.

$$C_a = U_m - C_m - W_m \quad [3]$$

Donde:

C_a = Contenido de agregados (fino y grueso) en estado saturado con superficie seca, en kg/m³.

U_m = Peso unitario del hormigón, en kg/m³.

C_m = Contenido de cemento, en kg/m³.

W_m = Agua de mezclado, en kg/m³

La cantidad al peso, de agregado fino y grueso por separado en la condición saturado con superficie seca, se calcula de la siguiente manera:

⁴¹ ACI 211, 2002. *Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para una Mezcla de Concreto Normal y Pesada.*

⁴² ACI 211.

$$\text{“Ca}_f = \text{Ca} * (\% \text{agregado fino} / 100) \quad [4]$$

$$\text{Ca}_g = \text{Ca} * (\% \text{agregado grueso} / 100) \text{”}^{43} \quad [5]$$

Donde:

Ca_f = Contenido de agregado fino (kg/m^3).

Ca_g = Contenido de agregado grueso (kg/m^3).

Ca = Contenido de agregado fino y grueso (kg/m^3).

También se puede obtener las cantidades de agregado grueso y fino al volumen de acuerdo al siguiente procedimiento. Se determina la cantidad de agregado fino y grueso por saco de cemento:

$$\text{“Agregado/saco de cemento”}^{44} = \frac{\text{Agregado (kg/m}^3 \text{ de hormigón)} \times 50\text{kg}}{\text{Cemento (kg/m}^3 \text{ de hormigón)}} \quad [6]$$

Se transforma el peso del agregado por saco de cemento a volumen, empleando el peso unitario suelto del material.

$$\text{“Volumen de agregado/saco de cemento”}^{45} = \frac{\text{Agregado/saco de cemento}}{\text{Peso unitario suelto del agregado}} \quad [7]$$

10. Ajuste por humedad de los agregados

Una vez conocido el contenido de humedad de los agregados, se procede a hacer la corrección de peso seco a peso húmedo. De manera que la cantidad real de cada agregado que debe ser pesada, es igual a su peso seco incrementado en el porcentaje de agua que contenga, incluyendo el agua absorbida y el agua sobre la superficie de sus partículas. Es decir que el peso húmedo de los agregados en el momento de su dosificación es:

$$\text{“Ph} = \text{Ps} * (1 + \text{H}/100) \text{”}^{46} \quad [8]$$

⁴³ ACI 211, 2002. *Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para una Mezcla de Concreto Normal y Pesada*.

⁴⁴ ACI 211.

⁴⁵ ACI 211.

Donde:

Ph = Peso húmedo del agregado.

Ps = Peso seco del agregado.

H = Porcentaje de humedad.

Para determinar la cantidad de agua que debe ser añadida a la mezcla, considerando el porcentaje de humedad de los agregados se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{“A} = A_m + (A_{b_f} - H_f) / 100 * C_{a_f} / (1 + H_f/100) + (A_{b_g} - H_g) / 100 * C_{a_g} (1 + H_g/100)\text{”}^{47} \quad [9]$$

Donde:

A = Cantidad de agua que debe ser añadida a la mezcla (kg/m^3).

A_m = Agua de mezclado (kg/m^3).

A_{b_f} = Porcentaje de absorción del agregado fino.

H_f = Porcentaje de humedad del agregado fino.

C_{a_f} = Contenido de agregado fino, en estado saturado con superficie seca (kg/m^3).

A_{b_g} = Porcentaje de absorción del agregado grueso.

H_g = Porcentaje de humedad del agregado grueso.

C_{a_g} = Contenido de agregado grueso, en estado saturado con superficie seca (kg/m^3).

11. Reestimación

La reestimación se realiza para corregir el peso unitario del hormigón y el asentamiento cuando en la práctica los valores no coinciden con los valores del diseño teórico.

La reestimación comienza con la corrección del asentamiento. Por cada centímetro de asentamiento mayor al valor esperado se disminuirá 2 kg de agua neta por cada metro cúbico de hormigón y si el asentamiento es menor al asentamiento esperado, se añadirá 2 kg de agua por cada metro cúbico de hormigón.

⁴⁶ ACI 211.

⁴⁷ ACI 211.

Posteriormente se determina el peso unitario real del hormigón, de acuerdo al siguiente procedimiento, que está basado en la norma ASTM C 138:

- Se selecciona un molde adecuado según el tamaño máximo nominal del agregado.
- Se determina el volumen y el peso del molde.
- Se llena el molde con el hormigón fresco en tres capas, compactando cada capa 25 veces, utilizando una varilla lisa normada.
- Se determina el peso del hormigón y del molde.
- Se determina el peso del hormigón mediante la siguiente expresión:

$$\text{Peso del hormigón} = \text{peso (molde+ hormigón)} - \text{peso del molde} \quad [10]$$

- Se calcula el peso unitario del hormigón, dividiendo el peso del hormigón para el volumen del molde.

Si el peso unitario obtenido difiere del peso unitario con el cual se realizó el diseño teórico del hormigón, se aplicará la siguiente fórmula para realizar la corrección por peso unitario:

$$\text{Factor de corrección} = \frac{\text{Peso unitario medido}}{\text{Peso unitario teórico}} \quad [11]$$

$$\text{Agua neta corregida} = \frac{\text{Agua neta utilizada en el diseño teórico}}{\text{Factor de corrección}} \quad [12]$$

Con el agua neta corregida, por asentamiento y por peso unitario se realizará un nuevo diseño de hormigón de acuerdo a lo descrito anteriormente.

En el ANEXO 6 se encuentran el diseño y la reestimación de la mezcla de hormigón utilizada.

3.5 ELABORACIÓN DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

La mezcla de Hormigón fue elaborada en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Católica del Ecuador.

Para su fabricación se siguió algunos pasos de los procedimientos de las Normas ASTM C-31 (Método Estándar para elaborar y curar muestras de concreto en el Campo) y ASTM C-192 (Método Estándar para elaborar y curar muestras de concreto en el laboratorio).

a) Preparativos para elaborar la mezcla

Las cantidades de ripio, arena, cemento, agua y aditivo que a continuación se describen, son para elaborar siete cilindros.

1. Se mezcló los agregados gruesos (ripio), con el fin de obtener una distribución homogénea de todos los tamaños, de igual forma se mezcló la muestra de agregados finos (arena).
2. Una vez mezclados los agregados, se pesó en la balanza 26,44 kg de ripio, 39,4 kg de arena y 14,4 kg de cemento (sensibilidad de 0,1 a 1 g), restando los pesos de los recipientes.
3. De igual manera se pesó 9,85 kg (9850 cm³ o 9,85 l) de agua de mezcla, restando el recipiente. Este volumen se dividió en dos partes, en una se añadió el aditivo Impermeabilizante-Plastificante de Aditec y se agitó vigorosamente para mezclarlo con el agua. En el ANEXO 7 se encuentra la hoja de información del aditivo.
4. De acuerdo a la hoja de información, por cada 50 kg de cemento se debe añadir una dosis que varía entre 200 a 300 cm³ de aditivo. Se determinó la dosis más alta y por los 14,4 kg de cemento establecidos, la cantidad que se determinó fue de 86,9 ml.

b) Elaboración de Mezcla

1. Se humedeció las paredes internas de la concretara, para que posteriormente la mezcla de hormigón no se pegue a las paredes.
2. Se colocó la cantidad establecida de ripio en la concretara, se agregó la parte de agua sin aditivo, se encendió y se dejó que esta rote hasta que el ripio se humedezca.
3. Se colocó la arena en la concretera, se prendió y se dejó que rote hasta que la arena se humedezca y se mezcle con el ripio y con el agua.
4. Se añadió el cemento y la parte de agua con aditivo en la concretara, se encendió y se dejó que se mezclen todos los materiales mencionados durante cinco minutos, para lograr una mezcla de hormigón adecuada. En este lapso de tiempo se golpeo con un martillo de caucho las paredes externas de la concretera, con el objeto de que la mezcla de hormigón no se adhiera a estas.
5. Finalizado este tiempo, se colocó la mezcla en una carretilla y se procedió a ponerla en los moldes cilíndricos, previo de haber realizado un ensayo de asentamiento a una muestra representativa de la mezcla.

c) Ensayo de Asentamiento

Es importante mencionar que se ejecutó el ensayo de asentamiento, con el fin de medir la consistencia o fluidez de la mezcla de hormigón. Esta medición se realizó con el cono de Abrams, el cual es un molde metálico en forma de tronco de cono.

1. Se colocó el cono humedecido sobre una placa metálica plana también humedecida con la abertura más pequeña hacia arriba.
2. Se presionó hacia abajo el cono cogiendo sus agarraderas, con el objeto de que al colocar la mezcla, esta no se salga por la parte inferior del molde.

3. Se llenó el cono con la muestra representativa de la mezcla de hormigón en tres capas. La primera a una altura aproximada de 6 cm, la segunda se lleno hasta 15 cm y en la tercera se apiló el hormigón sobre el molde.
4. Se apisonó 25 veces cada capa en forma circular y en diferentes sitios de la superficie, con una varilla de 16 mm de diámetro y con uno de sus extremos redondeados, cuidando que la varilla no pase a la capa inmediata inferior.
5. Al compactar la tercera capa, el concreto se asentó por debajo del borde superior del cono, por lo que fue necesario completar con más mezcla hasta que llegue al borde, se alisó la superficie con la varilla y se quitó la mezcla que estaba alrededor de la base del molde.
6. Inmediatamente después se retiró el molde, alzándolo cuidadosamente en dirección vertical, en un lapso de 5 a 10 segundos, sin tocar la mezcla con el molde.
7. Se colocó el cono en forma invertida sobre la placa metálica cerca de la mezcla y la varilla sobre la base del cono. Después se tomó la diferencia entre la altura del cono y la altura medida sobre el centro de la base superior de la mezcla de concreto y de esta manera se pudo determinar el asentamiento.

3.6 ELABORACIÓN DE PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN

Las probetas de hormigón fueron fabricadas en el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Católica del Ecuador.

Para su elaboración se siguieron algunos pasos de los procedimientos de las Normas ASTM C-31 (Método Estándar para elaborar y curar muestras de concreto en el Campo) y ASTM C-192 (Método Estándar para elaborar y curar muestras de concreto en el laboratorio).

3.6.1 ELABORACIÓN DE PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN SIN PILAS (BLANCO)

A pesar de que el volumen de la mezcla de hormigón es para 7 cilindros, solo se elaboraron 6 cilindros sin pilas.

1. Se colocó la mezcla de hormigón fresco en moldes de hierro fundido, los cuales tienen 15 cm de diámetro por 30 cm de altura (relación diámetro, altura 1:2).
2. El cilindro se llenó en tres capas de igual altura 10 cm y cada capa se apisonó 25 veces en forma circular y en diferentes sitios de la superficie, con una varilla lisa de 16 mm de diámetro y con uno de sus extremos redondeados, cuidando que la varilla no pase a la capa inmediata inferior.
3. Una vez lleno el molde se alisó la superficie con la varilla y con una espátula, se golpeo con un martillo de caucho las paredes del molde hasta que la superficie del concreto cambio de mate a brillante y se eliminaron las burbujas de aire que estaban adheridas a las paredes o embebidas en el concreto.
4. Se cubrió la base superior de los cilindros con un plástico, se los mantuvo protegidos de cualquier golpe o vibración y después de 24 horas de elaborados se retiró los moldes cuidadosamente.
5. Cuatro cilindros fueron llevados al proceso de curado en un tanque de agua y después de 7 y 28 días de elaborados se procedió a realizar el ensayo de resistencia a la compresión.
6. A dos cilindros se los mantuvo protegidos durante 10 días y después se ejecutó con estos el ensayo de TCLP.

3.6.2 ELABORACIÓN DE PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN QUE CONTIENEN OCHO PILAS, SIN CANASTILLA

A pesar de que el volumen de la mezcla de hormigón es para 7 cilindros, solo se elaboraron 6 cilindros que contienen ocho pilas.

1. Se colocó la mezcla de hormigón fresco en moldes de hierro fundido, los cuales tienen 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.
2. Se llenó a una altura de 10 cm la primera capa, se la apisonó 25 veces en forma circular y en diferentes sitios de la superficie, con la varilla lisa de 16 mm de diámetro.
3. Se colocó sobre el centro de esta capa 4 pilas golpeadas de diferentes tamaños y composiciones; después se lleno la segunda capa a una altura de 20 cm y se procedió a apisonarla 25 veces siguiendo una trayectoria circular, cuidando que la varilla no golpee, ni desplace a las pilas hacia los bordes y que no pase a la capa inmediata inferior.

Cabe mencionar que las pilas fueron golpeadas con el objeto de formar cavidades en su recubrimiento, para mejorar su adherencia a la mezcla de concreto durante el proceso de fraguado.

4. Se puso 4 pilas golpeadas o maltratadas en el centro de esta capa, se colocó la última capa y se procedió a compactarla siguiendo el mecanismo mencionado en el paso anterior.
5. Una vez lleno el molde se alisó la superficie con la varilla y con una espátula, se golpeo con un martillo de caucho las paredes del molde hasta que la superficie del concreto cambio de mate a brillante y se eliminaron las burbujas de aire que estaban adheridas a las paredes o embebidas en el concreto.

6. Se cubrió la base superior de los cilindros con un plástico, se los mantuvo protegidos de cualquier golpe o vibración y después de 24 horas de elaborados se los retiró los moldes cuidadosamente.
7. Cuatro cilindros fueron llevados al proceso de curado en un tanque de agua y después de 7 y 28 días de elaborados se procedió a realizar el ensayo de resistencia a la compresión.
8. A dos cilindros se los mantuvo protegidos durante 10 días y después se ejecutó con estos el ensayo de TCLP.

3.6.3 ELABORACIÓN DE PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN CON QUINCE PILAS CONTENIDAS EN UNA CANASTILLA PLÁSTICA

A pesar de que el volumen de la mezcla de hormigón es para 7 cilindros, solo se elaboraron 6 cilindros que contienen una canastilla plástica y quince pilas.

1. Se colocó la mezcla de hormigón fresco en los moldes de acero, los cuales tienen 15 cm de diámetro por 30 cm de altura.
2. Se llenó a una altura de 10 cm la primera capa, se la apisonó y se la compactó 25 veces en forma circular y en diferentes sitios de la superficie, con la varilla lisa.
3. Se colocó sobre esta capa una canastilla de plástico de 9 cm de diámetro por 16 cm de altura, con la finalidad de retener en el centro del cilindro a las pilas para que estas se encuentren perfectamente cubiertas por una capa de hormigón.

Canastilla de Plástico: Es cilíndrica de 9 cm de diámetro por 16 cm de altura, conformada por una malla plástica verde de $\frac{1}{4}$ ", la pared y la base fueron unidas con una piola plástica. La fotografía de la canastilla se encuentra en el ANEXO 2.

4. Se llenó la canastilla con 15 pilas golpeadas de diferentes tamaños y composiciones y con la mezcla de hormigón fresca, después se apisonó la mezcla de hormigón y las pilas con la varilla.

Cabe mencionar que las pilas fueron golpeadas con el objeto de formar cavidades en su recubrimiento, para mejorar su adherencia a la mezcla de concreto durante el proceso de fraguado.

5. Se colocó la segunda capa a una altura de 20 cm alrededor de la canastilla y se procedió a apisonarla 25 veces siguiendo una trayectoria circular, teniendo precaución que la varilla no voltee la canastilla y que solo atravesase esta segunda capa.
6. Después se colocó la última capa y se la compactó siguiendo el mecanismo mencionado en el paso anterior.
7. Una vez lleno el molde se alisó la superficie con la varilla y con una espátula, se golpeo con un martillo de caucho las paredes del molde hasta que la superficie del concreto cambio de mate a brillante y se eliminaron las burbujas de aire que estaban adheridas a las paredes o embebidas en el concreto.
8. Se cubrió la base superior de los cilindros con un plástico, se los mantuvo protegidos de cualquier golpe o vibración y después de 24 horas de elaborados se retiró los moldes cuidadosamente.
9. Cuatro cilindros fueron llevados al proceso de curado en un tanque de agua y después de 7 y 28 días de elaborados se procedió a realizar el ensayo de resistencia a la compresión.
10. A dos cilindros se los mantuvo protegidos durante 10 días y después se ejecutó con estos el ensayo de TCLP.

3.6.4 ELABORACIÓN DE PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN CON VEINTE PILAS CONTENIDAS EN UNA CANASTILLA METÁLICA

A pesar de que el volumen de la mezcla de hormigón es para 7 cilindros, solo se elaboraron 6 cilindros con veinte pilas contenidas en una canastilla metálica.

