

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**GESTIÓN DE LOS DESECHOS SÓLIDOS EXISTENTES EN LA EPN  
(BODEGA DE SAN BARTOLO)**

**TRATAMIENTO DE ENCAPSULAMIENTO DE LOS RESIDUOS  
TÓXICOS EXISTENTES EN LA BODEGA.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**MARÍA FERNANDA ARICO ALDEÁN**

**DIRECTOR: ING. CARLOS GUSTAVO ARELLANO CAICEDO, PhD.**

**DMQ, febrero 2022**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, MARÍA FERNANDA ARICO ALDEÁN declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

MARÍA FERNANDA ARICO ALDEÁN

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por MARÍA FERNANDA ARICO ALDEÁN, bajo mi supervisión.

---

ING. CARLOS ARELLANO, PhD.

DIRECTOR

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

---

NOMBRE\_REVISOR1  
REVISOR1 DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR

---

NOMBRE\_REVISOR2  
REVISOR2 DEL TRABAJO DE  
INTEGRACIÓN CURRICULAR



## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

MARÍA FERNANDA ARICO ALDEÁN

ING. CARLOS GUSTAVO ARELLANO CAICEDO, PhD.

## **DEDICATORIA**

A mis padres Wladimir y Maury, por su apoyo y amor incondicional.

A mi familia, quienes han sido apoyo fundamental para culminar este proyecto.

A Anita, Javier, Cris, Yenny, José, Maya, Merci y Renato.

## **AGRADECIMIENTO**

A mi amada familia por ser un gran ejemplo de superación y humildad.

A la EPN y a sus docentes por permitirme convertir en una profesional. En especial al Ing. Carlos Arellano tutor de titulación que ha hecho todo lo posible para que este proyecto salga adelante. Y a mí tutora de carrera Ing. María Belén Aldás por su interés en el aprendizaje y bienestar de los estudiantes.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	VI
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT .....	IX
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1. 1 Objetivo General .....	2
1. 2 Objetivo Específicos .....	2
1. 3 Alcance .....	2
1. 4 Marco Teórico .....	3
Desechos sólidos tóxicos y peligrosos.....	3
Residuos Eléctricos y Electrónicos .....	3
Tratamiento y Disposición Final.....	8
Normativa Existente en el país .....	11
<b>2 METODOLOGÍA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Elaboración de inventario .....	18
2.2 Caracterización de los desechos .....	19
Monitores CRT .....	19
Asbestos.....	20
2.3 Selección de residuos encapsulables .....	21
2.4 Elaboración de menús de encapsulamiento .....	21
2.5 Estimación del encapsulamiento .....	21
<b>3 Resultados, Conclusiones y Recomendaciones .....</b>	<b>22</b>
3.1 Inventario de los desechos peligrosos .....	22
3.2 Caracterización de los desechos .....	23
Tubos de rayos catódicos CRT.....	24
Asbesto .....	25
3.3 Selección de residuos encapsulables .....	28
3.4 Menús de Encapsulamiento .....	29
3.5 Estimación del encapsulamiento .....	31
3.6 Conclusiones.....	33

3.7 Recomendaciones.....	34
<b>4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>35</b>



## RESUMEN

La Bodega de San Bartolo (BSB) de la EPN ha albergado por más de 20 años una gran cantidad de objetos (mobiliario, máquinas, aparatos eléctricos y electrónicos) dentro de los cuales se encuentran elementos contaminantes tales como metales pesados, catalogados como desechos sólidos peligrosos y/o especiales. Estos desechos pueden afectar a la salud y al medio ambiente sino no se les brinda el tratamiento y disposición final adecuada. Por esta razón, el objetivo principal de este proyecto fue encontrar la mejor dosificación para el encapsulamiento de desechos tóxicos existentes en la BSB de la EPN, de manera deductiva según la información recopilada.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que el encapsulamiento es una de las técnicas que podrían aplicarse para el confinamiento de elementos contaminantes, puesto que logra minimizar niveles de toxicidad y movilidad por debajo de los límites establecidos.

A manera de recomendación se considera que la EPN podría hacer uso de este informe, para contemplar el tratamiento por encapsulamiento de sus residuos peligrosos, con el fin de intentar disminuir su peligrosidad y afectación al medio ambiente y salud.

**PALABRAS CLAVE:** desechos sólidos peligrosos, metales pesados, encapsulamiento, tratamiento

## **ABSTRACT**

For more than 20 years, the EPN's San Bartolo Warehouse (SBW) has housed a large number of objects (furniture, machinery, electrical and electronic equipment) which contain polluting elements such as heavy metals, classified as solid waste. dangerous and/or special. These wastes can affect the environment and health if they are not given adequate treatment and final disposal. For this reason, the main objective of this project was to find the best dosage for the encapsulation of existing toxic waste in the SBW of the EPN, deductively according to the information collected.

According to the obtained results, it can be concluded that encapsulation is one of the techniques that could be applied for the confinement of polluting elements, since it manages to minimize levels of toxicity and mobility below the established limits.

As a recommendation, it is considered that the EPN could make use of this report, to contemplate this type of treatment in its hazardous waste, in order to reduce the generation of dangerous waste that might affect the environment and human health

**KEYWORDS:** solid waste, heavy metals, encapsulation, treatment

# 1 INTRODUCCIÓN

La generación de residuos en gran volumen es la consecuencia de cualquier proceso productivo y de servicio que sostiene la demanda de las crecientes sociedades. Los nuevos productos cada vez acortan su ciclo de vida, se vuelven obsoletos y se tornan más complejos [1], [2]. La tasa de producción global de residuos per cápita es actualmente de 0,74 kg/hab-día, la cual se estima que aumente en un 70% para el año 2050, generando un volumen de 3 400 millones de toneladas de desechos anuales. La creciente producción de residuos sumado a un mal manejo de estos, se pronostica que causará efectos dramáticos para el medio ambiente y la salud [3]

Los residuos considerados como riesgosos y peligrosos para el ambiente y la salud son generados principalmente por los sectores manufacturero, agroindustrial, de servicios hospitalarios y doméstico [4]. Adicionalmente, la gestión de residuos peligrosos es potencialmente generadora de impactos ambientales negativos en cada una de sus etapas, desde su producción hasta su disposición final [2].

Las Instituciones de Educación Superior tienen, usualmente, un alto riesgo de emisión de contaminantes debido al manejo de residuos peligrosos durante sus actividades de enseñanza e investigación, los cuales pueden ser de carácter infeccioso, reactivo, corrosivo, inflamable, o radiactivo [4]. La Escuela Politécnica Nacional dispone de bodegas donde destina sus residuos peligrosos producto de las diferentes actividades que realiza. Entre estas bodegas se encuentra la bodega de San Bartolo (BSB) que contiene una gran variedad de objetos y desechos sólidos y líquidos que no han sido gestionados apropiadamente y que han permanecido almacenados por más de veinte años. Dentro de los desechos identificados en este estudio se destacan: equipos de oficina (computadoras, impresoras, faxes, escáneres, fotocopiadoras), equipos de laboratorio y mobiliaria.

El presente proyecto propone el tratamiento de los residuos tóxicos y peligrosos encontrados en la BSB, siendo el principal objetivo encontrar la mejor dosificación para el encapsulamiento de desechos tóxicos encontrados en la bodega, logrando reducir la movilidad y toxicidad de estos residuos con la disposición final adecuada.

Como resultado se obtuvo que el encapsulamiento es una de las técnicas que podrían aplicarse para el confinamiento de elementos contaminantes, ya que se estimó que puede minimizar los niveles de toxicidad y movilidad por debajo de los límites establecidos.