Para elaborar estos cilindros se siguió el procedimiento mencionado en la elaboración de cilindros con quince pilas contenidas en una canastilla plástica. Pero en lugar de utilizar una canastilla plástica se empleó una canastilla metálica de 9 cm de diámetro y 22 cm de altura y se colocó un mayor número de pilas, veinte pilas golpeadas o maltratadas.

Características de la Canastilla Metálica: Es cilíndrica de 9 cm de diámetro por 16 cm de altura, conformada por una malla tejida metálica de $\frac{1}{4}$ ", la pared y la base fueron unidas con una piola plástica. La fotografía de la canastilla se encuentra en el ANEXO 2.

3.7 PROCEDIMIENTO DE LIXIVIACIÓN CARACTERÍSTICO DE TOXICIDAD A LOS CILÍNDROS DE HORMIGÓN

El ensayo TCLP fue ejecutado en el laboratorio de Química de la Universidad Internacional "SEK", el cual se basó en el Procedimiento de Lixiviación Característico de Toxicidad establecido por la EPA.

Se realizó cuatro veces el ensayo:

- Para el cilindro de hormigón sin pilas (blanco).
- Para el cilindro de hormigón con 8 pilas y sin canastilla.
- Para el cilindro de hormigón con 15 pilas contenidas en una canastilla plástica.
- Para el cilindro de hormigón con 20 pilas contenidas en una canastilla metálica.

a) Determinación del fluido extractante

1. Se colocó 5g de partículas de hormigón en un erlenmeyer de 500ml, se añadió 96,5ml de agua destilada y se agitó la mezcla durante 5 minutos.
2. Se determinó un pH de 11,29, por lo tanto se añadió 3,5 ml de HCL (1N); durante 30 segundos se calentó la mezcla a ebullición y se hirvió durante dos minutos.
3. Se dejó enfriar la mezcla a temperatura ambiente y se determinó un pH de 2,24, por lo tanto se utilizó el fluido extractante tipo 1.

El fluido extractante N° 1, se obtiene combinando 64,3 ml de NaOH (1N) y 5,7 ml de ácido acético glacial, diluyendo con agua destilada hasta 1 litro.

b) Ejecución del Ensayo de Lixiviación

1. El peso del cilindro de hormigón es 12 kg y la cantidad de fluido extractante que se añade debe ser igual a 20 veces su peso, si se ejecutaba de esta forma se generaría un gran volumen de lixiviado contaminante, por lo tanto se determinó un volumen de 10,7 l de fluido extractante para que el cilindro quede totalmente embebido.
2. Por lo tanto se mezcló 688,01 ml de NaOH (1N) y 60,99 ml de ácido acético glacial, diluyéndolos con agua destilada hasta obtener 10,7 l.
3. Se colocó el cilindro en el fluido procurando que este lo cubra completamente, se agitó cada cierto tiempo y se lo dejó durante 18 horas.

3.8 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS CILINDROS DE HORMIGÓN ENDURECIDO

Para determinar la calidad y la resistencia a la compresión de los cilindros de hormigón fabricados, se los rompió a los 7 y 28 días después de pasar por el proceso de curado en el tanque de agua y de ser elaborados.

El ensayo se realizó en el laboratorio de Materiales de Construcción la Universidad Católica del Ecuador y se siguió el procedimiento de la Norma INEN 1573 y ASTM C-39 (Método Estándar para determinar la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto).

3.9 RECOLECCIÓN DE PILAS

Las pilas usadas en la investigación, fueron proporcionadas por la Empresa BAKER HUGHES CENTRILIFT y por la Universidad Internacional SEK.

3.9.1 RECOLECCIÓN FUTURA DE PILAS

Si el proyecto fuese aceptado, la Universidad Internacional SEK conjuntamente con el Consorcio Ciudad-Ecogestión recolectarán las pilas no recargables de cualquier tipo, en contenedores adecuados para tal objeto, los mismos que en una primera fase, serán ubicados en los parques Metropolitano e Itchimbia de la ciudad de Quito.

Dichos contenedores estarán situados en sitios estratégicos, correctamente identificados y debidamente adaptados para proteger a las pilas de desecho de la intemperie, especialmente de la lluvia, con el objeto de evitar filtraciones de agua que pueden dañar la protección metálica de las mismas y de que los usuarios conozcan donde depositar sus pilas usadas.

Es necesario informar a la ciudadanía que las pilas de desecho pueden ser depositadas en los parques mencionados, para ser tratadas mediante la técnica propuesta en este trabajo, constituyendo por lo tanto uno de los componentes o material que formará parte del sólido necesario para la generación de una banca de descanso para los usuarios de los referidos parques y al mismo tiempo se convertirá en un objeto decorativo.

Las características y diseño de las bancas se detallan en el Capítulo de Resultados en la sección 4.9.

a) Características de los Contenedores

Es un cilindro cuya pared es de un material plástico resistente, su base y la tapa son de un material metálico. La fotografía del contenedor se encuentra en el ANEXO 2.

La tapa se caracteriza por tener un sistema giratorio que solo deja depositar las pilas y no volver a sacarlas.

La base cuenta con un sistema de rosca que permite vaciar el contenedor y por ende la expulsión de las pilas.

Los contenedores se podrían identificar con etiquetas vistosas, con le fin de atraer la atención de los usuarios de los parques.

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO OBTENIDO EN EL ENSAYO TCLP A LAS PILAS

Cuadro 5: Análisis del lixiviado de pilas intactas (no golpeadas)

Lixiviado Pilas intactas							
Ni *	Cd*	Mn*	Zn*	Pb*	Cr*	Hg**	Li***
(mg/l)	(µg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(µg/l)	(mg/l)	(µg/l)	(mg/l)
0,23	28	0,085	2,046	90	0,05	<0,1	0,106
0,24	25	0,065	2,027	85	0,04	<0,1	0,106
0,23	24	0,1	1,95	88	0,05	<0,1	0,106
Promedio	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	0,23	0,026	0,08	2,01	0,087	0,05	0

* Análisis realizados en el Laboratorio de Química de la Universidad Internacional SEK

** Departamento de Metalurgia Extractiva de la Escuela Politécnica Nacional

*** Centro de Soluciones Analíticas Integrales, CENTROCESAL Cía. Ltda.

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Conversión de $\frac{\text{mg}(\text{elemento})}{\text{l}(\text{líquido extractante})}$ a $\frac{\text{mg}(\text{elemento})}{\text{kg}(\text{muestra})}$

$$\frac{\text{Concentración del metal en lixiviado (mg/l)}}{\text{Peso total fase sólida (g)}} \times \frac{\text{Volumen total de la solución extractante (l)}}{1000} = \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \quad [13]$$

A continuación se indica un ejemplo de la ecuación 13 para la conversión de la concentración de Níquel en el lixiviado de pilas intactas.

$$\frac{0,23 \text{ mg/l de Níquel}}{312,98 \text{ g}} \times 6,2 \text{ l} \times 1000 = 4,62 \text{ mg/kg}$$

Cuadro 5.1: Análisis del lixiviado de pilas intactas (no golpeadas)

Ni	Cd	Mn	Zn	Pb	Cr	Hg	Li
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
4,62	0,52	1,65	39,77	1,72	0,92	0,00	2,10

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 6: Análisis del lixiviado de pilas golpeadas

Lixiviado Pilas golpeadas							
Ni* (mg/l)	Cd* (mg/l)	Mn* (mg/l)	Zn* (mg/l)	Pb* (mg/l)	Cr* (mg/l)	Hg* (mg/l)	Li* (mg/l)
0,474	<0,015	0,066	1,89	<0,10	<0,050	<0,005	<0,050
(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
0,474	0,000	0,066	1,890	0,000	0,000	0,000	0,000

* Laboratorio de Absorción Atómica Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica

Mg/kg	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	mg/kg	Mg/kg	mg/kg	mg/kg
9,480	0,000	1,320	37,800	0,000	0,000	0,000	0,000

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

ANÁLISIS:

Los resultados obtenidos muestran una mínima variación entre las concentraciones de los metales presentes en el lixiviado de pilas intactas y en el lixiviado de pilas golpeadas o estropeadas.

Se aprecia que la concentración de Ni aumenta de 0,23 mg/l en el lixiviado de pilas intactas a 0,474 mg/l en el lixiviado de pilas golpeadas, lo que aparecería como un mayor riesgo de contaminación ambiental, sin embargo dicha concentración se ve mitigada con el tratamiento propuesto en el presente trabajo.

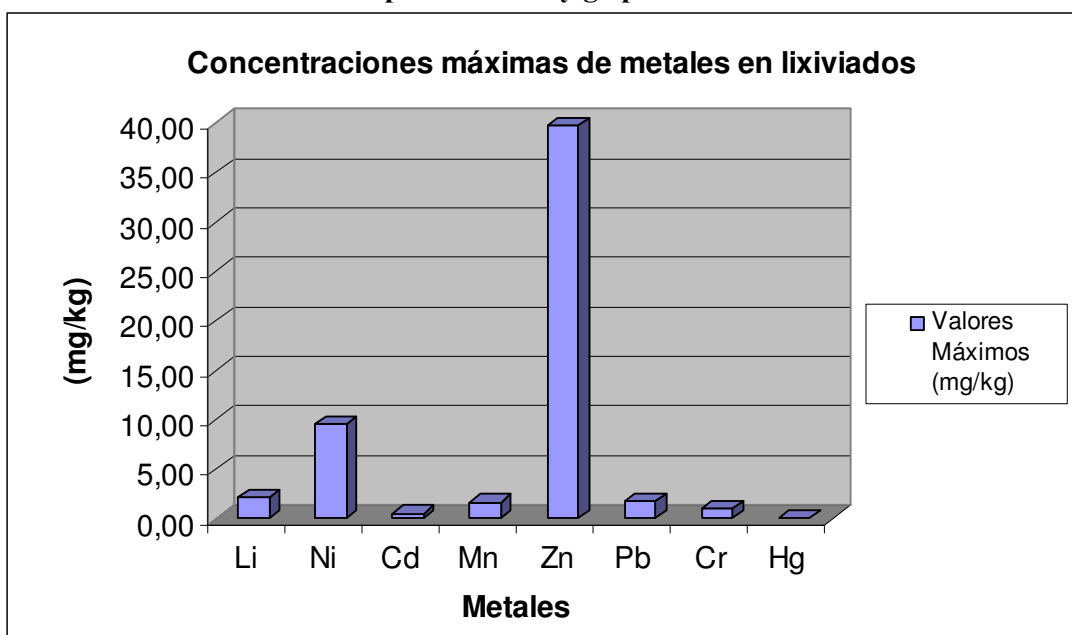
Las concentraciones de los metales como el Cd, Mn, Zn, Pb, Cr, Hg y Li presentes en el lixiviado de pilas golpeadas son ligeramente inferiores a las concentraciones de estos metales presentes en el lixiviado de pilas intactas.

Cuadro 7: Resumen de las concentraciones máximas de metales presentes en los lixiviados de pilas intactas y golpeadas

PARÁMETROS	Valores Máximos (mg/l)	Valores Máximos (mg/kg)
Ni	0,474	9,480
Cd	0,026	0,515
Mn	0,08	1,65
Zn	2,01	39,77
Pb	0,087	1,72
Cr	0,05	0,92
Hg	0	0,00
Li	0,106	2,10

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 1: Resumen de los valores máximos de metales presentes en los lixiviados de pilas intactas y golpeadas



Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Las pilas desechadas liberan (lixivian) a la mayoría de sus componentes metálicos, como el litio, níquel, cadmio, manganeso, zinc, plomo, cromo, sobresaliendo las concentraciones de zinc y níquel, los cuales presentan valores de 39,77 y 9,48 mg(elmento)/kg(muestra) respectivamente, en el caso del mercurio la lixiviación es mínima.

4.2 CARACTERIZACIÓN DEL LIXIVIADO DEL MATERIAL ESTABILIZADO Y SOLIDIFICADO (PROBETAS O CILINDROS DE HORMIGÓN)

Cuadro 8: Análisis de los lixiviados de las Probetas de hormigón

PARAMETROS	UNIDAD	PROBETA SIN PILAS (BLANCO) *	PROBETA CON 20 PILAS EN CANASTILLA METÁLICA **	PROBETA CON 15 PILAS EN CANASTILLA PLÁSTICA **	PROBETA CON 8 PILAS SIN CANASTILLA **
Litio	mg/l	<0,050	<0,05 *	<0,05 *	<0,05*
Níquel	mg/l	0,05	<0,16	<0,16	<0,16
Cadmio	mg/l	<0,015	<0,02	<0,02	<0,02
Manganeso	mg/l	<0,050	0,04	0,05	0,06
Zinc	mg/l	0,213	0,16	0,25	0,16
Plomo	mg/l	<0,10	<0,09	<0,09	<0,09
Cromo	mg/l	<0,050	<0,04	<0,04	<0,04
Mercurio	mg/l	<0,005	<0,00023	<0,00023	0,00057

* Laboratorio de Absorción Atómica de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica

** Laboratorio Química Ambiental de la Universidad Central del Ecuador

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 9: Caracterización del lixiviado de la Probeta sin pilas

PROBETA SIN PILAS (BLANCO)			
PARAMETROS	RESULTADO		mg(elemento)/kg(muestra)
	(mg/l)	(mg/l)	
Litio	<0,050	0	0,00
Níquel	0,05	0,05	0,04
Cadmio	<0,015	0	0,00
Manganeso	<0,050	0	0,00
Zinc	0,213	0,213	0,19
Plomo	<0,10	0	0,00
Cromo	<0,050	0	0,00
Mercurio	<0,005	0	0,00

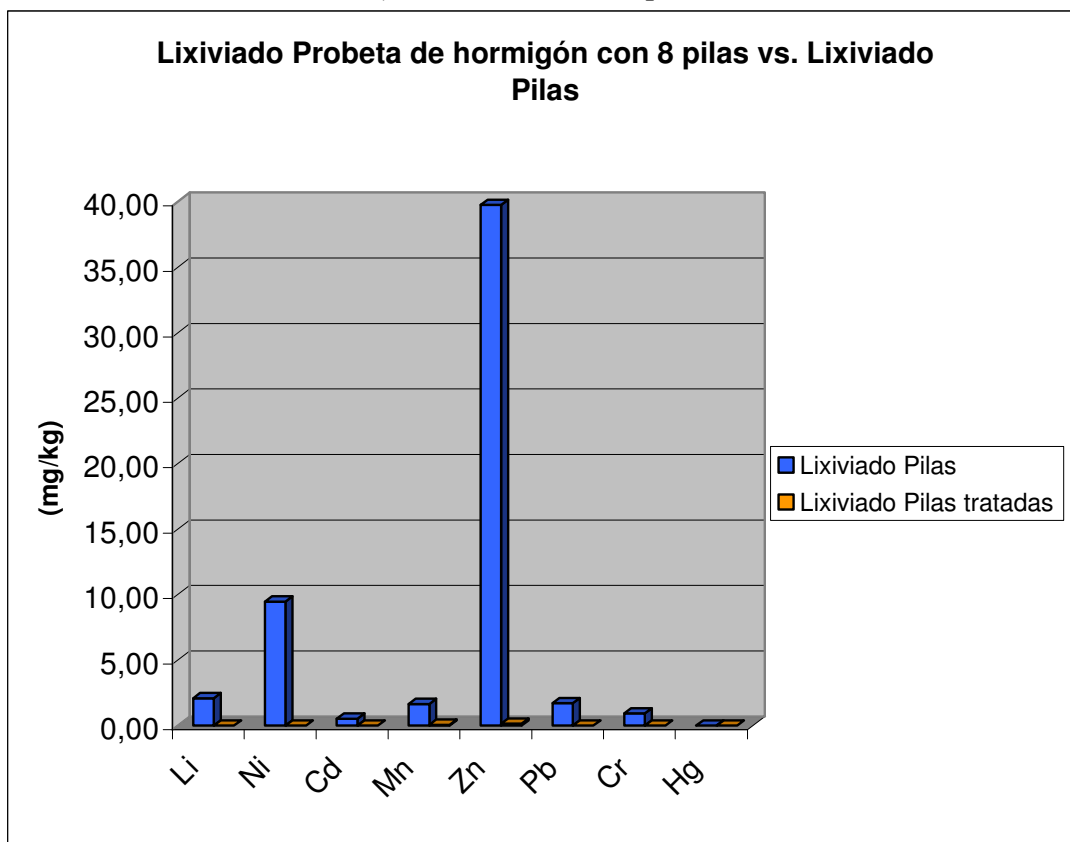
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 10: Caracterización del lixiviado de la Probeta que contiene 8 pilas sin canastilla

PROBETA SIN CANASTILLA 8 PILAS			
PARAMETROS	RESULTADO		mg(elemento)/kg(muestra)
	(mg/l)	(mg/l)	
Litio	<0,05	0	0,00
Níquel	<0,16	0	0,00
Cadmio	<0,02	0	0,00
Manganeso	0,06	0,06	0,05
Zinc	0,16	0,16	0,14
Plomo	<0,09	0	0,00
Cromo	<0,04	0	0,00
Mercurio	0,00057	0	0,00

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 2: Comparación del lixiviado de las pilas tratadas (estabilizadas y solidificadas) con el lixiviado de pilas no tratadas.



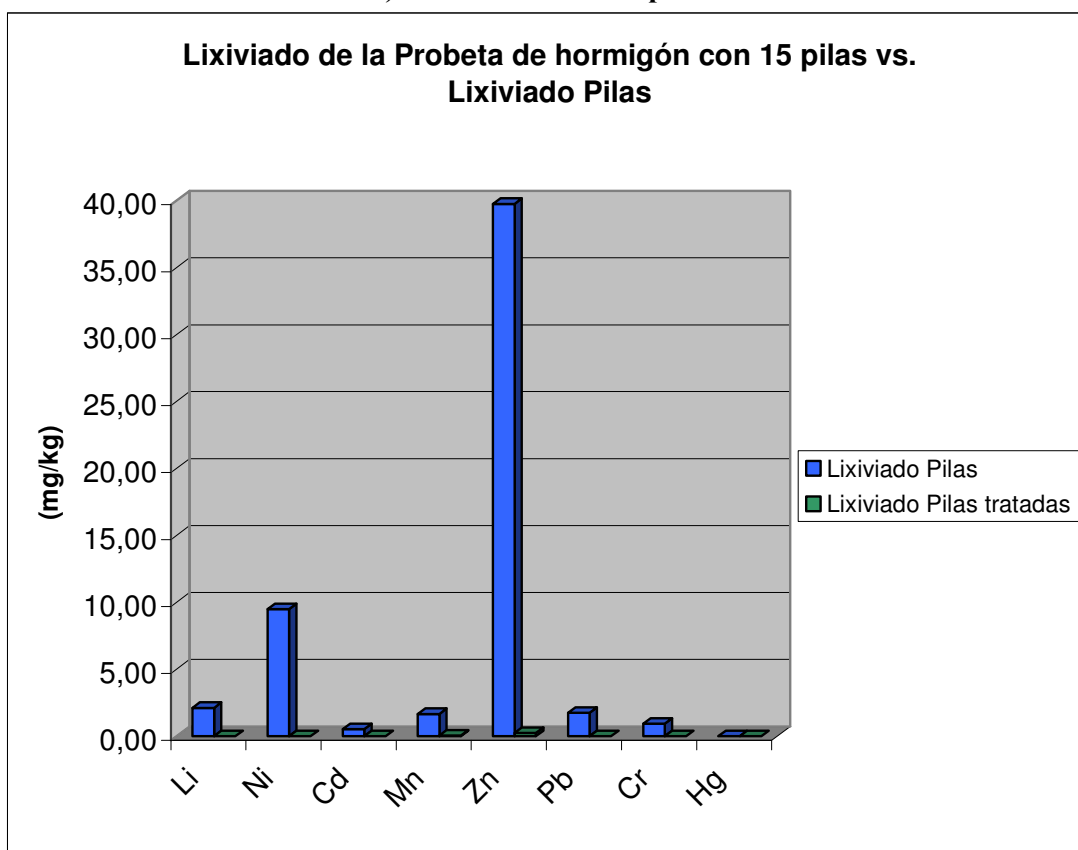
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 11: Caracterización del lixiviado de la Probeta que contiene 15 pilas en canastilla plástica

PROBETA CON 15 PILAS EN CANASTILLA PLÁSTICA			
PARAMETROS	RESULTADO		mg(elemento)/kg(muestra)
	(mg/l)	(mg/l)	
Litio	<0,05	0	0,00
Níquel	<0,16	0	0,00
Cadmio	<0,02	0	0,00
Manganeso	0,05	0,05	0,04
Zinc	0,25	0,25	0,22
Plomo	<0,09	0	0,00
Cromo	<0,04	0	0,00
Mercurio	<0,00023	0	0,00

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 3: Comparación del lixiviado de 15 pilas tratadas (estabilizadas y solidificadas) con el lixiviado de pilas no tratadas.



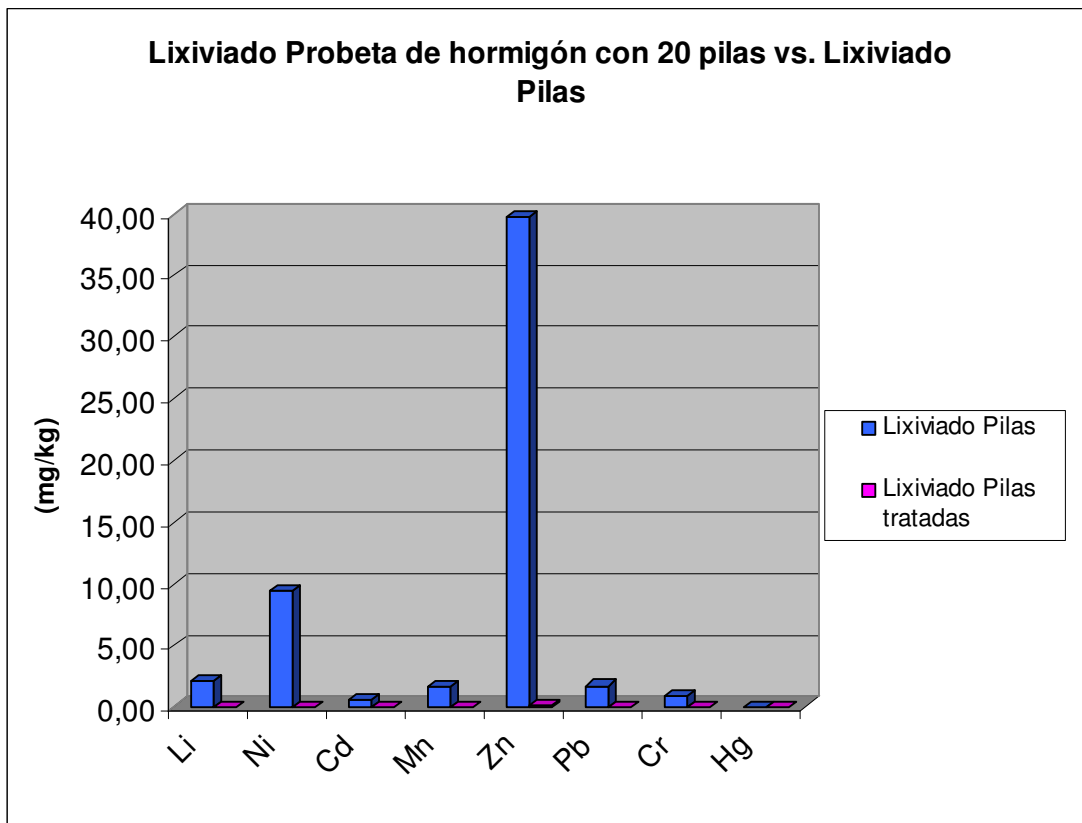
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 12: Caracterización del lixiviado de la Probeta que contiene 20 pilas en canastilla metálica

PROBETA CON 20 PILAS EN CANASTILLA METÁLICA			
PARAMETROS	RESULTADO		mg(elemento)/kg(muestra)
	(mg/l)	(mg/l)	
Li	<0,05	0	0,00
Ni	<0,16	0	0,00
Cd	<0,02	0	0,00
Mn	0,04	0,04	0,04
Zn	0,16	0,16	0,14
Pb	<0,09	0	0,00
Cr	<0,04	0	0,00
Hg	<0,00023	0	0,00

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 4: Comparación del lixiviado de 20 pilas tratadas (estabilizadas y solidificadas) con el lixiviado de pilas no tratadas.



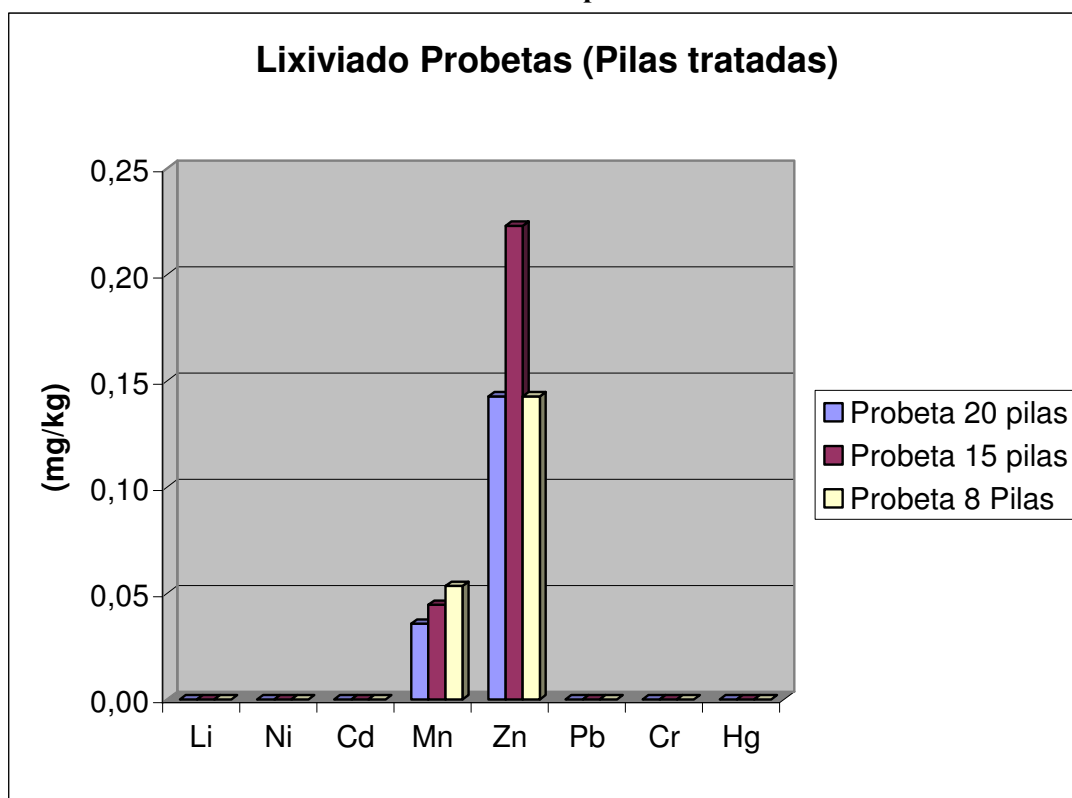
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 13: Resumen de la caracterización de los lixiviados de las probetas de hormigón que contienen pilas

PARAMETROS	PROBETA CON 20 PILAS EN CANASTILLA METÁLICA	PROBETA CON 15 PILAS EN CANASTILLA PLÁSTICA	PROBETA CON 8 PILAS SIN CANASTILLA
	(mg/kg)		
Li	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00
Cd	0,00	0,00	0,00
Mn	0,04	0,04	0,05
Zn	0,14	0,22	0,14
Pb	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00
Hg	0,00	0,00	0,00

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 5: Caracterización de los lixiviados de las probetas de hormigón que contienen pilas



Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Se aprecia que la estabilización y solidificación de 20, 15 y 8 pilas, encapsuló o retuvo eficazmente en la matriz sólida (cilindro) a los metales: Li, Ni, Cd, Pb, Cr y Hg,

El cilindro que contiene 15 pilas presenta mayor lixiviación de Zn (0,22 mg/kg), que los otros dos cilindros (0,14 mg/kg).

En lo referente al Mn las tres probetas lixivian mínimas cantidades este elemento, presentando valores entre 0,4 y 0,5 mg/kg.

4.3 PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LOS METALES LIXIVIADOS

$$\text{Reducción (\%)} = \frac{\text{Lixiviado Pilas no tratadas} - \text{Lixiviado Pilas tratadas}}{\text{Lixiviado Pilas no tratadas}} \times 100 \quad [14]$$

Cuadro 14: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de 20 pilas estabilizadas y solidificadas.

LIXIVIADO PROBETA CON CANASTILLA METÁLICA CON 20 PILAS		LIXIVIADO PILAS	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN*
PARAMETROS	mg/kg	Mg/kg	%
Li	0,00	2,10	100
Ni	0,00	9,48	100
Cd	0,00	0,52	100
Mn	0,04	1,65	97,8
Zn	0,14	39,77	99,6
Pb	0,00	1,72	100
Cr	0,00	0,92	100
Hg	0,00	0,00	0

* Porcentaje obtenido a través de la ecuación [14]

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 15: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de 15 pilas estabilizadas y solidificadas.

LIXIVIADO PROBETA CON CANASTILLA PLÁSTICA CON 15 PILAS		LIXIVIADO PILAS	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN*
PARAMETROS	mg/kg	Mg/kg	%
Li	0,00	2,10	100,00
Ni	0,00	9,48	100,00
Cd	0,00	0,52	100,00
Mn	0,04	1,65	97,30
Zn	0,22	39,77	99,44
Pb	0,00	1,72	100,00
Cr	0,00	0,92	100,00
Hg	0,00	0,00	0,00

* Porcentaje obtenido a través de la ecuación [14]

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 16: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de 8 pilas estabilizadas y solidificadas.

LIXIVIADO PROBETA SIN CANASTILLA 8 PILAS		LIXIVIADO PILAS	PORCENTAJE DE REDUCCIÓN*
PARAMETROS	mg/kg	Mg/kg	%
Li	0,00	2,10	100
Ni	0,00	9,48	100
Cd	0,00	0,52	100
Mn	0,05	1,65	96,76
Zn	0,14	39,77	99,64
Pb	0,00	1,72	100
Cr	0,00	0,92	100
Hg	0,00	0,00	0

* Porcentaje obtenido a través de la ecuación [14]

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 17: Porcentaje de reducción de las concentraciones de los metales lixiviados de las pilas estabilizadas y solidificadas.