## **1.1 Objetivo general**

El objetivo del presente trabajo fue encontrar la mejor dosificación para el encapsulamiento de desechos tóxicos existentes en la Bodega de San Bartolo (BSB) perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional.

## **1.2 Objetivos específicos**

Los objetivos específicos del trabajo fueron:

1. Elaboración de un inventario de los desechos tóxicos encontrados en la BSB.
2. Realizar el análisis de caracterización de los desechos destacados.
3. Seleccionar residuos para el encapsulamiento.
4. Elaborar menús de encapsulamiento de los desechos de la BSB.
5. Estimación basada en protocolos existentes.

## **1.3 Alcance**

El presente proyecto abarca los desechos sólidos existentes en la BSB de la EPN donde se almacena mobiliario, máquinas, aparatos eléctricos y electrónicos que se dan de baja. Para la ejecución del proyecto se realizaron las solicitudes correspondientes para el ingreso a las bodegas definidas como 1, 2, y 3; las cuales fueron visitadas 4 veces por semana durante 4 semanas y una vez por semana durante 2 semanas. También se solicitó al área de inventarios de la EPN los listados de baja de los principales equipos de computación y equipos de laboratorio para reconocer algunos residuos y obtener información del tiempo almacenamiento.

Posteriormente, mediante la revisión bibliográfica del contenido de los residuos y sus componentes, para determinar sus características y tratabilidad, se identificó aquellos desechos considerados tóxicos y que puedan ser encapsulados según las técnicas propuestas por medio de revisión bibliográfica.

El resultado final consiste en la estimación de datos de dosificación óptima para el encapsulamiento de desechos tóxicos encontrados en la bodega de la EPN, basados en estudios con protocolos similares a los que podrían ser aplicados para el presente caso.

## **1.4 Marco teórico**

### **Desechos sólidos tóxicos y peligrosos**

Según el Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (2019) los desechos peligrosos son aquellos generados a partir de actividades productivas, de transformación, de servicio o de consumo los cuales se encuentran en estado sólido, líquido y/o pastoso y contienen características reactivas, inflamables, corrosivas, infecciosas y/o tóxicas. Estos desechos presentan un riesgo para el medio ambiente y la salud humana de acuerdo a la normativa aplicable [5]. Adicionalmente, el Acuerdo Ministerial (AM) N°061 define que los desechos o residuos son catalogados como peligrosos si se presentan en los listados nacionales de desechos peligrosos, a menos que no tengan ninguna característica de peligrosidad [6].

### **Residuos Eléctricos y Electrónicos**

Como se mencionó anteriormente, en la BSB existe una gran cantidad de equipo de oficina y de laboratorio, como impresoras, computadoras, muflas, osciloscopios, teléfonos, fax, etc., los cuales se denominan residuos de eléctricos y electrónicos (REE).

Según [7] los REE se pueden clasificar en tres líneas de color diferente. La línea blanca es utilizada para los aparatos electrodomésticos grandes tales como el aire acondicionado, refrigeradoras, etc. En segundo lugar, está la línea de color marrón, que son los aparatos electrónicos de consumo como por ejemplo las radios, equipos de música, televisores, etc. Finalmente, clasificados en la línea gris se encuentran los equipos de informática y de telecomunicaciones en los que se incluyen aparatos periféricos (teclados, ratones, escáneres, impresoras) y las computadoras.

La composición promedio de los REE es del 72% materiales reciclables, 25% componentes recuperables y 3% elementos potencialmente tóxicos [8]. Los componentes de los REE pueden resultar tóxicos tanto para la salud humana como al medio ambiente. La tabla N°1 se basa en el estudio del [9] acerca del "*E-Wasted*" en donde se detallan los compuestos halogenados, metales pesados, sustancias radiactivas y otros que han sido considerados peligrosos y que están presentes en los REE [9].

**Tabla N°1.** Componentes tóxicos presentes en los equipos eléctricos y electrónicos. La tabla detalla las sustancias tóxicas existentes en los REE según la investigación de [9]

<b>Sustancia</b>	<b>Existencia en los desechos electrónicos</b>
<b>Compuestos halogenados:</b>	
TBBA (tetrabromo bisfenol-A) PBB (bifenilos polibromados) PBDE (éteres difenil polibromado)	Retardadores de fuego en plásticos (carcazas de plástico, componentes termo plásticos, cable de aislamiento). El producto más utilizado actualmente es el TBBA para ignífugos en las uniones de cableado impreso y tripas.
Clorofluorocarbonos (CFC)	Unidad de refrigeración, espumas aislantes.
PVC (cloruro de polivinilo)	Aislamiento de cable.
<b>Los metales pesados y otros metales:</b>	
Arsénico	Pequeñas cantidades en forma de arseniuro de galio con diodos emisores de luz.
Bario	Disparadores en CRT.
Berilio	Fuente de alimentación, cajas que contienen rectificadores controlados de silicio y de rayos x lentes.
Cadmio	Pilas recargables de NiCd, capas fluorescentes (pantallas CRT), tintas de impresora y tóneres, fotocopias de máquinas (impresora batería)
Cromo VI	Cintas de datos, discos floppy (disquetes).
Estaño	Placas impresas/soldadura [10].
Litio	Baterías de Li, laptops, lectores de música, cámaras fotográficas y de video
Mercurio	Lámparas fluorescentes que proporcionan la iluminación en los LCD, en algunas pilas alcalinas y los interruptores de mercurio humidificado.
Níquel	Pilas recargables de NiCd, o baterías de NiMH, disparadores electrónicos en CRT, cámaras.
Plomo	Pantallas CRT, baterías, placas de cableado impreso, tubos fluorescentes, lámparas

Selenio	Tambores de foto de antiguas máquinas fotocopadoras (recubrimiento).
Sulfuro de Zinc	Interior de pantallas de CRT, mezclado con metales de tierras raras.
Elementos de tierras raras (Itrio, Europio)	Capa fluorescente en la pantalla de CRT.
<b>Otros:</b>	
Polvo de tóner: estireno, negro de carbón, níquel, selenio, titanio, tungsteno, vanadio, cromo, etc. [11].	Tóner para impresoras láser y copadoras.
<b>Sustancias Radioactivas:</b>	
Americio	Equipo médico, detectores de fuego, elemento sensor activo en los detectores de humo.

Fuente: Modificado de [9]

### **Toxicidad**

De acuerdo a la Guía para la gestión integral de residuos peligrosos, se considera que una sustancia o compuesto es tóxico cuando tiene la capacidad de provocar efectos adversos a un organismo vivo cuando este es expuesto al compuesto. La toxicidad de una sustancia depende de la magnitud, tipos de efectos que produce, de las dosis, de las vías y tiempo de exposición [2].

La toxicidad puede ser aguda o crónica. En el caso de ser aguda, se evalúan los efectos de una exposición a corto plazo, mientras que en la toxicidad crónica se lo hace por un período largo tomando en cuenta el tiempo de vida del individuo [2].

A continuación, se mencionan los efectos de algunos componentes tóxicos presentes en los residuos peligrosos de la BSB según [9].

Plomo:

El plomo puede afectar a varios órganos en los sistemas, nervioso, renal, endócrino, reproductor, cardiovascular, hematológico, auditivo, digestivo, ocular y al tejido óseo [4]. La toxicidad aguda por plomo puede provocar vómitos, diarrea, convulsiones, coma y/o muerte [4]. La exposición excesiva y continua, puede afectar al sistema renal y contribuir al desarrollo de cáncer por su expresión genotóxica (mutaciones, variaciones en la expresión

genética, proliferación de células cancerígenas) [4]. El plomo inorgánico ha sido clasificado por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer como una sustancia probablemente carcinógena para el ser humano en el Grupo 2<sup>a</sup> [12].