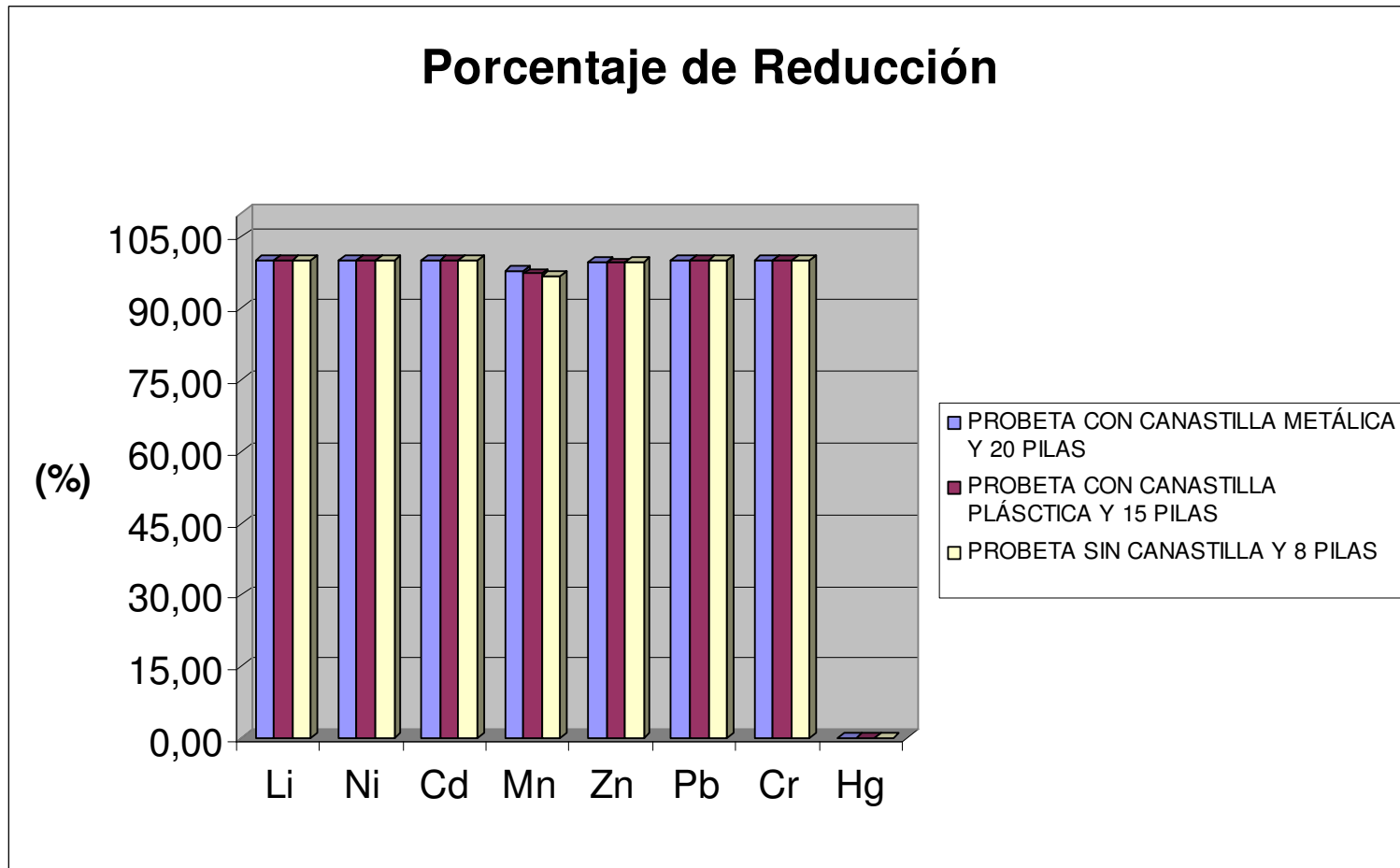
PARAMETROS	PROBETA CON CANASTILLA METÁLICA Y 20 PILAS	PROBETA CON CANASTILLA PLÁSTICA Y 15 PILAS	PROBETA SIN CANASTILLA Y 8 PILAS
	Porcentaje de Reducción (%)		
Li	100,00	100,00	100,00
Ni	100,00	100,00	100,00
Cd	100,00	100,00	100,00
Mn	97,84	97,30	96,76
Zn	99,64	99,44	99,64
Pb	100,00	100,00	100,00
Cr	100,00	100,00	100,00
Hg	0,00	0,00	0,00

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Los resultados demuestran que el tratamiento propuesto es eficaz ya que el lixiviado de las probetas que contienen 20,15 y 8 pilas presentaron un 100% de reducción para el litio, níquel, cadmio y plomo.

El Mn presentó una reducción del 97 % en los lixiviados de los cilindros que contienen 15 y 20 pilas y un 96% en el cilindro que contiene 8 pilas. Con respecto al zinc existe una reducción del 99% en las tres probetas que contienen pilas, demostrando una vez más la eficacia de este tratamiento.

Gráfico 6: Resumen Porcentaje de Reducción



Elaborado por: Andrea Maldonado V.

4.4 INDICE DE CONTAMINACIÓN AMBIENTAL (ICA)

$$\text{Índice de Contaminación Ambiental (ICA)} = \frac{\text{Concentración del contaminante en el lixiviado TCLP (mg/l)}}{\text{Valor máximo permisible del contaminante (mg/l)}} \quad [15]$$

A continuación se ilustra un ejemplo del ICA del Zinc sin estabilizar y solidificar, utilizando la ecuación [15].

$$\text{ICA} = \frac{2,008 \text{ de Zinc sin estabilizar y solidificar (mg/l)}}{5 \text{ mg/l}} \times 100 = 40,15 \%$$

A continuación se ilustra un ejemplo del ICA del Zinc en la estabilización y solidificación a 8 pilas.

$$\text{ICA} = \frac{0,16 \text{ de Zinc estabilizado y solidificado (mg/l)}}{5 \text{ mg/l}} \times 100 = 3,2 \%$$

Cuadro 18: ICA de 8 pilas estabilizadas y solidificadas

Parámetros	Valor máximo permitido (Legislación) (mg/l)	Lixiviado pilas sin Estabilizar y Solidificar (mg/l)	ICA sin Estabilizar y Solidificar (%)	Lixiviado Cilindro con 8 pilas (mg/l)	ICA Estabilizado y Solidificado (%)
Litio	*	0,106		0	
Manganeso	*	0,083		0,06	
Niquel	1,34	0,474	35,37	0	0
Cadmio	0,1	0,026	26,00	0	0
Zinc	5	2,008	40,15	0,16	3,2
Plomo	0,5	0,087	17,40	0	0
Cromo	0,5	0,047	9,33	0	0
Mercurio	0,02	0,000	0,00	0	0
		Índice de Contaminación Ambiental	21,38	Índice de Contaminación Ambiental	0,53

* Valor no disponible

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 19: ICA de 15 pilas estabilizadas y solidificadas

Parámetros	Valor máximo permitido (Legislación) (mg/l)	Lixiviado pilas sin Estabilizar y Solidificar (mg/l)	ICA sin Estabilizar y Solidificar (%)	Lixiviado Cilindro con 15 pilas en una canastilla plástica (mg/l)	ICA Estabilizado y Solidificado (%)
Litio	*	0,106		0	
Manganeso	*	0,083		0,05	
Níquel	1,34	0,474	35,37	0	0,0
Cadmio	0,1	0,026	26,00	0	0,0
Zinc	5	2,008	40,15	0,25	5,0
Plomo	0,5	0,087	17,40	0	0,0
Cromo	0,5	0,047	9,33	0	0,0
Mercurio	0,02	0,000	0,00	0	0,0
		Índice de Contaminación Ambiental	21,38	Índice de Contaminación Ambiental	0,83

*Valor no disponible

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

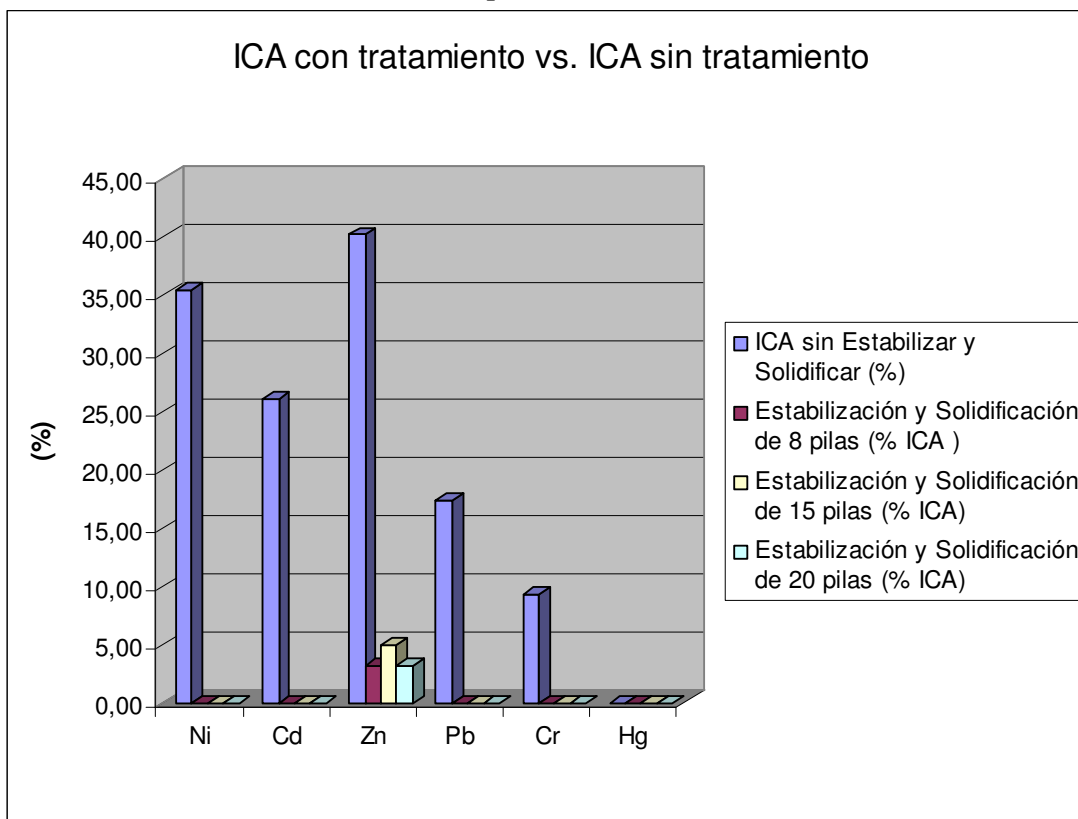
Cuadro 20: ICA de 20 pilas estabilizadas y solidificadas

Parámetros	Valor máximo permitido (Legislación) (mg/l)	Lixiviado pilas sin Estabilizar y Solidificar (mg/l)	ICA sin Estabilizar y Solidificar (%)	Lixiviado Cilindro con 20 pilas en una canastilla metálica (mg/l)	ICA Estabilizado y Solidificado (%)
Litio	*	0,106		0	
Manganeso	*	0,083		0,04	
Niquel	1,34	0,474	35,37	0	0
Cadmio	0,1	0,026	26,00	0	0
Zinc	5	2,008	40,15	0,16	3,2
Plomo	0,5	0,087	17,40	0	0
Cromo	0,5	0,047	9,33	0	0
Mercurio	0,02	0,000	0,00	0	0
		Índice de Contaminación Ambiental	21,38	Índice de Contaminación Ambiental	0,53

*Valor no disponible

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 7: Comparación del ICA de los metales de las pilas tratadas con ICA de los metales las pilas sin tratamiento



Elaborado por: Andrea Maldonado V.

En la estabilización y solidificación de 8,15 y 20 pilas, se observa que los ICA del Ni y Cd presentan una significativa reducción de 35,37% y 26% a 0% en ambos casos. Así mismo, los ICA del Pb y Cr también sufren una disminución de 17,40% y 9,33% a 0%.

El Índice del Zn también disminuye de 40,15% a 3,2% en el encapsulamiento de 8 y 20 pilas, mientras que en el de 15 pilas el Índice disminuye de 40,15% a 5%. En el caso del Hg no se evidencia una reducción del ICA debido a que su lixiviación es nula.

4.5 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS CILINDROS DE HORMIGÓN ENDURECIDO.

Cuadro 21: Características de los cilindros de hormigón y su resistencia a los 7 días de elaborados

Descripción	Probeta sin pilas (blanco)	Probeta sin pilas (blanco)	Probeta con 20 pilas en canastilla metálica	Probeta con 20 pilas en canastilla metálica	Probeta con 15 pilas en canastilla plástica	Probeta con 15 pilas en canastilla plástica	Probeta con 8 pilas sin canastilla	Probeta con 8 pilas sin canastilla
Fecha de Fabricación	09/05/2008	09/05/2008	28/05/2008	28/05/2008	09/05/2008	09/05/2008	09/05/2008	09/05/2008
Fecha de rotura	16/05/2008	16/05/2008	04/06/2008	04/06/2008	16/05/2008	16/05/2008	16/05/2008	16/05/2008
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7	7
Altura (cm)	30,30	30,40	30,50	30,40	30,50	30,50	30,60	30,60
Diámetro (cm)	15,40	15,30	15,38	15,17	15,40	15,40	15,30	15,40
Área (cm ²)	186,96	184,92	185,90	180,86	186,61	186,61	184,78	186,56
Volumen (cm ³)	5665,11	5624,68	5679,32	5505,44	5698,32	5694,03	5655,76	5709,90
Masa (g)	12730,00	12700,00	13100,00	12790,00	13000,00	12880,00	12790,00	12870,00
Peso Unitario (g/cm ³)	2,25	2,26	2,31	2,32	2,28	2,26	2,26	2,25
Carga de Rotura (Kn)	372,00	341,00	285,00	292,00	252,00	260,00	338,00	375,00
Resistencia (MPa)	19,90	18,44	15,33	16,15	13,50	13,93	18,29	20,10
Resistencia (kg/cm ²)	202,92	188,03	156,37	164,73	137,66	142,05	186,51	204,96

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 22: Características de los cilindros de hormigón y su resistencia a los 28 días de elaborados

Descripción	Probeta sin pilas (blanco)	Probeta sin pilas (blanco)	Probeta con 20 pilas en canastilla metálica	Probeta con 20 pilas en canastilla metálica	Probeta con 15 pilas en canastilla plástica	Probeta con 15 pilas en canastilla plástica	Probeta con 8 pilas sin canastilla	probeta con 8 pilas sin canastilla
Fecha de Fabricación	09/05/2008	09/05/2008	28/05/2008	28/05/2008	09/05/2008	09/05/2008	09/05/2008	09/05/2008
Fecha de rotura	09/06/2008	09/06/2008	25/06/2008	25/06/2008	09/06/2008	09/06/2008	09/06/2008	09/06/2008
Edad (días)	31	31	28	28	31	31	31	31
Altura (cm)	30,20	30,30	30,42	30,51	30,31	30,50	29,90	30,40
Diámetro (cm)	15,30	15,42	15,83	15,41	15,32	15,37	15,40	15,19
Área (cm²)	183,85	186,87	185,84	185,84	184,45	185,66	186,26	181,21
Volumen (cm³)	5561,58	5665,91	5653,68	5695,33	5590,84	5660,80	5569,32	5509,08
Masa (g)	12730,00	12670,00	12900,00	13180,00	12450,00	12900,00	12470,00	12630,00
Peso Unitario (g/cm³)	2,29	2,24	2,28	2,31	2,23	2,28	2,24	2,29
Carga de Rotura (Kn)	608,00	598,00	426,00	415,00	404,00	437,00	576,00	578,00
Resistencia (MPa)	33,07	32,00	22,92	22,24	21,90	23,54	30,92	31,89
Resistencia (kg/cm²)	337,31	326,40	233,78	226,85	223,38	240,11	315,38	325,28

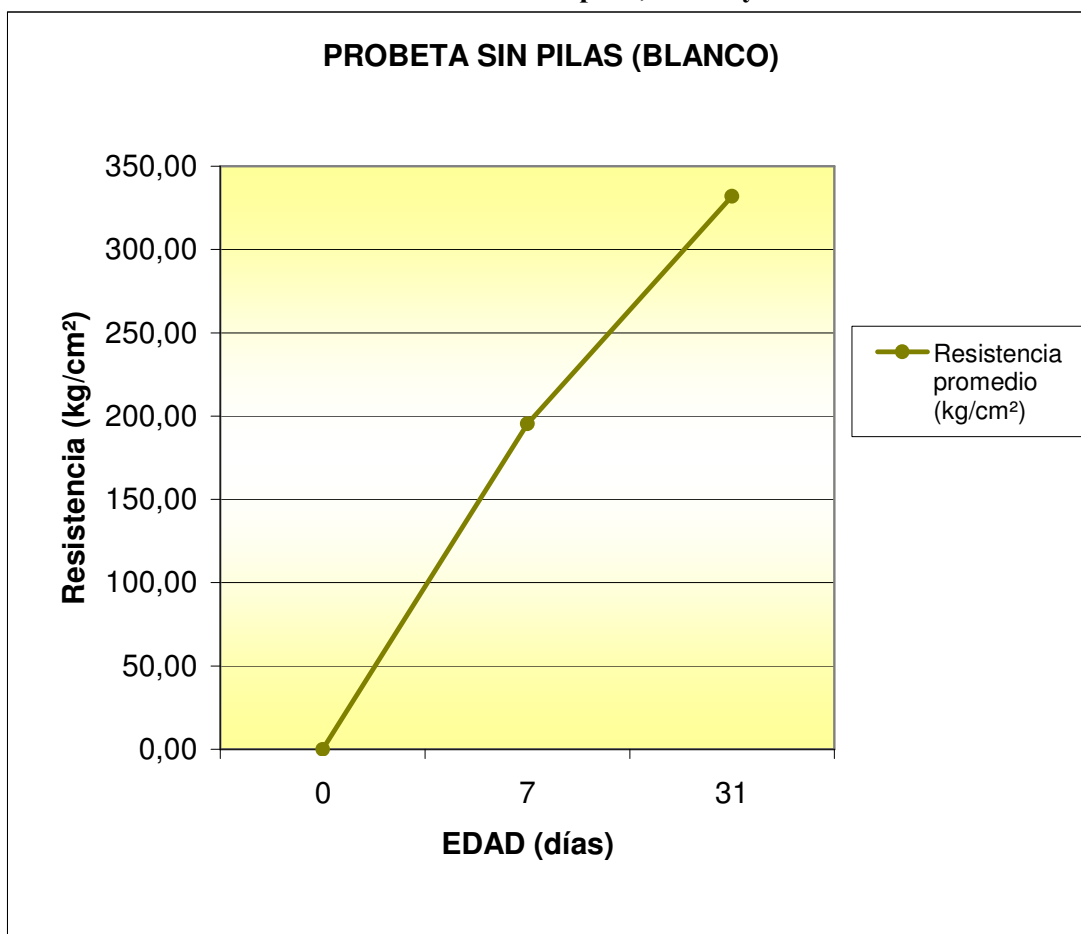
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 23: Resistencia de los cilindros sin pilas, a los 7 y 31 días de elaborados

PROBETA SIN PILAS (BLANCO)	
EDAD (días)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	195,48
31	331,86

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 8: Resistencia de los cilindro sin pilas, a los 7 y 31 días de elaborados



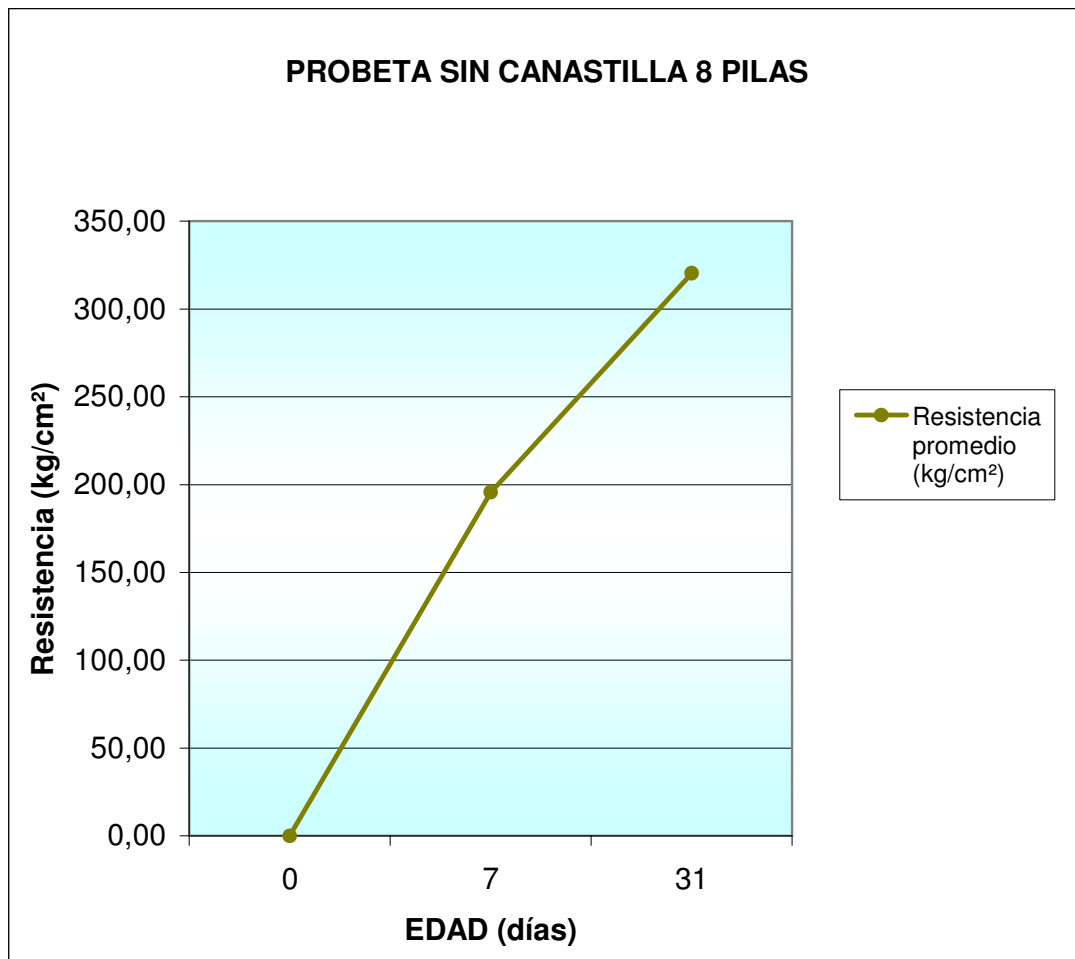
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 24: Resistencia de los cilindros con 8 pilas sin canastilla, a los 7 y 31 días de elaborados

PROBETA SIN CANASTILLA 8 PILAS	
EDAD (días)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	195,74
31	320,33

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 9: Resistencia de los cilindros con 8 pilas sin canastilla a los 7 y 31 días de elaborados.



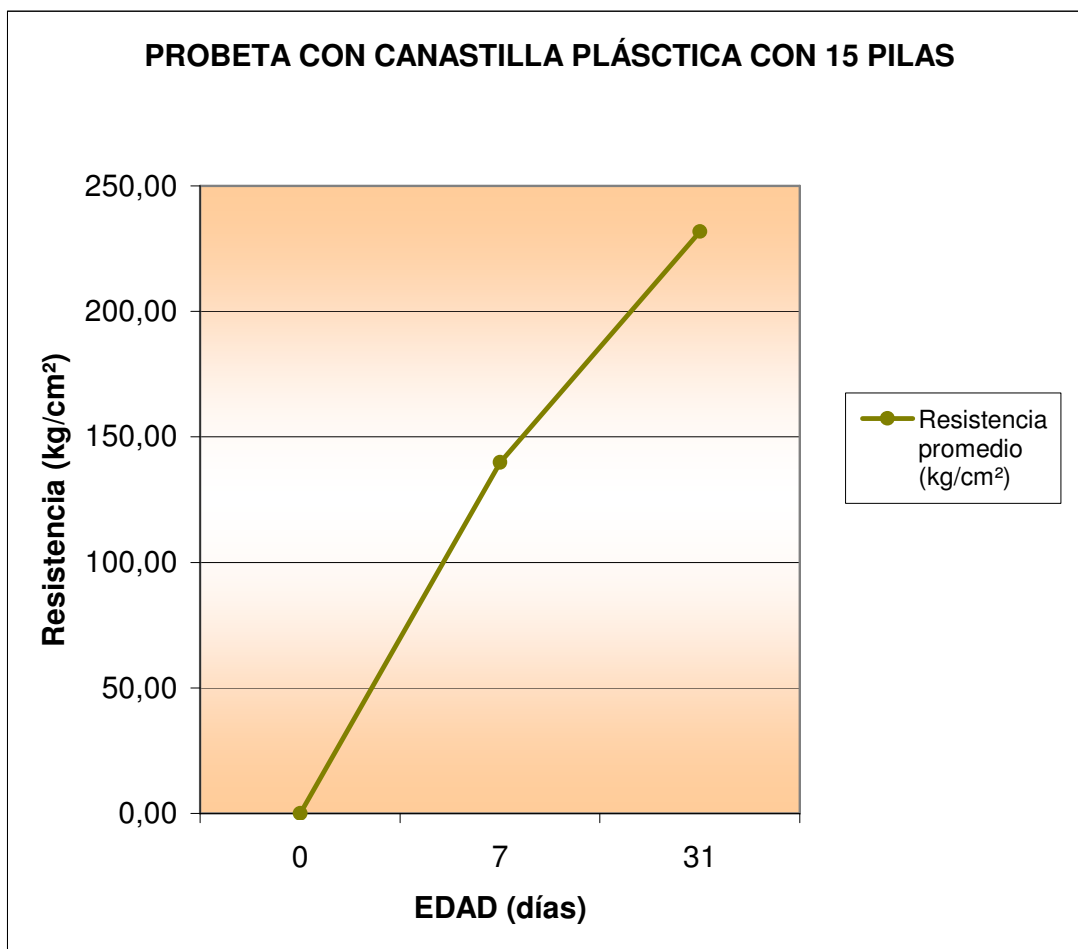
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 25: Resistencia de los cilindros con 15 pilas en canastilla plástica, a los 7 y 31 días de elaborados

PROBETA CON CANASTILLA PLÁSTICA CON 15 PILAS	
EDAD (días)	Resistencia promedio (kg/cm²)
7	139,86
31	231,74

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 10: Resistencia de los cilindros con 15 pilas en canastilla plástica, a los 7 y 31 días de elaborados



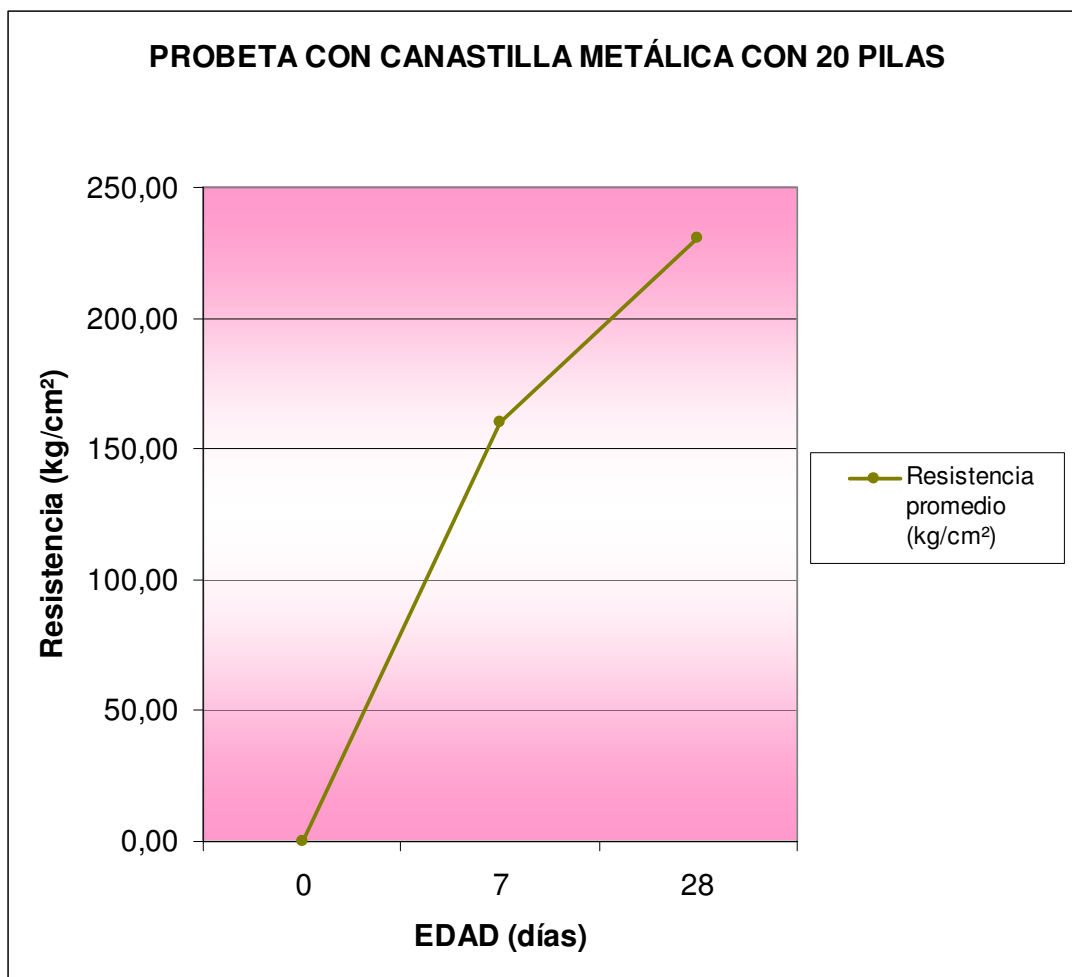
Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 26: Resistencia de los cilindros con 20 pilas en canastilla metálica, a los 7 y 28 días de elaborados

PROBETA CON CANASTILLA METÁLICA CON 20 PILAS	
EDAD (días)	Resistencia promedio (kg/cm ²)
7	160,55
28	230,32

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Gráfico 11: Resistencia de los cilindros con 20 pilas en canastilla metálica, los 7 y 28 días de elaborados



Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Cuadro 27: Resumen de las Resistencias de los cilindros de hormigón, a los 7 y 31/28 días de elaborados

RESUMEN		
DESCRIPCIÓN	EDAD (días)	RESISTENCIA PROMEDIO (kg/cm ²)
PROBETA SIN PILAS (BLANCO)	7	195,48
	31	331,86
PROBETA CON 20 PILAS EN CANASTILLA METÁLICA	7	160,55
	28	230,32
PROBETA CON 15 PILAS EN CANASTILLA PLÁSTICA	7	139,86
	31	231,74
PROBETA SIN CANASTILLA 8 PILAS	7	195,74
	31	320,33

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

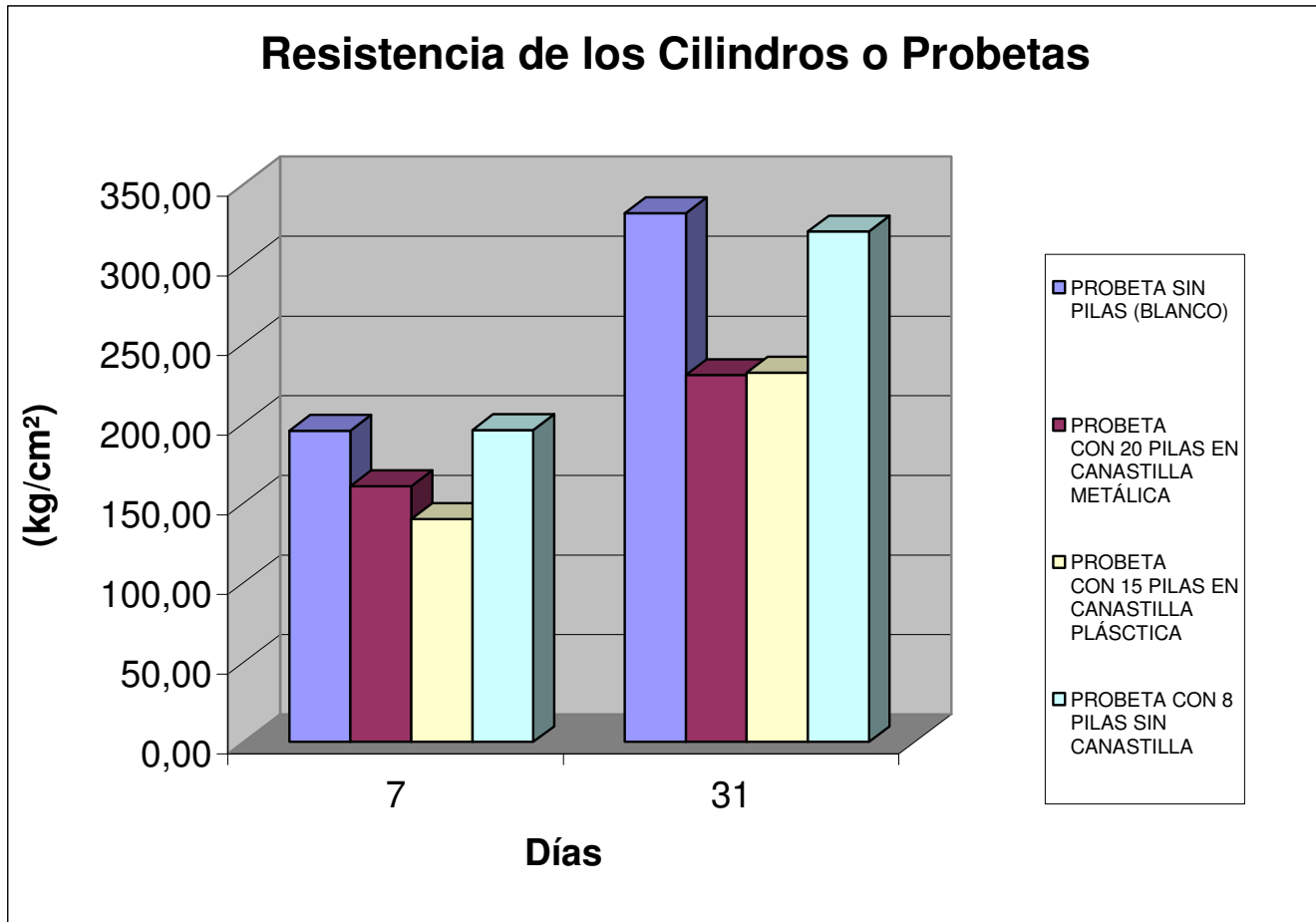
Cuadro 28: Resistencias y sus principales usos

RESISTENCIA (kg/cm ²)	PRINCIPALES USOS EN LA CONSTRUCCIÓN
140-180	Contrapisos, aceras
180-210	Hormigón ciclópeo, replantillos
210-240	Estructuras, columnas, vigas
240-280	Vigas para puentes
280-300	Vigas para puentes
300 y más	Hormigón pretensado y Postensado

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

La información del cuadro 28 fue proporcionada por el Ingeniero Civil Mario Puente y el Ingeniero Civil Federico Loaiza.