Expuesto al medio ambiente, este elemento presenta una gran amenaza al ser bioacumulable en vegetales y organismos acuáticos, provocando interferencia con las funciones de organismos acuáticos como el fitoplancton [13].

Mercurio:

El mercurio es considerado un potencial neurotóxico, afectando el sistema nervioso central y causando inestabilidad psíquica y emocional, temblores, alteraciones cognitivas y del habla, así como también puede llegar a causar daño hepático y renal [9], [14]. Este metal puede evaporarse a 20°C alcanzando velozmente una concentración nociva en el aire, y la exposición aguda mediante inhalación puede causar neumonitis química, bronquitis necrosante, insuficiencia respiratoria y muerte [14].

Por otro lado, la exposición crónica incluye de manera dominante síntomas neurológicos como alteraciones neuropsiquiátricas, neuromusculares y polineuropatías. Puede, asimismo causar daño a la tiroides, al sistema reproductor y al inmunológico [14].

En el medio ambiente, a los animales expuestos al mercurio les causa daño renal, estomacal, intestinal, reproductivos e incluso variaciones genéticas [13]. Es, asimismo, bioacumulable en la cadena trófica [13].

Cadmio:

La exposición aguda al humo del cadmio causa gripe, síntomas de dolor de cabeza, debilidad, fiebre, escalofríos, dolor muscular y sudoración. En exposición crónica puede causar enfermedades terminales como el cáncer de pulmón y daño renal [9]. Afecta también a los órganos diana (riñones, hígado y pulmones) así como causa hepatotoxicidad, nefrotoxicidad, teratogenicidad, neurotoxicidad y anomalías del sistema reproductivo [9].

Según [15] este metal es persistente en el medio ambiente, bioacumulable y se traslada con el viento por grandes distancias alojándose en el suelo y agua. El cadmio en el suelo puede durar hasta 300 años, sólo llegando a transformarse el 10% [15].



Bario:

La Organización Mundial de la Salud cataloga el bario como nocivo y según la Agencia de Protección Ambiental Americana es considerado como peligroso. La inhalación de sus derivados (sulfato de bario/ carbonato de bario) y la solubilización de este en agua, conllevan un mayor riesgo para la salud; si se lo ingiere en grandes cantidades llega a causar parálisis y una posible muerte [16].

Cuando la exposición al bario es a corto plazo, produce hinchazón del cerebro, debilidad muscular, daño en el corazón, en el hígado y en el bazo, y, si la ingesta es prolongada, provoca aumento de la presión arterial y agrandamiento del corazón [9].

Este metal se puede bio-acumular en peces y otros organismos acuáticos [17]. En animales puede aumentar la presión arterial y provocar cambios en el corazón, debido a la ingesta crónica [9].

Cromo:

El cromo trivalente en exceso puede causar erupciones cutáneas, pero el hexavalente es el que se considera más tóxico y de riesgo para la salud humana [18]. Después de ser inhalado, el cromo causa irritación y sangrado en la cavidad nasal y senos paranasales, erupciones en la piel, problemas para respirar, cáncer de pulmón, dolor de estómago, úlceras, debilidad del sistema inmune (leucemia), alteración genética, daño en hígado y riñones, e incluso la muerte [18]. Este metal se bioacumula en la piel, grasa, músculos, y pulmones, y, en mayor cantidad, en el bazo, cabello, uñas, placenta, hígado, y espina dorsal.

Si la cantidad de cromo supera los niveles normales en los que se encuentra en el suelo, los cultivos lo absorben, provocando cáncer al ser ingeridos. Además, si está presente en el agua en conjunto con otros metales, puede ocasionar daños en las agallas de los peces, así como causar a otros animales problemas respiratorios [19].

El cromo se acumula generalmente en la piel, músculos, pulmones y grasa. En el hígado, el bazo, la espina dorsal, cabellos, uñas y placenta es acumulado en mayor cantidad [20].

Níquel:

Este metal puede provocar enfermedades respiratorias, cáncer en la cavidad nasal y en los pulmones, además de rinitis y sinusitis [21]. En exposiciones agudas ocasiona mareos y reacciones alérgicas, en cambio, cuando la exposición es prolongada puede ocasionar

embolia de pulmón, anormalidades de nacimiento, asma, bronquitis, y daños en el corazón [21].

En los animales puede producir varios tipos de cáncer, sin embargo, no hay pruebas de que sea bioacumulable en plantas y animales [20].

Asbesto o amianto:

Los asbestos hacen referencia a los minerales de silicato crisotilo, asbesto actinolita, amosita, asbesto antofilita, crocidolita y asbesto termolita [22]. La exposición a una elevada concentración de asbesto o fibra de asbesto por un tiempo prolongado ocasiona lesiones en el pulmón y en la pleura, produciendo fibrosis pulmonar (asbestosis), cáncer de pulmón, el mesotelioma maligno (pleural o peritoneal) y las placas pleurales [23].

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) menciona en la Reseña Toxicológica del Asbesto (2001) que las partículas con fibra y las fibras de diámetro pequeño pueden perdurar suspendidas en el aire por un tiempo prolongado, para después recorrer largos trayectos por corrientes de agua o viento y finalmente depositarse en lugares remotos. En el suelo no son capaces de moverse y generalmente no se degradan en otros compuestos [24]. Pueden también ser inalterados por un tiempo considerable, sin embargo, en ambientes ácidos el crisotilo (un tipo de asbesto) puede presentar una pequeña pérdida de mineral [24]

## **Tratamiento y Disposición final**

### **Tratamiento**

El tratamiento de desechos o residuos es un proceso de transformación que busca reducir o modificar el contenido de sustancias químicas o biológicas para disminuir su peligrosidad [4]. De esta manera conduciéndose puede llegar a su aprovechamiento, que puede ser el reciclaje, recuperación de sus materiales o energía, reutilización de los mismos, regeneración, entre [4]. Según la guía para gestión integral de residuos peligrosos de [4] los tipos de tratamiento pueden ser:

Tratamientos fisicoquímicos:

Estos tratamientos modifican las propiedades químicas o físicas de un residuo. Los físicos pueden ser filtración, evaporación, separación por gravedad, destilación, etc. y los químicos son neutralización, precipitación, óxido-reducción, descomposición por oxidación, etc. [4].

Estabilización/solidificación:

Esta técnica tiene como objetivo la mejora de las características físicas del residuo para así reducir la transferencia de masa y solubilidad de sus componentes peligrosos [25]. Estos procesos son: el macro encapsulamiento, micro encapsulamiento, absorción, adsorción, intercambio iónico, precipitación y transformaciones químicas [4].

Biológicos:

Este tratamiento tiene el objetivo de descomponer los contaminantes por acción microbiana. Un ejemplo de estas técnicas es el tratamiento en suelos o landfarming y el tratamiento in situ de suelos contaminados o biorremediación, así como el tratamiento por digestión anaerobia (lodos) [4].

Térmicos:

El objetivo del tratamiento térmico es reducir el volumen de los residuos en forma significativa y permitir así la recuperación de energía [4]. Para este fin se usa la temperatura y así poder incrementar la volatilidad, provocar quemado, fusión o descomposición de residuos peligrosos [26]. Igualmente, el residuo obtenido de estos procesos debe ser tratado o dispuesto, con la ventaja de tener menos volumen comparado a la inicial [26].

#### *Estabilización/solidificación*

Se denotan varios términos para las tecnologías de aislamiento en los tratamientos de residuos peligrosos, las cuales se distinguen por la forma o por el método de actuar en el tratamiento de los elementos tóxicos [27]. Estas se describen a continuación:

Estabilización o inertización (inactivación): Esta es una técnica en la que se incluye la solidificación, ex situ o in situ, y que disminuye el riesgo que tiene el elemento contaminante del residuo, minimizando así su movilidad, toxicidad y solubilidad, donde resultan parcial o totalmente aislados los residuos peligrosos por la presencia de modificadores o soportes aglomerantes [27].

Solidificación: Proceso que se puede realizar ex situ o in situ, que incluye una estabilización con anticipación o en conjunto, donde se mezclan materiales con los residuos peligrosos, dando como resultado un sólido monolítico con elevada resistencia y poca permeabilidad [4].

Fijación Química: En este proceso los contaminantes se transforman a compuestos no tóxicos, mediante una reacción química entre el residuo contaminante y el aditivo [27]. La solidificación transforma la naturaleza física del contaminante por medio del uso de aditivos, para obtener un sólido monolítico de alta integridad estructural, lo cual no necesariamente implica una interacción química entre residuos y reactivos solidificantes [28]. Es decir, el encapsulamiento es un tratamiento que atrapa físicamente los componentes de los residuos peligrosos en la estructura cristalina de una matriz estructural solidificada de mayor tamaño [29].

Encapsulamiento: Es una técnica de aislamiento llevada a cabo ex situ y se clasifica en: micro encapsulamiento, que encapsula individualmente los elementos tóxicos que están en el residuo, y en macro encapsulamiento, que recubre o contiene con una capa impermeable de micro encapsulados o de una acumulación de residuos [27].

Cuando la encapsulación se realiza en finas partículas de residuo se la denomina microencapsulación, por el contrario, si se la hace en un gran bloque o contenedor de residuos se la llama macro encapsulación. De esta manera se restringe la migración del contaminante disminuyendo la superficie expuesta a lixiviación y/o aislando los residuos dentro de una cápsula impenetrable [28].

Para el encapsulamiento son utilizados polímeros como asfalto, polietileno, urea formaldehído, poliéster y butadieno, también se pueden usar biopolímeros [27]. También se usa la técnica de transformación en vidrio mediante una mezcla y fusión con materiales como la sílice [27].

Una de las tecnologías para llevar a cabo el encapsulamiento es el proceso que usa como aglomerante el cemento Portland. Con este método, los residuos peligrosos quedan contenidos dentro de la estructura cristalina formada por la hidratación del cemento [4]. Este procedimiento se usa para metales pesados como el cobalto y el níquel sustituyen al calcio; el cromo al silicio; el cinc, el plomo y el cadmio precipitan como carbonatos e hidróxidos; el mercurio se encapsula como óxido de mercurio. Se pueden usar los residuos contaminantes como parte de los agregados, dependiendo de sus características [4].

Al finalizar este tipo de tratamiento, se requiere realizar ensayos de evaluación, como ensayos físicos. Los ensayos más importantes según [4] son permeabilidad, compresión, dureza, ciclo frío – calor, ciclo humectado – secado y el test de lixiviación para verificar la inmovilización de los contaminantes [4].

## **Disposición Final**

Según el Código Orgánico del Ambiente la disposición final se limita a aquellos desechos que no se pueden aprovechar, tratar, valorizar o eliminar en condiciones ambiental y tecnológicamente viables [30]. Por lo tanto, el objetivo de la disposición final de los residuos peligrosos es el confinamiento en celdas o rellenos de seguridad bajo condiciones técnicamente controladas para minimizar la liberación de los contaminantes. La disposición final de los desechos especiales se puede llevar a cabo en lugares como rellenos sanitarios, fijándose en su naturaleza fisicoquímica y otros criterios pertinentes [2], [6].

### **Normativa existente en el país**

- Constitución de la República del Ecuador (2008)

En la Constitución de la República se establece en el artículo 14 el derecho de los ecuatorianos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, garantizándolo en el art. 66 numeral 27, donde se declara de interés público la prevención del daño ambiental, la preservación del ambiente y la recuperación de los espacios que han sido degradados. En el art. 15 se señala que el Estado es el responsable de promover el uso de tecnologías limpias y energías alternativas amigables con el ambiente a los sectores público y privado. En el art. 83, numeral 6, se indica que los ecuatorianos tienen el deber de respetar los derechos de la naturaleza [31].

También se establece la obligatoriedad de la normativa de tratamiento de desechos peligrosos.

- Convenio de Basilea. (1992)

Este convenio es un mecanismo de control de los movimientos transfronterizos de desechos peligrosos y su eliminación. Aquí se establece que los países avanzados no deben enviar sus desechos a los que se encuentran en desarrollo, debido a que no cuentan con la economía y tecnología necesaria, en cambio, esto si pueden enviar sus desechos a los países que se encuentran industrializados, esto con un acuerdo previo por las dos partes. Este convenio promueve la reutilización y reciclaje al máximo de los desechos para disminuir su generación.

Este convenio contiene listas necesarias para la identificación y clasificación de los residuos peligrosos (Martínez et al., 2005).

- Código Orgánico del Ambiente (COA) (2017) y Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA) (2019)

El COA tiene como objetivo cumplir lo estipulado en la constitución, donde garantiza el derecho de los ecuatorianos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, protegiendo también los derechos de la naturaleza (*Código Orgánico Del Ambiente, 2017*)

El RCOA establece la normativa necesaria para la aplicabilidad de lo estipulado en el COA.

En el capítulo 1 del COA se menciona el art. 225 las políticas generales obligatorias para la gestión de los residuos y desechos tales como:

1. Priorizar la eliminación o manejo final más cercano a la fuente
  2. El acto responsable del productor
  3. Minimizar el riesgo o daño sanitario o del ambiente
  4. Reforzar y aumentar la conciencia ambiental y el manejo de residuos / desechos en la ciudadanía
  5. Incentivar la valorización de los residuos y desechos para aprovecharlos como beneficio económico, mediante el uso de adecuadas prácticas ambientales y el uso de tecnologías avanzadas para disminuir los impactos sobre el ambiente y la salud.
- NTE INEN 2266 “Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos” (2013)

Esta norma establece que las personas a cargo del almacenamiento y manejo de los desechos peligrosos deben comprobar la identificación y etiquetado de los materiales, envases, transporte, y almacenes donde se encuentran los residuos peligrosos de acuerdo con la normativa vigente. Además, detalla que los residuos peligrosos deben ser guardados con otros materiales con similares características [32].

- Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ) (2019)

En el libro IV.3 del Ambiente, Título I de la prevención y control del Medio Ambiente, se señala, en el capítulo 1, el sistema de gestión de los residuos sólidos estableciendo las normas, principios y procedimientos necesarios. Se tiene como fin el desarrollo y la garantía del sistema integral de gestión de los residuos sólidos, previniendo y evitando los posibles riesgos y peligros que pueden causar su mal manejo, además se orienta a que en la disposición final se pueda aumentar la vida útil de los desechos [33].

Asimismo, este código señala que los residuos peligrosos “comprenden los objetos, elementos o sustancias que se abandonan, botan, desechan, descartan o rechazan y que sean patógenos, tóxicos, venenosos, corto punzantes, explosivos, reactivos, radioactivos o volátiles, corrosivos e inflamables, así como los empaques o envases que los hayan contenido, como también los lodos industriales y volcánicos, cenizas y similares, directamente afectados por estos” [33].

- Ordenanza Metropolitana N°332 “Gestión Integral de los Residuos Sólido del DMQ” (2010)

Esta ordenanza presenta los lineamientos para la regulación del funcionamiento del Sistema de Gestión de Residuos Sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito.

- Acuerdo Ministerial N°026 (2008)

El Acuerdo Ministerial (AM) enseña los procesos para la obtención del registro de generadores de desechos peligrosos, la gestión de desechos peligrosos previo al licenciamiento ambiental, y para el transporte de materiales peligrosos. Contiene también los requisitos para la evaluación de las solicitudes de registro y los criterios para el registro de los generadores de desechos peligrosos [34].