Gráfico 12: Resumen de las Resistencias de los cilindros de hormigón, a los 7 y 31/28 días de elaborados



Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Los resultados demuestran que las resistencias promedio a los 7 días de las probetas se encuentran aproximadamente entre el 60 y 75% de las resistencias promedio a los 28 días.

La resistencia promedio de las probetas sin pilas (blanco), supera la resistencia a la que fue diseñado el hormigón 210 kg/cm^2 , ya que a los 28 días presenta una resistencia de $331,86 \text{ kg/cm}^2$.

Las probetas que contienen pilas presentan menor resistencia promedio a los 28 días, en comparación a los cilindros blanco, debido a que las pilas constituyen cuerpos extraños que ocupan espacio en su interior, provocando que la cantidad de hormigón disminuya, lo que da como consecuencia una disminución también en su resistencia.

Los cilindros que contienen 8 pilas sin canastilla presentan mayor resistencia promedio en relación a las resistencias de las probetas que contienen un mayor número de pilas con canastilla.

La resistencia promedio de las probetas que contienen 15 pilas en canastilla metálica es menor en comparación al cilindro blanco y al cilindro de 8 pilas, sin embargo presenta una resistencia promedio adecuada a los 28 días, ya que supera la resistencia de diseño (210 kg/cm^2).

De igual forma las probetas que contienen 20 pilas presentan una buena resistencia promedio de $230,32 \text{ kg/cm}^2$, superando de esta manera la resistencia de diseño (210 kg/cm^2).

4.6 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

La mezcla de hormigón fue diseñada para que adquiriera una resistencia de 210 kg/cm² cuando se endurezca.

Cuadro 29: Resumen, diseño de la mezcla de hormigón

ITEM	UNIDADES	AG. GRUESO	AG. FINO
Humedad	%	0,35	2,81
Absorción	%	2,80	6,03
Estado Saturado con Superficie Seca	kg/m ³	690,09	1035,14
Estado seco	kg/m ³	671,29	976,24
Estado natural	kg/m ³	673,66	1003,67

Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

ITEM	UNIDADES	CANTIDAD
Cemento	kg/m ³	369,09
Agua neta	kg/m ³	203,00
Agua de mezcla	kg/m ³	250,91

Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Cuadro 30: Componentes de la mezcla de hormigón

COMPONENTES DE LA MEZCLA	UNIDADES	CANTIDAD	
Número de cilindros	Unidad	7	
Volumen de hormigón a mezclar		0,04	
Agua de mezcla	kg	9,85	9850 cm ³ o 9,85 l
Cemento	kg	14,49	
Agregado fino	kg	39,40	
Agregado grueso	kg	26,44	
Aditivo Impermeabilizante	ml	86,94	

Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Previo a realizar el diseño de la mezcla es necesario ejecutar los ensayos en materiales, los mimos que fueron ejecutados por el Laboratorio de Materiales de Construcción de la Universidad Católica del Ecuador.

4.7 ENSAYOS EN MATERIALES

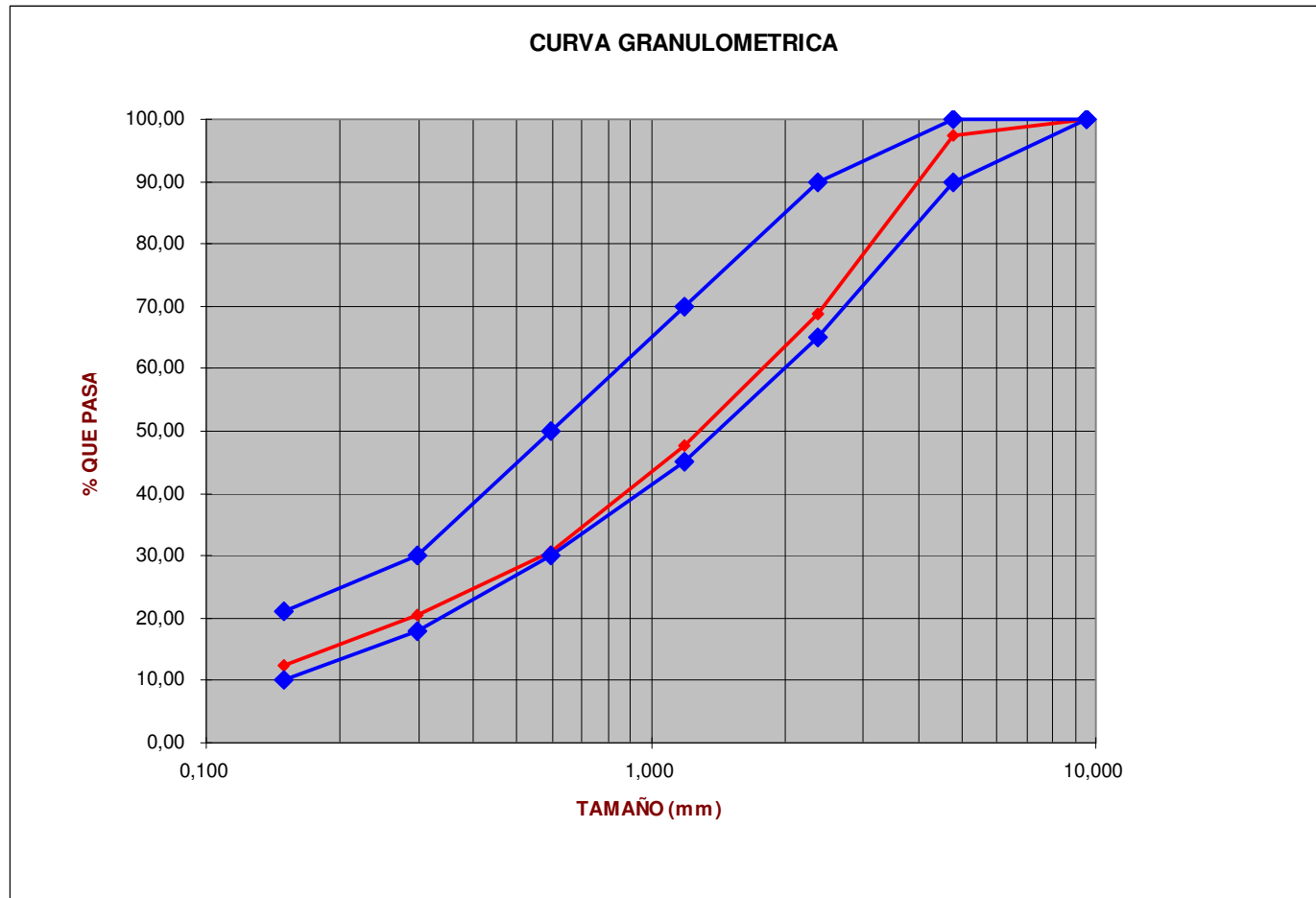
4.7.1 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS FINOS (ARENA) Y GRUESOS (RIPIO)

Cuadro 31: Granulometría de los agregados finos de Fucusuco

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. ASTM C33-03
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	24,87	24,87	2,62	97,38	90-100
N° 8	2,362	271,16	296,03	31,21	68,79	65-90
N° 16	1,190	199,95	495,98	52,30	47,70	45-70
N° 30	0,595	160,95	656,93	69,27	30,73	30-50
N° 50	0,297	97,55	754,48	79,56	20,44	18-30
N° 100	0,149	75,06	829,54	87,47	12,53	10-21
P A S A No 100		118,82	118,82			
SUMA:		948,36	948,36			

Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Gráfico 13: Curva granulométrica los agregados finos de Fucusuco



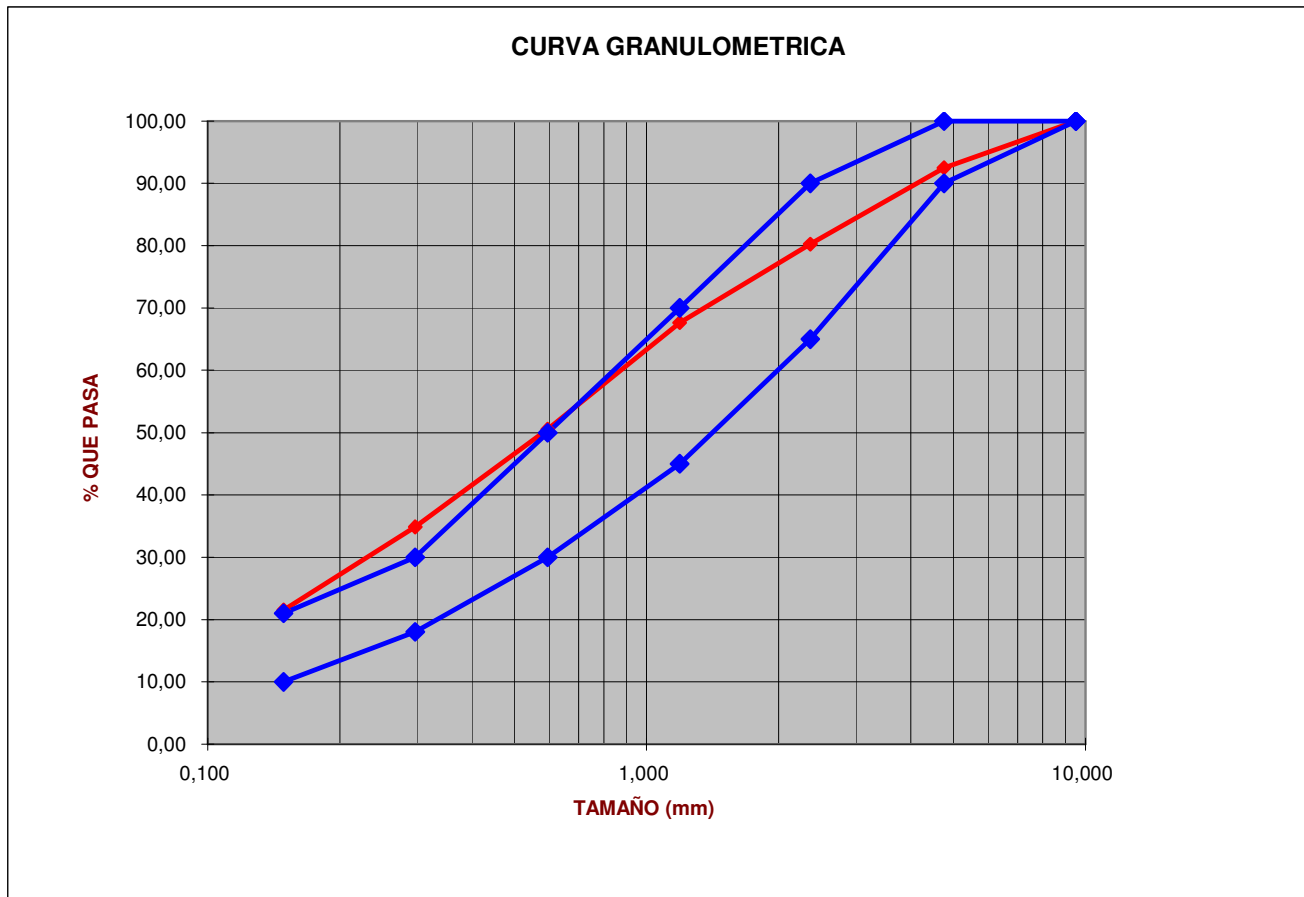
Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Cuadro 32: Granulometría de los agregados finos de Disensa

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. ASTM C33-03
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00	
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	100,00	
3/8"	9,510	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,760	38,57	38,57	7,47	92,53	90-100
N° 8	2,362	63,34	101,91	19,75	80,25	65-90
N° 16	1,190	64,97	166,88	32,34	67,66	45-70
N° 30	0,595	88,26	255,14	49,44	50,56	30-50
N° 50	0,297	81,06	336,20	65,14	34,86	18-30
N° 100	0,149	68,78	404,98	78,47	21,53	10-21
P A S A No 100		111,10	111,10			
SUMA:		516,08	516,08			

Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Gráfico 14: Curva granulométrica de los agregados finos de Disensa



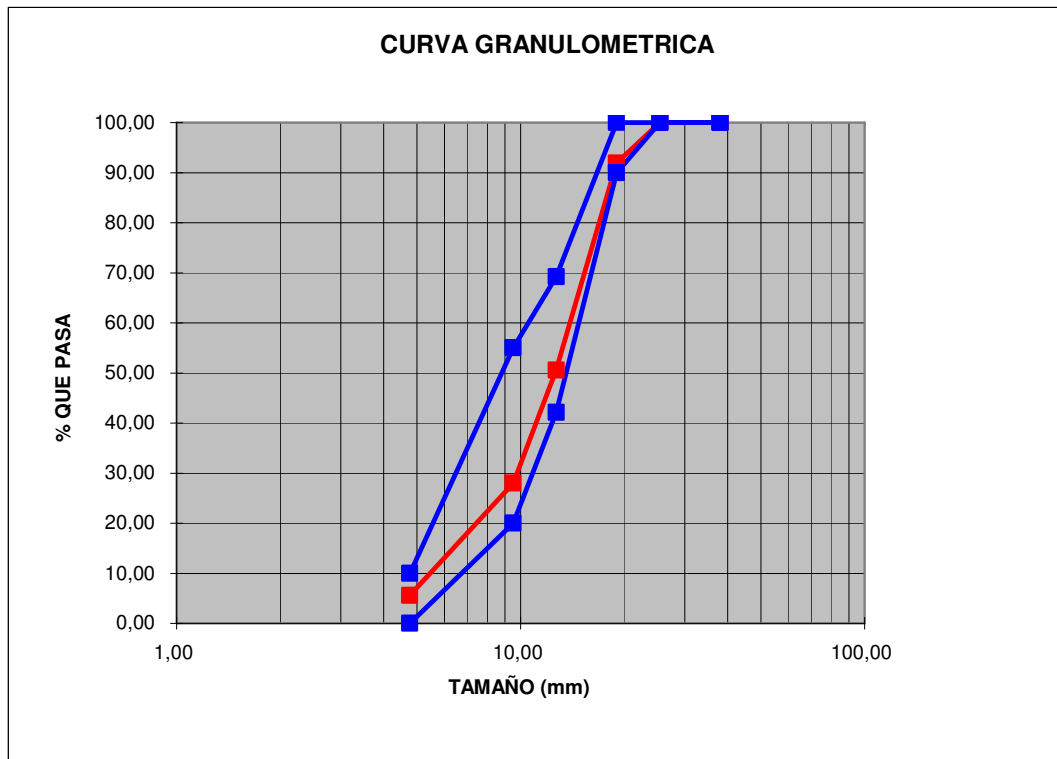
Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Cuadro 33: Granulometría de los agregados gruesos de Disensa

MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	MASA RETENIDA ACUMULADA	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)	ESPECIFICAC. ASTM C 33 - 03
2"	50,80	0	0,0	0,00	100,00	
1 1/2"	38,10	0	0,0	0,00	100,00	
1"	25,40	0	0,0	0,00	100,00	100
3/4"	19,00	1756	1756	8,13	91,87	90-100
1/2"	12,70	8926	10682	49,45	50,55	
3/8"	9,51	4874	15556	72,02	27,98	20-55
No.4	4,76	4834	20390	94,40	5,60	0-10
P A S A No 4		1210	1210			
SUMA:		21600	21600			

Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Gráfico 15: Curva Granulométrica de de los agregados gruesos de Disensa



Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Basándose en los resultados del ensayo de granulometría se escogió a los agregados finos (arena) procedentes de Fucusuco, debido a que estos presentan una adecuada distribución de todos los tamaños de sus partículas.

Una vez escogidos los agregados se modificaron las proporciones de agregados gruesos y de agregados finos, hasta conseguir una curva que se asemeje a la curva granulométrica ideal de Fuller Thompson, con el objeto de encontrar una granulometría adecuada para la mezcla de hormigón, es decir tener una adecuada distribución de todos los tamaños de los agregados.

Las proporciones fueron 60% de agregado grueso y 40% de agregado fino. En el cuadro 34 se observa la granulometría del material combinado con su gráfico (16) correspondiente.