- Acuerdo Ministerial N°061 (2015)

El AM N°061 es la reforma al libro VI del texto unificado de la legislación secundaria. Esta reforma señala los procedimientos y regula las actividades de responsabilidad pública y privada acerca de la calidad ambiental basado en diez principios contenidos en el artículo 2 [6].

La sección II del art. 79 se define a los desechos peligrosos, que se ha mencionado anteriormente en la sección 1.4.1 del presente componente [6].

El art. 80 sección II dispone que los desechos especiales son todos aquellos que no resultan peligrosos por su propia condición, pero pueden afectar directa o indirectamente a la salud humana y al medio ambiente para los cuales se deben hacer planes de recuperación, reutilización y reciclaje, reduciendo así el número de desechos, evitando malos manejos y la sobresaturación de rellenos [6].

Igualmente son desechos especiales todos los que contengan sustancias que no sobrepasen los límites de concentración estipulados en la legislación ambiental y los que

están establecidos en la lista nacional de los desechos especiales. (Acuerdo Ministerial N°061 [6]).

En el art.83 se registran las fases del sistema de gestión de los desechos peligrosos y especiales: “a) Generación; b) Almacenamiento; c) Recolección; d) Transporte; e) Aprovechamiento y/o valorización, y/o tratamiento, incluye el reúso y reciclaje y; f) Disposición final” [6].

#### Prohibiciones

En el art.126 se indican las siguientes prohibiciones del manejo de desechos independientemente de la etapa en que se encuentren; en el caso que se mezclen los desechos con otros componentes o sustancias que no tengan características similares y que pretendan minimizar la concentración del mismo, se debe manejar todo como desecho peligroso, cuando se mezcla un desecho peligroso con uno especial todo se maneja como desecho peligroso y si se mezcla el desecho especial con otro material, se considera la característica de peligrosidad para realizar el adecuado manejo [6].

#### Del almacenamiento

En el art. 92 se determina que no se pueden pasar de los 12 meses establecidos a partir del permiso otorgado para el almacenamiento de los desechos peligrosos y/o especiales, con excepciones justificadas; la Autoridad Ambiental lo extenderá por 6 meses más si es necesario. Si no existiera la infraestructura para la eliminación y disposición final o accesibilidad a estos, la misma Autoridad Ambiental alargará el período de almacenamiento y la Autoridad Ambiental Nacional tomará el control de estos [6].

#### De las instalaciones

En el art.130 se especifica que las instalaciones para la disposición final de los desechos peligrosos y especiales no se pueden colocar en lugares:

- a. Donde haya defectos geológicos, daños por erosiones e impactos por acción volcánica, tampoco se construyen en sitios susceptibles a inundaciones, pantanos o sensibles ambientalmente.
- b. Donde exista urbanización y pueda perjudicar el agua de los exteriores y las subterráneas.
- c. Donde se presenten suelos saturados, solo si es necesario la construcción del plan de eliminación en el establecimiento, asegurando que se cuenta con una adecuada



impermeabilización y garantizando que se encontrará subterráneamente (3 metros por debajo) cumpliendo con las normativas pertinentes para el uso del suelo y solo podrán tener acceso las personas a cargo de la instalación.

- Acuerdo Ministerial (AM) N°142 del MAE (2012)

En el AM N°142 se expide los listados nacionales de sustancias químicas peligrosas, desechos peligrosos y especiales, los cuales se clasifican en 3 anexos. En el anexo A se consideran las sustancias químicas peligrosas y, dentro de estas, se subclasifican en 3 grandes grupos: las prohibidas, de toxicidad aguda y de toxicidad crónica. En el B se tiene en cuenta los desechos peligrosos, clasificados por fuente específica y por fuente no específica, por último, en el anexo C se enlistan los desechos especiales, dentro de los cuales se encuentran los equipos eléctricos y electrónicos en desuso que no han sido desensamblados [35].

- Acuerdo Ministerial N°190 (2013) “Política de post consumo equipos eléctricos en desuso min ambiente”

El presente AM indica los lineamientos para la política post consumo de los equipos eléctricos y electrónicos en desuso (EEED) resaltando el principio de responsabilidad extendida con la participación activa del Estado y la población. Este acuerdo busca prevenir la introducción de EEED que contengan componentes considerados contaminantes orgánicos persistentes en el medio ambiente. Se establece también que se promoverá la importación de EEED hechos con materia prima derivada de procesos de reciclaje [36].

Dentro de este acuerdo se estipula, asimismo, que la disposición final se considere solo en casos donde no exista tecnología para el aprovechamiento y valorización o tratamiento nacional o internacional. Se prohíbe la incineración y la disposición final EED que puedan ser reciclados o tratados incluso fuera del país en condiciones amigables ambientalmente. Se prohíbe la disposición final de componentes de equipos eléctricos y electrónicos en desuso, en el caso de que el país no cuente con la infraestructura autorizada para el efecto [36].

Se debe llevar a cabo el cumplimiento de las obligaciones decretadas en la normativa vigente y sobre todo con la obtención de los permisos ambientales pertinentes para todas las actividades que tengan que ver con la gestión de los EEED [36].

## 2 METODOLOGÍA

Para el presente trabajo se utilizaron los métodos de investigación deductivo y analítico. La aplicación del método deductivo se llevó a cabo mediante la recopilación de información y revisión bibliográfica de los residuos sólidos peligrosos tóxicos, los componentes tóxicos de los REE, los efectos toxicológicos de los metales pesados y asbestos, normativa ambiental en la República del Ecuador, tipos de encapsulamiento y protocolos. Por otro lado, el método analítico fue empleado en la interpretación y en el estudio de las fuentes de información recopiladas para seleccionar la mejor disposición final de los residuos tóxicos. Se realizaron los análisis dependiendo de la cantidad, tipo de residuos, componentes tóxicos y peso con el fin de seleccionar los residuos candidatos a este tipo de tratamiento, y proponer los menús y la estimación de cantidades a ser encapsuladas, señalando un enfoque cuantitativo y cualitativo, para este componente.

### 2.1 Elaboración del inventario de los desechos tóxicos.

El presente proyecto fue ejecutado en las BSB de la EPN, ubicadas en las calles Saraguro y Guamote en el Banco de Alimentos de Quito. En este lugar se almacenan varios objetos como mobiliario (oficina, laboratorio, estudiantil), máquinas, aparatos eléctricos y electrónicos que se dan de baja por su mal estado o desuso.

Una vez aprobadas las solicitudes correspondientes para el ingreso al galpón, se delimitó el proyecto a las 3 primeras bodegas señaladas en la vista satelital de la figura N°1, denominándolas arbitrariamente bodega 1 (B1), bodega 2 (B2) y bodega 3 (B3). Las visitas se realizaron 4 veces por semana durante 4 semanas y una vez por semana durante las 2 últimas semanas, para realizar el inventario del proyecto general, el conteo y la clasificación de los residuos considerados peligrosos.



**Figura N°1.** Bodegas de San Bartolo elegidas para la ejecución del proyecto (derecha).

Las bodegas están enumeradas de izquierda a derecha, ya que no constan con ninguna identificación o etiqueta.

La cuantificación inició en la bodega 3 por su accesibilidad, ocupando las 2 primeras semanas del proyecto. El trabajo en esta bodega se distingue en dos secciones como se puede ver en la figura N°2, una de mobiliario (armarios, bancas, escritorios, etc.) y la otra sección de aparatos eléctricos y electrónicos, en su mayoría impresoras y monitores.



**Figura N°2.** Bodega N°3, se observa las dos secciones, la primera con aparatos eléctricos y electrónicos; y la segunda sección con desechos derivados de mobiliario.

Seguidamente en la bodega 2 (figura N°3) se observaron y contabilizaron en su mayoría aparatos eléctricos y electrónicos (computadoras en la caja, CPUs, monitores y teclados). El conteo de los objetos en esta bodega tuvo una duración de 2 semanas.



**Figura N°3.** Entrada a la bodega N°2 (izquierda), aparatos eléctricos y electrónicos almacenados (derecha).

Finalmente, la bodega N°1 (figura N°4) se caracterizó por tener una gran cantidad de chatarra pesada, pocos REE y mobiliario grande. La contabilización de los objetos en esta

17

bodega se realizó en 2 semanas y fue necesario el uso de montacargas para mover algunos elementos pesados, con el fin de descartar el almacenamiento de residuos peligrosos dentro de las refrigeradoras.



**Figura N°4.** Entrada a la bodega N°1 (izquierda), aparatos eléctricos y electrónicos almacenados (derecha)

Una vez anotados e identificados la mayoría de los objetos existentes en las bodegas, se completó el inventario del primer componente del proyecto general y se pudo manejar ese inventario como el registro de los residuos a pesar de que varios objetos no tenían código, algunos porque estaban deterioradas y otros por ser accesorios o complementos de equipos. En este caso no se pudo comparar con el inventario de la EPN, ya que el inventario solicitado a los encargados de bienes no presentó gran utilidad ya que se encontraba desactualizado y no había sido clasificado por bodega. Mediante registro fotográfico y búsqueda en la web se pudo identificar algunos aparatos, sin embargo, también se incluyó la categoría “residuos sin especificar”.

Con el inventario general listo, se pudo escoger los residuos para el desarrollo del componente, fueron seleccionados los residuos con características de peligrosidad tóxica. Para ellos se tomó en cuenta la cantidad encontrada y la clasificación del AM N°142 donde se enlistan los desechos peligrosos por fuente específica (Anexo B) y no específica (Anexo C). Se realizó posteriormente una tabla con el nombre del residuo, característica CRTIB, código de desecho, bodega en la que se encuentra y la cantidad.

## 2.2 Caracterización de los desechos.

Se determinó el desecho peligroso en mayor cantidad y el peso de este residuo tóxico fue investigado, seguidamente se investigó los porcentajes de las composiciones que caracterizan como tóxico al residuo. Para la clasificación de los residuos peligrosos se consideró el AM 142 Listado nacional de desechos peligrosos. No se pudo determinar la tasa de generación ya que la EPN tiene varias bodegas a parte de la estudiada.

Debido a inconvenientes externos al proyecto, no se pudo recolectar ni analizar a nivel laboratorio ninguna muestra. Para la caracterización de los CRT se realizó una investigación bibliográfica acerca de sus componentes y los porcentajes en peso, la cuantificación se realizó por medio del inventario y mediante la observación se identificó las marcas más frecuentes y el tamaño de las pantallas. Para la caracterización de la lámina de asbesto en la Sorbona, de un pedazo que estaba suelto se calcularon los datos de volumen y densidad; se lo manejó de acuerdo a lo indicado en el AM N°100 para darle una forma de rectángulo (medidas 2 cm x 1,4 cm x 0,7 cm) y poderlo pesar, calcular el volumen y la densidad.

### Monitores CRT:

Los CRT se encuentran en aparatos electrónicos como los monitores de computadora y osciloscopios, son emisores de radiación eléctrica (incluso rayos x) y por esta razón es que son construidos con vidrio y plomo, por protección de la radiación dañina. En las bodegas 3 y 2 se identificó una gran cantidad de estos tubos dentro de los monitores, como se puede observar en la figura N°5.



**Figura N°5.** Monitores de CRT en las bodegas 1 y 2. Se puede observar la gran cantidad que hay de estos monitores.

En el inventario general no se tomó en cuenta marcas, modelo y tamaños, sólo cantidad; sin embargo, se caracterizó un monitor CRT considerado representativo en marca y tamaño por ser más frecuente en el conteo.

### **Asbesto:**

Las fibras de asbesto se encuentran en varios objetos que necesitan o tienen características aislantes o resistentes, actualmente se los encuentra en menor cantidad ya que desde principios de los años 80 el amianto fue prohibido en varios países debido a sus propiedades cancerígenas [37]. En este caso los objetos con posible contenido de asbesto se encontraron en las bodegas 1 y 2, y se los presenta en la figura N°6.



**Figura N°6.** Objetos con fibras encontrados en la bodega 1 y 2. En la bodega 1, láminas aislantes de la Sorbona y el horno mufla. La bodega 2, manta (tela) de calentamiento.

Los materiales con la posibilidad de contener asbesto fueron tratados con cuidado para poder obtener los datos de peso. Para conseguir el peso de las láminas de la sorbona fue necesario aproximarlos mediante una muestra de la lámina y para pesar la manta se retiró el contenido del metal cilíndrico (figura N°6 (B2)); en todo momento se procuró humedecer los materiales para realizar un manejo seguro. Por inconvenientes de accesibilidad no se tomó ni estimó el peso de las planchas de aislamiento del horno mufla.

Para confirmar el contenido de amianto se deben realizar análisis de laboratorio con métodos basados en la microscopía óptica de polarización-dispersión, en donde se observan las morfología y propiedades ópticas de la estructura cristalina; o también si resulta necesario se pueden complementar o alternar con la microscopía electrónica, la difracción de rayos x, etc. [38].

### **2.3 Selección de residuos encapsulables.**

Una vez identificados como residuos tóxicos en el AM N°142 y con la información de las características toxicológicas de los residuos. La selección de los residuos para encapsulamiento se realizó tomando en cuenta la revisión bibliográfica, la cantidad presente en la BSB y los datos obtenidos de su composición.

### **2.4 Elaboración de menús de encapsulamiento de los desechos encontrados en la BSB.**

El encapsulamiento tiene como objetivo atrapar a los residuos peligrosos en una matriz estructural de mayor tamaño [25] por lo cual se consideró realizar esta técnica de tratamiento con los residuos seleccionados para que estos puedan retenerse en el material.

Para la elaboración del menú de encapsulamiento de los CRT se tomó como base los estudios de [39] y [40]. Adecuando algunas consideraciones de los dos estudios se pudo realizar el procedimiento y el menú para el encapsulamiento de los tubos rayos catódicos.

En el estudio de [39] se realiza el encapsulamiento de los residuos del embudo de un CRT en clinker de cemento Portland tipo I. Mientras que en el estudio de [40] se realiza un encapsulamiento con biopolímeros (xantano y goma guar) de triturado de vidrio CRT. El menú de encapsulamiento se realizó principalmente con el procedimiento propuesto por [40] ya que en el estudio se observó mayor resistencia a compresión que el concreto ordinario, se evidenció un encapsulamiento de Pb de mayor resistencia y se tuvieron resultados de TCLP menores al estándar. Las soluciones de biopolímeros fueron del 0,1% por conveniencia y economía [40].

### **2.5 Estimación del encapsulamiento.**

Para la estimación del encapsulamiento de CRT se consideraron los datos de un monitor de 17" por ser el tamaño más observado en las BSB y para el peso del monitor se lo realizó mediante la hoja técnica de un modelo marca LG por ser uno de los destacados. Se aplicaron los porcentajes de los componentes principales para calcular el peso de cada uno y el contenido de plomo.

Finalmente, el producto encapsulado debe cumplir los Límites máximos permisibles para los constituyentes en el extracto PECT que postula La guía de desechos peligrosos para el convenio de Basilea [2].