Cuadro 34: Combinación óptima de arena de Fucusuco y ripio de Disensa

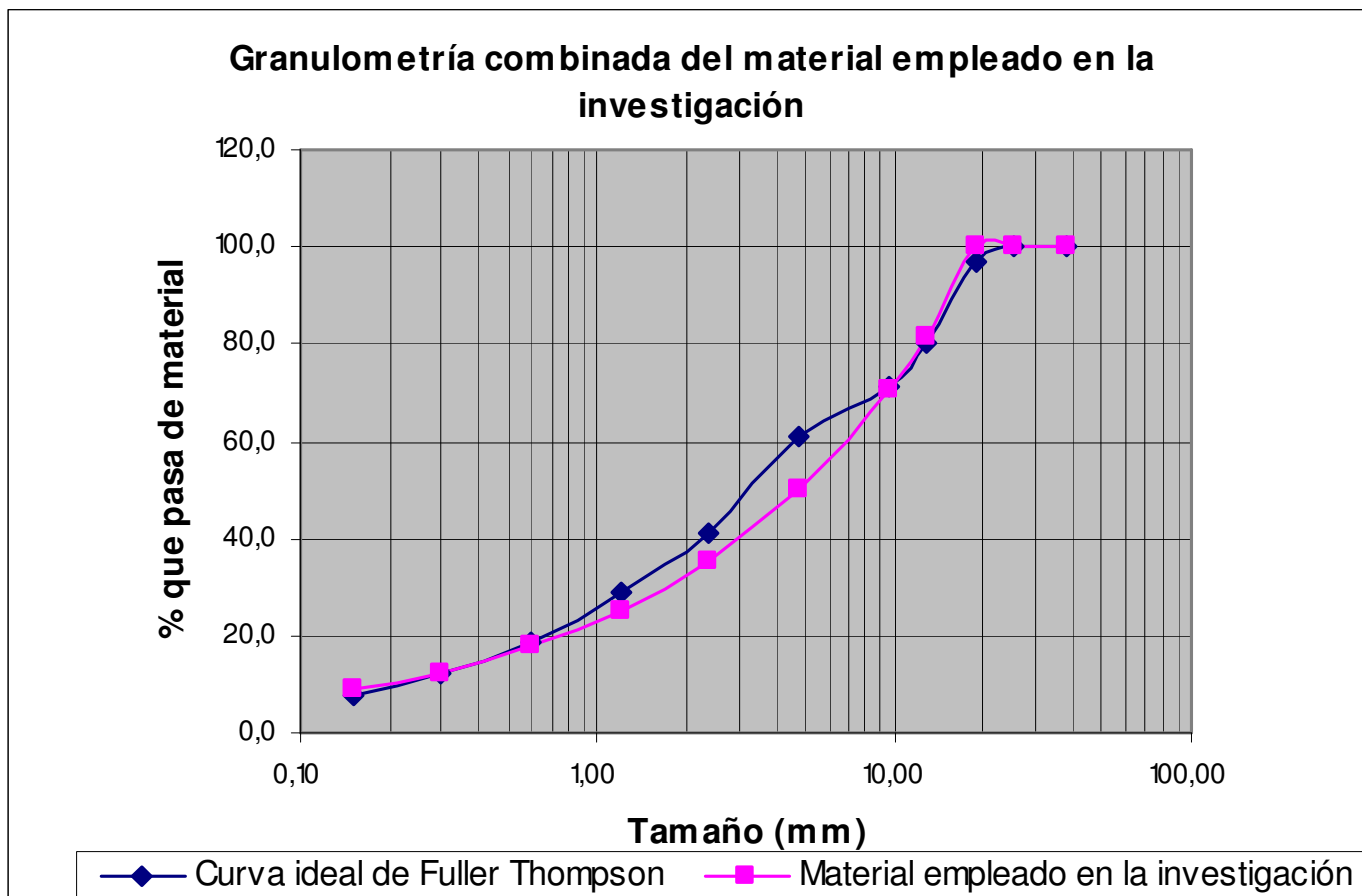
MALLA	TAMICES	Especificaciones para Fuller Thomson (%)		AGREGADO GRUESO DISENSA % que pasa	AGREGADO FINO FUCUSUCO % que pasa	MEZCLA
3"	76,20	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2 ½"	64,00	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
2"	50,40	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1 ½"	38,10	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1"	25,40	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
¾"	19,00	100,0	0,0	91,9	100,0	96,7
½"	12,70	81,6	0,0	50,5	100,0	80,2
3/8"	9,51	70,7	0,0	28,0	100,0	71,2
No.4	4,76	50,0	0,0	5,6	97,4	60,7
No.8	2,36	35,4	0,0		68,8	41,3
No.16	1,19	25,0	0,0		47,7	28,6
No.30	0,60	17,7	0,0		30,7	18,4
No.50	0,30	12,5	0,0		20,4	12,3
No.100	0,15	8,8	0,0		12,5	7,5

Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

Porcentaje óptimo de combinación de los agregados finos y gruesos para la mezcla de Hormigón

Ripio	40 %
Arena	60 %

Gráfico 16: Comparación de la curva de Fuller Thomson con la curva granulométrica de los agregados combinados



Elaborado por: Ing. Carla Dávila, Laboratorio de Materiales de Construcción de PUCE

4.7.2 PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS

Agregado fino procedente de Fucusuco

PESO UNITARIO SUELTO	PUS =	1629	kg / m ³
PESO UNITARIO COMPACTO	PUC =	1869	kg / m ³

Agregado fino procedente de Disensa

PESO UNITARIO SUELTO	PUS =	1491	kg / m ³
PESO UNITARIO COMPACTO	PUC =	1735	kg / m ³

Agregado Grueso procedente de Disensa

PESO UNITARIO SUELTO	PUS =	1253	kg / m ³
PESO UNITARIO COMPACTO	PUC =	1426	kg / m ³

4.7.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Agregado Fino procedente de Disensa

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	Ge =	2,41
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,50
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,66
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	3,82 %

Agregado Fino procedente de Fucusuco

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	Ge =	2,30
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,44
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,67
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	6,03 %

4.7.4 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Agregado Grueso (ripio) procedente de Disensa

GRAVEDAD ESPECIFICA BULK	Ge =	2,52
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	Ges =	2,59
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	Gea =	2,71
PORCENTAJE DE ABSORCION	Ab =	2,80 %

4.7.5 DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Agregado grueso de Disensa

MASA INICIAL DE LA MUESTRA	A=	5004	g
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12	B=	3882	g
DESPUES DE 500 REVOLUCIONES			
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12	C=	1122	g
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	22,42	%

4.8 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE PILAS POR m³ DE MEZCLA DE HORMIGÓN

Cuadro 35: Volumen de cilindros de hormigón que contienen pilas

VOLUMEN CILINDROS QUE CONTIENEN PILAS			
	20 pilas	15 pilas	8 pilas
Volumen cilindro 1 (mm³)	5.653.683,48	5.590.836,40	5.569.324,35
Volumen cilindro 2 (mm³)	5.695.328,48	5.660.796,66	5.509.079,16
Promedio del volumen en (mm)³	5.674.505,98	5.625.816,53	5.539.201,76
Promedio del volumen en (cm)³	5.674,51	5.625,82	5.539,20
Promedio del volumen en (m)³	0,0057	0,0056	0,0055

Elaborado por: Andrea Maldonado Villalba

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,0057 \text{ m}^3} \left| \begin{array}{l} 20 \text{ pilas} \\ 0,0057 \text{ m}^3 \end{array} \right. = 3525 \text{ pilas}$$

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,0056 \text{ m}^3} \left| \begin{array}{l} 15 \text{ pilas} \\ 0,0056 \text{ m}^3 \end{array} \right. = 2666 \text{ pilas}$$

$$\frac{1 \text{ m}^3}{0,0055 \text{ m}^3} \left| \begin{array}{l} 8 \text{ pilas} \\ 0,0055 \text{ m}^3 \end{array} \right. = 1444 \text{ pilas}$$

4.9 CARACTERÍSTICAS Y DISEÑO DE UNA BANCA

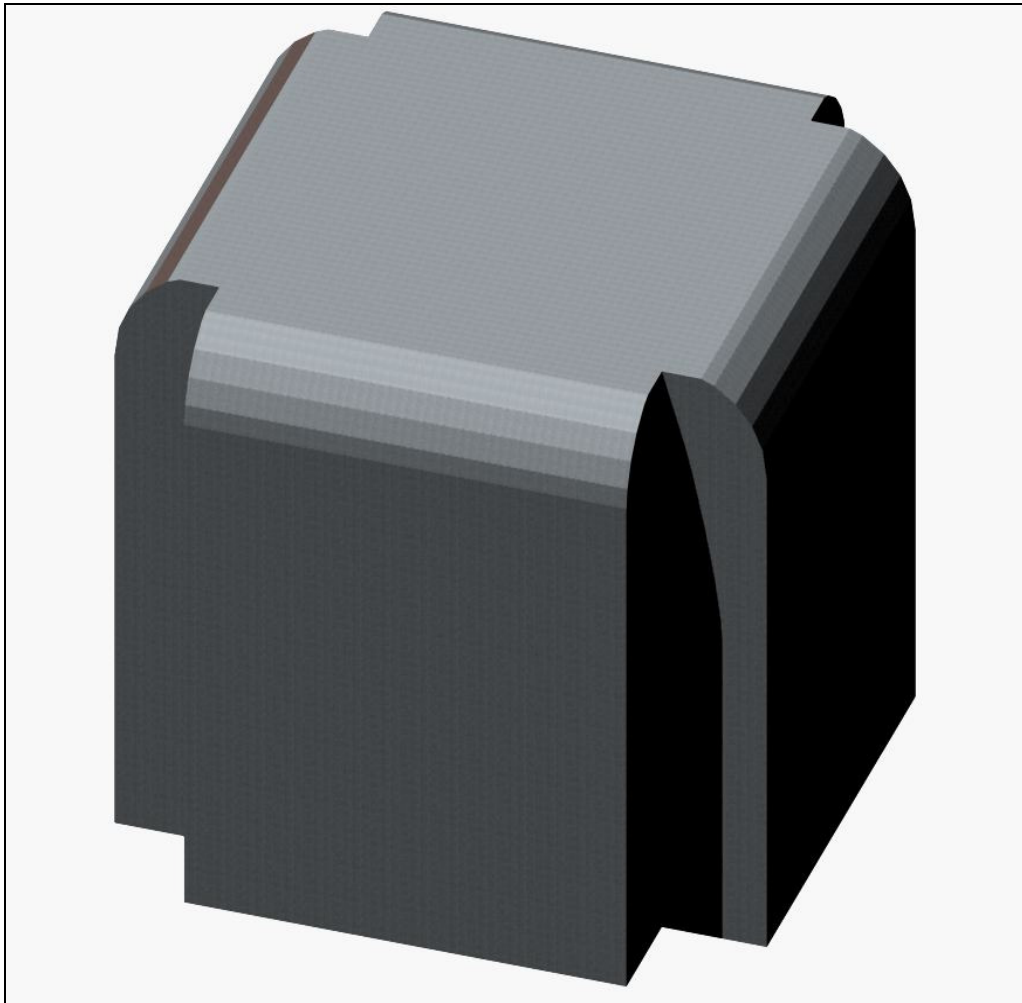
La banca fue diseñada tomando en cuenta las siguientes características

- La banca debe presentar un volumen y una forma tal, que encapsule y solidifique a número significativo de pilas;
- Con esta forma y con la mezcla diseñada se podrá obtener una resistencia mayor o igual a 210 kg/cm².
- Las pilas estarán dentro de una canastilla metálica la cual a su vez estará cubierta por una capa de hormigón que presenta un espesor adecuado mayor a cuatro centímetros, lo que permitirá asegurar que los componentes tóxicos de las pilas no migren hacia el ambiente, con lo que se logrará la estabilización y solidificación de las pilas de desecho mediante su encapsulamiento, aspecto constituye el objetivo primordial de la investigación.
- La elaboración de la banca debe ser económica, simple y rápida.

4.9.1 FORMA DE LA BANCA

El diseño de la banca se realizó con la ayuda del Sr. Luigi Manciatì Jaramillo, estudiante de octavo semestre de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Católica de Quito.

Gráfica 17: Forma de la banca

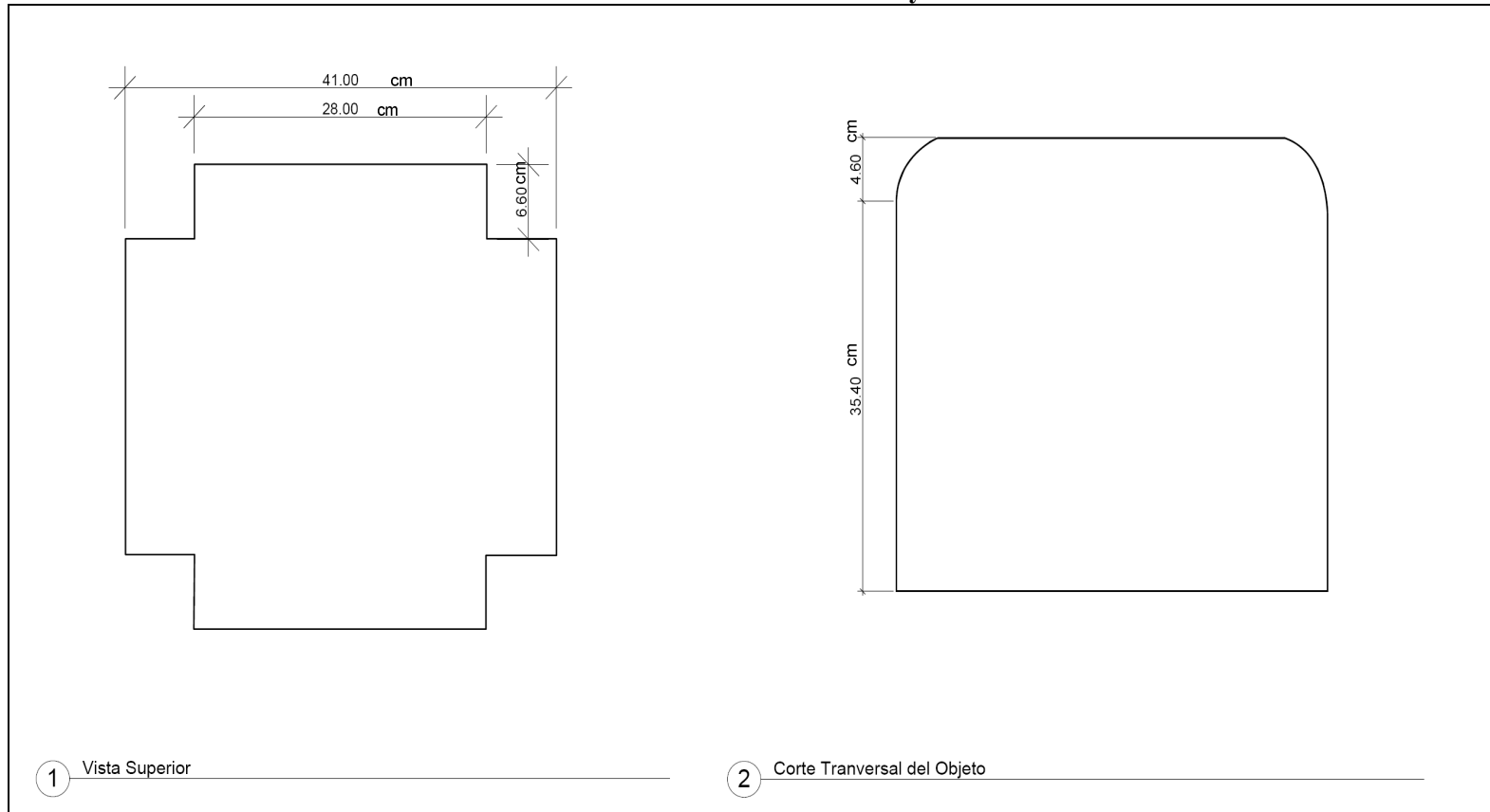


Elaborado por: Luigi Manciatì Jaramillo y Andrea Maldonado

A continuación se ilustran las vistas de los cortes de la banca y sus dimensiones que se encuentran en centímetros.