### 3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Inventario de los desechos tóxicos

Debido a las diferentes actividades, instalaciones y servicios realizados en la EPN y también a la falta de códigos e identificación de residuos se determinó clasificar los desechos peligrosos de acuerdo al Listado N°2 en el Anexo B del AM 142, en donde se encuentran los desechos peligrosos por fuente no específica. En AM 142 los RAEE se encuentran detallados como desechos especiales con código ES-06, sin embargo, este proyecto indica una propuesta de destino final por lo que se toman los detalles del listado N°2. La tabla N°2 contiene la identificación del desecho según el nombre del listado nacional de desechos peligrosos, característica de peligrosidad (en este caso, tóxicos) y el código, también se indica la bodega en la que se encuentran los desechos y la cantidad existente.

**Tabla N°2.** Inventario de desechos peligrosos existentes en la BSB, según el listado N°2 en el anexo B del AM 142.

Identificación del desecho			Ubicación			Total
			Cantidad por Bodega (unidades)			
Nombre del Desecho de acuerdo al listado Nacional de Desechos Peligrosos	CRTIB	Código	1	2	3	
Baterías usadas que contengan Hg, Ni, Cd u otros materiales peligrosos y que exhiban características de peligrosidad.	T	NE-08		17		17
Desechos de amianto/asbesto o materiales contaminados con ellos.	T	NE-13	5	1		6
Partes de equipos eléctricos y electrónicos que contienen montajes	T	NE-46	21	1034	896	1951



eléctricos y electrónicos, componentes o elementos constitutivos como acumuladores y otras baterías, interruptores de mercurio, vidrios de tubos de rayos catódicos.

Cartuchos de impresión de tinta o tóneres usados.	T	NE-54	1	10	85	96*
---	---	-------	---	----	----	-----

\*Esta cantidad fue asumida tomando en cuenta la cantidad de impresoras y fotocopiadoras, ya que no se pudo mover ni sacar los tóneres o las tintas de todas.

### 3.2 Caracterización de los desechos

En la tabla N°3 se encuentran los residuos a los que se asignó mayor importancia, por diferentes razones. Los monitores CRT se consideraron relevantes porque poseen una gran cantidad de materiales peligrosos, también por su peso y tiempo en desuso o mal estado. Otro residuo de importancia fueron los materiales con asbestos, ya que estos pueden esparcirse con facilidad en el aire cuando el material ha sido afectado de alguna forma o se ha deteriorado.

**Tabla N°3.** Componentes y cantidad de los residuos tóxicos seleccionados.

Desecho peligroso	Cantidad (unidades)	Componente tóxico
Tubos de rayos catódico (CRT)	291	Contiene en mayor cantidad plomo y otros elementos como: Be, Na, Mg, Al, K, Ca, Ti, V, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, Tl. (Kim et al., 2005)
Láminas lisas (Sorbona)	4	
Láminas de fibrocemento (horno mufla)	5	Fibras de asbestos.
Tela de asbestos (manto calefactor)	1	

### **Tubos de rayo catódico (CRT):**

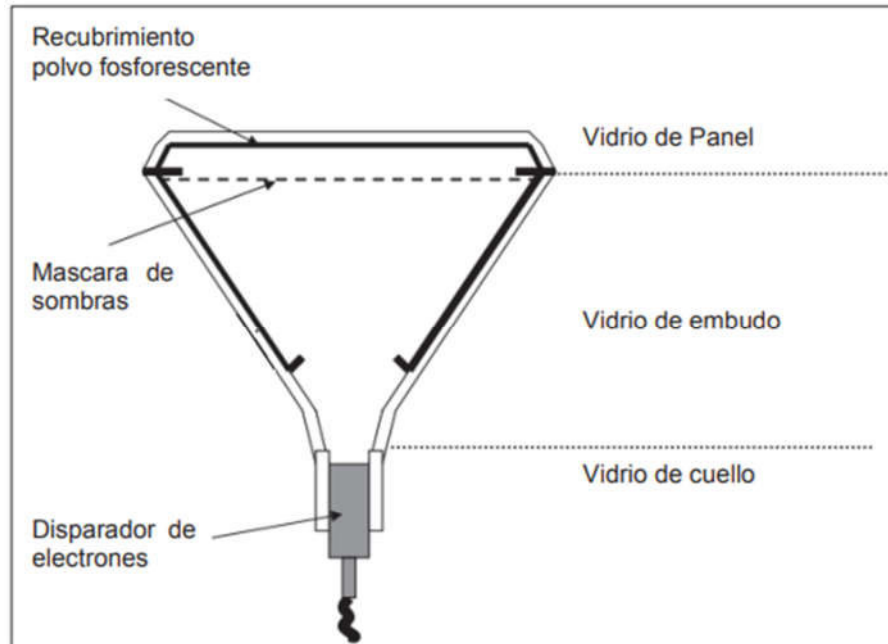
Los CRT se encontraron en mayor cantidad en los monitores de computadora. Siendo estos uno de los residuos elegidos para el desarrollo de este componente. Estos residuos presentan una característica de peligrosidad tipo tóxica ya que contienen varios metales pesados y, particularmente, plomo en gran cantidad. El plomo junto con el vidrio protege a los usuarios de la emisión de radiación eléctrica (inclusive de rayos x). En las bodegas 3 y 2 hay una gran cantidad de estos tubos dentro de los monitores, como se puede observar en la figura N°7 por la gran cantidad de monitores CRT de computadora. La bodega 2 almacena una cantidad de 84 unidades y la bodega 3 de 205 unidades.



**Figura N°7.** Monitores de CRT en las bodegas 2 y 3. Se puede observar la gran cantidad de monitores almacenados.

Estos RAEE han sido generados debido a la modernización, y al amplio manejo de información y organización en las diferentes áreas de la EPN. Se presume que podrían estar almacenados un largo periodo, ya que algunas etiquetas señalaban fechas del 2002. En las bodegas se observaron marcas como LG, Samsung, AOC, COMPAQ y Premio, en tamaños de 14", 15" y 17", siendo mayoría este último.

Por ejemplo, en un monitor de 14" el CRT tiene un peso del 48,23% del total [41]; sin embargo, dependiendo del fabricante, el componente individual, y del modelo el contenido de plomo y la química del vidrio puede variar [40]. En la figura N°8, se enseña que las tres partes principales de los CRT son el vidrio panel, vidrio embudo y vidrio cuello, representando un 65%, 33% y un 2% de su peso respectivamente [42].



**Figura N°6.** Esquema básico con las partes principales que constituyen el CRT Fuente: [43]

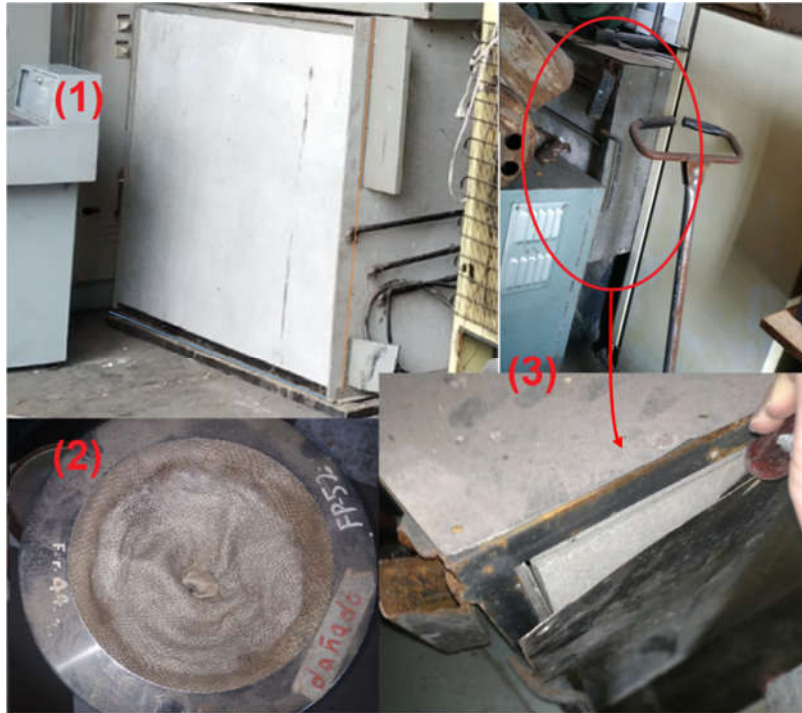
El vidrio de panel puede contener hasta 4% de plomo, el vidrio embudo del 2 al 28% de plomo y al cuello un porcentaje del 25 al 30% [42]. De esta manera un CRT de una pantalla de 17" puede contener hasta 998 g (2,2 lb) de plomo [44], siendo de los monitores más frecuentes en las bodegas, en su mayoría de marcas LG, Samsung y AOC.