4.9.2 VISTAS DE LOS CORTES DE LA BANCA Y SUS DIMENSIONES

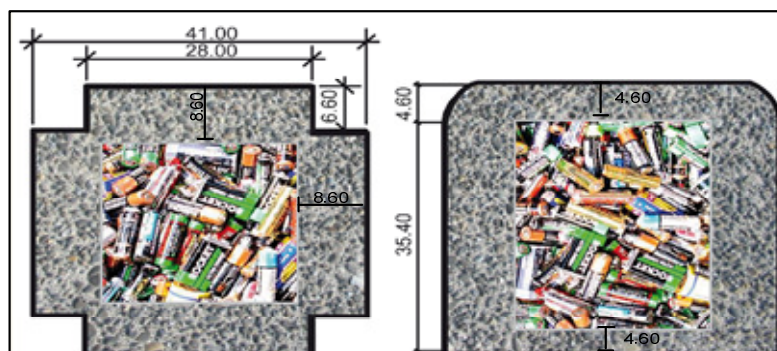
Gráfico 18: Vistas de los cortes de la banca y sus dimensiones



Elaborado por: Luigi Manciatì Jaramillo y Andrea Maldonado

4.9.3 VISTA DE LOS CORTES DE LA BANCA CON PILAS

Gráfico 19: Cortes de la banca y sus dimensiones



Elaborado por: Luigi Manciatì Jaramillo y Andrea Maldonado

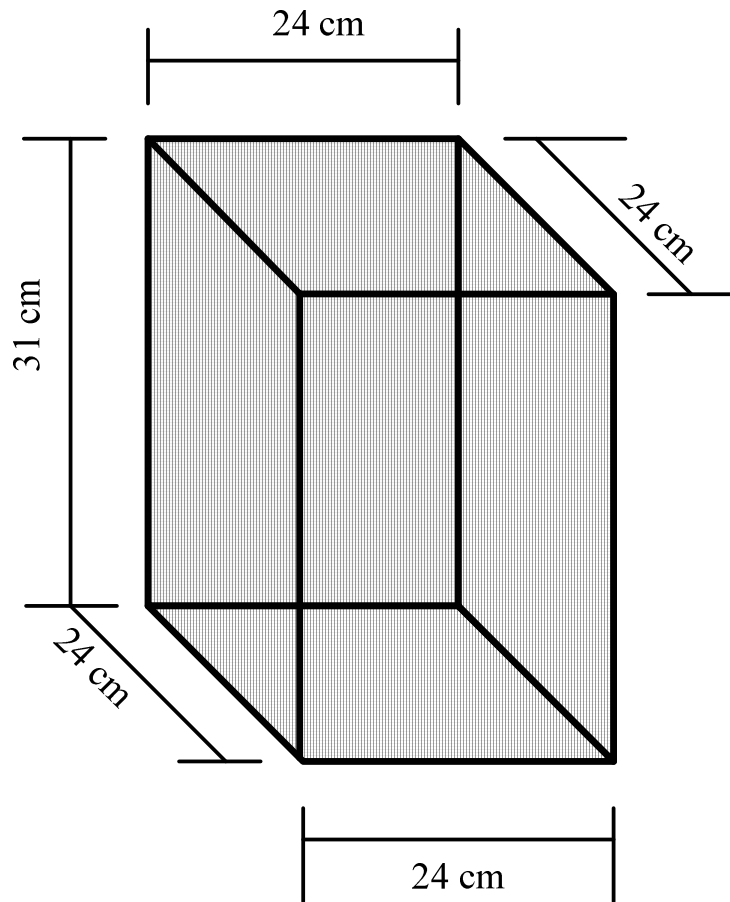
Como se explicó a lo largo de este trabajo, las pilas forman parte de la mezcla y la utilización de la canastilla metálica es con la finalidad de retenerlas en el interior del la banca a fin de asegurar su encapsulamiento y que estas no se desplacen hacia los bordes y por ende queden expuestas hacia el medio ambiente, con lo cual no se conseguiría el objetivo perseguido en el proyecto.

Por tanto, la propuesta en este sentido es la siguiente: colocar las pilas y la mezcla de hormigón en una canasta la cual estará cubierta a cada lado por una capa de hormigón con un espesor aproximado de 8,60 cm, la base y la parte superior estarán cubiertas por una capa de espesor de 4,60 cm respectivamente, conforme se expone en el gráfico de cortes de la banca.

4.9.4 CANASTA METÁLICA

Estará conformada por una malla metálica de $\frac{1}{4}$ ", cuyas dimensiones se muestran en el gráfico expuesto a continuación:

Gráfico 20: Canasta metálica y sus dimensiones



Elaborado por: Andrea Maldonado V.

4.9.5 FOTOMONTAJE DE LAS BANCAS EN UNA FOTOGRAFÍA DEL PARQUE METROPOLITANO.



Fuente: <http://images.google.com.ec/imgres/parque/metropolitano>

4.9.6 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE PILAS POR BANCA

Para realizar el siguiente cálculo se tomo como base la probeta o el cilindro que contiene 20 pilas elaborado en la investigación

Volumen de la canastilla cilíndrica utilizada en el cilindro que contiene 20 pilas: 1.399,58 cm³
Volumen de la canasta metálica que se utilizará en la banca: 17.856 cm³

$$\frac{17856 \text{ cm}^3 \text{ volumen canasta interna banca}}{1.399,58 \text{ cm}^3 \text{ volumen canastilla metálica}} = 255 \text{ pilas}$$

La banca encapsulará y solidificará aproximadamente a 255 pilas, con lo cual se espera obtener una resistencia promedio igual o mayor de 210 kg/cm².

4.9.7 COSTO DE LA BANCA

Para estimar los costos por banco se tomó en cuenta los valores de los materiales utilizados en la investigación.

Cantidades de los componentes utilizados para elaborar seis cilindros de hormigón

Cemento:	14,49	Kg
Agregado fino:	39,4	Kg
Agregado grueso:	26,44	Kg
Aditivo Impermeabilizante:	86,94	MI
Malla metálica cilíndrica:	4.473,72	cm ²

Cuadro 36: Precios de los materiales utilizados en la investigación

Elemento	Unidad	Valor (USD)
Cemento	50 kg	6,45
Saco de arena	60 kg	0,6
Saco de ripio	70 kg	0,65
Aditivo Impermeabilizante Plastificante	1 galón o 3785,41 ml	4,35
Malla metálica	(1x 0,9)m o 9000 cm ²	5,3

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

Los precios son referenciales y están sujetos a variaciones que pueden presentarse en el mercado o en la economía del país.

a) Costos de Cada Material

Cemento:

$$\frac{14,49 \text{ kg} \quad | \quad 6,45 \text{ USD}}{50 \text{ kg}} = 1,87 \text{ USD}$$

Arena:

$$\frac{39,4 \text{ kg} \quad | \quad 0,60 \text{ ctvs. USD}}{60 \text{ kg}} = 0,39 \text{ ctvs. USD}$$

Ripio:

$$\frac{26,44 \text{ kg} \quad | \quad 0,65 \text{ ctvs. USD}}{70 \text{ kg}} = 0,25 \text{ ctvs. USD}$$

Aditivo Impermeabilizante y Plastificante:

$$\frac{86,94 \text{ ml} \quad | \quad 4,35 \text{ USD}}{3785,41 \text{ ml}} = 0,10 \text{ ctvs. USD}$$

Canastillas metálicas:

$$\frac{4473,72 \text{ cm}^2 \quad | \quad 5,30 \text{ USD}}{9000 \text{ cm}^2} = 2,63 \text{ USD}$$

Cuadro 37: Costo Total de los materiales

ELEMENTO	VALOR (USD)
Arena	0,39
Ripio	0,25
Aditivo	0,10
Canastillas metálicas	2,63
COSTO TOTAL	3,37

Elaborado por: Andrea Maldonado V.

b) Determinación del Costo por Banca

Volumen de la Banca: [(Lado mayor x Lado mayor) + (Lado mayor x lado menor x 4)] x Altura

Volumen de la Banca: 60.928 cm³

Volumen promedio del cilindro con 20 pilas: 5.674,51 cm³

Volumen total de 6 cilindros con 20 pilas: 34.047,04 cm³

$$\text{Costo unitario} = \frac{3,37 \text{ USD}}{34.047,04 \text{ cm}^3} = 0,00009910 \text{ USD/ cm}^3$$

$$\text{Costo de una banca} = 0,00009910 \text{ USD/cm}^3 \times 60.928 \text{ cm}^3 = 6,04 \text{ USD}$$

El costo de una banca aproximadamente es de 6,04 USD, sin considerar el costo de mano de obra.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. Los componentes metálicos de las pilas como el cadmio, manganeso, plomo, cromo, litio, níquel y zinc pueden ser lixiviados por la acción ejercida por el agua y los rayos solares, sobresaliendo en mayor cantidad el níquel y el zinc, en tanto que, en el caso del mercurio la lixiviación es mínima.
2. El tratamiento de estabilización y solidificación de pilas, propuesto en esta investigación, es eficaz ya que los lixiviados de las tres probetas presentaron un 100% de reducción para el litio, níquel, cadmio, plomo. El manganeso presentó una reducción del 97 % en los lixiviados de los cilindros que contienen 15 y 20 pilas y un 96% en el cilindro que contiene 8 pilas. Con respecto al zinc existe una reducción del 99% en los lixiviados de las tres probetas, demostrando una vez más la efectividad de este tratamiento.
3. La estabilización y solidificación de 8, 15 y 20 pilas reduce significativamente los Índices de Contaminación Ambiental (ICA) del Ni, Cd, Pb, Cr de 35,37%, 26%, 17,40% y 9,33% a 0% en los cuatro casos. El Índice del Zn también disminuye de 40,15% a 3,2% en el encapsulamiento de 8 y 20 pilas, mientras que en el de 15 pilas el Índice disminuye de 40,15% a 5%. En el caso del mercurio no se evidencia una reducción del ICA debido a que su lixiviación es nula. Demostrando de esta manera que el tratamiento propuesto conlleva a mejorar la calidad de vida de los seres humanos en la parte concerniente a la prevención de la salud y del ambiente.
4. Los cilindros de hormigón que contienen pilas presentan menor resistencia a la compresión que los cilindros compuestos únicamente con hormigón, debido a que las pilas constituyen cuerpos extraños que ocupan espacio en su interior,

provocando que la cantidad de hormigón disminuya, lo que da como consecuencia una disminución también en su resistencia.

5. Las probetas que contienen 20 pilas presentan una adecuada resistencia promedio de 230 kg/cm^2 , se puede considerar que para esta resistencia dentro del cálculo estructural, 1 m^3 de hormigón podría contener hasta 3.525 pilas.
6. Las probetas que contienen 8 pilas presentan mayor resistencia promedio que las probetas que contienen 15 y 20 pilas, en este caso la mezcla de hormigón contendría aproximadamente 1.444 pilas en 1 m^3 , en cuyo caso la resistencia promedio sería de 320 kg/cm^2 .
7. El mortero de hormigón con 20 pilas, podría ser utilizado en estructuras como bancas, bordillos o cualquier otra aplicación que no tenga que ver con la fabricación de muros, columnas, cerramientos, es decir con la construcción de viviendas.
8. Se puede elaborar una banca con el mortero de hormigón diseñado, que encapsule y solidifique aproximadamente a 255 pilas, la misma que de acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio, se espera presente una resistencia promedio igual o mayor a 210 kg/cm^2 , resistencia aceptada dentro de los parámetros previstos para las obras civiles y es adecuada para los usos sugeridos en esta investigación.
9. La estabilización y solidificación pueden ser utilizadas como una alternativa eficaz y económica para la disposición adecuada de pilas no recargables.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Conforme a los resultados positivos obtenidos en la presente investigación, es posible aplicar la técnica propuesta para el tratamiento de las pilas desechables, a

fin de prevenir y mitigar los efectos nocivos de los componentes tóxicos de las pilas sobre el ambiente y la salud de los seres humanos.

2. Las pilas deberían ser recolectadas en colectores especiales que presenten las características descritas en el literal a), de la sección 3.9.1 de esta investigación. (Ver ANEXO, fotografías 45, 46 y 47).
3. De aplicarse la técnica sugerida en esta investigación, sería importante realizar estudios sobre el comportamiento del concreto con las pilas en función del tiempo.
4. Para lograr mejores resultados y mayor beneficio de la técnica propuesta para el tratamiento de las pilas de desecho, es importante contar con la participación de la ciudadanía, en especial con la colaboración de los estudiantes de los establecimientos educativos de nuestra ciudad, iniciando campañas informativas sobre la peligrosidad que tienen las pilas sobre el ambiente y la salud de los seres vivos, cuando éstas son depositadas como desecho en forma inadecuada.
5. Con el fin de preservar el ambiente por la alteración que las pilas presentan cuando éstas se transforman en desechos, sería importante, que la Dirección Metropolitana de Medio Ambiente de Quito, al no existir una normativa, emita una Ordenanza sobre la recolección, reciclaje o disposición final de las pilas domésticas.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFÍA

- La Grega, M., Buckingham, P. & Evans, J., 1996. “*Gestión de Residuos Tóxicos: Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos*”. v., 2. Mc. Graw- Hill. Madrid.
- Coral, K., 2004-2005. “*Manual de Ingeniería Ambiental Aguas, Suelos, RTP*”. Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Internacional “SEK”. Quito.
- Glyn, J., Gary, W., 1999. “*Ingeniería Ambiental*”. Segunda Edición. Prentice Hall. México D. F.
- Sánchez de Guzmán, D., 1993. “*Tecnología del Concreto y del Mortero*”. Segunda Edición. Bhandar Editores. Bogota.
- Oviedo, J., 2000. “*Inertización y Posibles Usos de Cenizas producidas por el Incinerador de Compañía Occidental*”. Tesis de Grado inédita. Universidad Internacional SEK. Quito.
- Argentina, Ministerio De Ambiente. “*Ley 24051 de Residuos Peligrosos*”. Decreto Reglamentario 831/93. ANEXO VI.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. & Vigil, S., 1994. “*Gestión Integral de Residuos Sólidos*”. Mc Graw-Hill. Madrid.
- Chamorro, G., 2003. “*Análisis del sistema de manejo de residuos destinados a incineración, tratamiento y disposición final de las cenizas generadas en el incinerador de la compañía Repsol-YPF*”. Tesis de Grado inédita. Universidad Internacional SEK. Quito.
- R. Quilla, 2003. “*Programa de Recolección de Pilas Usadas*”. Municipio de Cuenca. ETAPA.

- Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Dirección Metropolitana de Medio Ambiente, 2005. ***“Plan de Gestión Integral de residuos sólidos urbanos en el Distrito Metropolitano de Quito”***.
- www.asimilec.ec. ***“Características de las Pilas”***. Asociación Multisectorial de Empresas Españolas de Electrónica y Comunicaciones.
- www.ehso.com/cssepa/TCLP.htm. ***“The EPA TCLP: Toxicity Characteristic Leaching Procedure and Characteristic Wastes (D-codes)”***. Environmental Health & Safety Online.
- www.lenntech.com/español/tabla-periodica. ***“Características de Metales y sus Efectos sobre la Salud y el Ambiente”***. Lenntech.
- www.revistabit.cl/body_articulo.asp?ID. ***“Hormigones Impermeables”***. De La Peña B.
- www.epa.gov/superfund/sites. ***“Office of Solid Waste”***. U.S.A Environmental Protection Agency (EPA).
- www.medioambiente.gov.ar. ***“¿Qué hacer con las pilas y baterías?”***. Argentina, Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Sustentable.
- www.mma.es/secciones/calidad_contaminacion/residuos/planificacion_residuosdorpnr_anexo8.pdf. ***“Plan Nacional Integrado de Residuos-Actualización del Programa Nacional de Pilas y Baterías Usadas”*** España, Ministerio de Medio Ambiente.
- www.catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/leia/ortiz_m_jr/capitulo4.pdf. ***“Estabilización y Solidificación de residuos peligrosos”***. Catarina.

- www.greenfacts.org/es/glosario/mno/metilmercurio.htm. “**Mercurio**” Facts on Health and Environment, Greenfactas.
- Dirección Metropolitana de Medio Ambiente. 2008. “**Normas Técnicas para la aplicación Ordenanza Metropolitana N° 213**”. Codificación del Título V “De la Prevención y control del Medio Ambiente”. Libro Segundo del Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito. Resolución N° 002.
- ASTM C-31: “**Método Estándar para elaborar y curar muestras de concreto en el Campo**”.
- ASTM C-192: “**Método Estándar para elaborar y curar muestras de concreto en el laboratorio**”.
- ACI 211: “**Práctica Estándar para Seleccionar Proporciones para una Mezcla de Concreto Normal y Pesada**”.
- ASTM C-39: “**Método Estándar para determinar la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto**”.