Según la caracterización de residuos de vidrio de CRT realizado por [45], el CRT de pantalla de color usualmente tiene como componente en la parte del embudo vidrio de silicato de plomo en una composición del 43 al 53 % en peso de SiO<sub>2</sub>, 21 a 24 % en peso de PbO y 26 a 36 % en peso de otros óxidos. Por otro lado, el panel contiene de 58 a 60 % de vidrio de silicato de bario y estroncio en peso de SiO<sub>2</sub>, del 9 al 10 % en peso de BaO, del 8 al 10 % en peso de SrO y finalmente del 20 al 25 % en peso de otros óxidos [45].

### **Asbesto:**

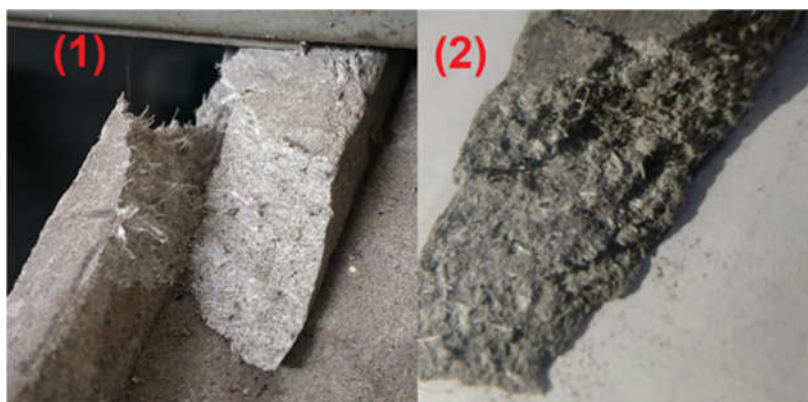
Se cree que se podría tener presencia de materiales asbestiformes en estos 3 residuos diferentes ubicados entre las bodegas 1 y 2. Su particular resistencia al calor, al fuego, a la fricción y a los ácidos, también por su alto punto de fusión, son razones por las que se usaba o incluso se sigue usando el asbesto como un buen aislante (Guerrero, 2019). Como se observa en la figura 6, las BSB presentó presuntamente asbesto en tres presentaciones:

en el divisor de ambiente (lámina) en la sorbona, en manto de calentamiento, y en las muflas como aislante térmico. De estas tres presentaciones se decidió utilizar las láminas presentes en la sorbona debido a que fue el material con mayor peso.

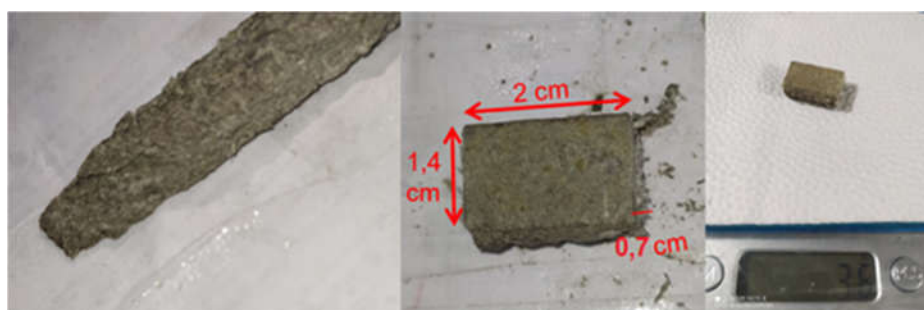


**Figura N°9.** Equipos con posible asbesto encontrados en la bodega de la EPN ubicada en San Bartolo. (1) Sorbona con láminas aislantes, (2) manto de calefacción con aislante térmico; y (3) horno mufla con fibrocemento como aislante térmico.

También se consideró como objeto sospechoso de contener fibras de asbestos a un pedazo roto de la lámina, en el que se observan fibras (figura N°9 (1)). Al ser una posibilidad se lo trató como un objeto con asbesto hasta que se realicen los análisis de información pertinentes. En el AM N°0100, se menciona que se debe humedecer estos objetos para evitar la dispersión de fibras (figura N°9 (2)), por lo que se procedió de esa manera.



**Figura N°10.** Fotografía del pedazo de lámina seca (a) y humedecido por protocolos de seguridad (b)



**Figura N°11.** Muestra para realizar el cálculo de la densidad del material de la bodega.

La caracterización de las láminas de asbesto se realizó mediante una muestra obtenida del pedazo. Como se puede observar en la tabla N°4 las láminas de la sorbona tienen una densidad de  $1836 \text{ kg/m}^3$ , un área total de  $2.88 \text{ m}^2$  y sumando el peso de las dos laminas laterales con la trasera, se obtiene un peso total de  $370.29 \text{ kg}$ .

**Tabla N°4.** Resultados de los cálculos de volumen, densidad y área de las láminas de asbesto de la sorbona.

	<b>Volumen</b>	<b><math>1.96 \text{ cm}^3</math></b>	
<b>Muestra</b>	Peso	3.6 g	
	Densidad	$1.84 \text{ g/cm}^3$	$1836.73 \text{ kg/m}^3$
	Área	$0.9 \text{ m}^2$	
<b>Lámina lateral</b>	Peso	115.71 kg	
	Área	$1.08 \text{ m}^2$	
<b>Lámina trasera</b>	Peso	138.86 kg	

Los productos y materiales que contienen asbesto pueden ser de alta densidad o de baja densidad. Los materiales de alta densidad como la lámina de la Sorbona pueden contener más 1% de fibra de crisotilo la cual puede estar encapsulada o fija en un aglutinante natural o artificial [46].

Al contrario, los materiales de baja densidad como el manto calefactor pueden contener más del 1% de fibra de crisotilo. Estos materiales se pueden pulverizar y dispersar con la simple presión de los dedos [46]. El peso que se obtuvo de la manta fue de 1.3 kg y un volumen aproximado de 6 L, ya que una vez suelto de la estructura metálica se tuvo una forma más bultosa.

La determinación de si el material contiene amianto/asbesto, se lo debe realizar mediante la toma de muestras y análisis, en este componente no se lo realizó.

### **3.3 Selección del residuo encapsulables.**

Los residuos seleccionados para el encapsulamiento fueron los tubos de rayo catódico contenidos en monitores de modelo antiguo, objetos con asbestos como láminas divisoras (Sorbona), mantos calefactores, y aislante de mufla. De estos cuatro residuos, se seleccionaron dos, los tubos de cátodo hueco de monitores y la lámina de asbesto presente en la sorbona. La razón de esta selección se presenta a continuación.

Los CRT fueron seleccionados por su alto contenido de materiales pesados y su abundante presencia en las BSB. Otros procesos como la fundición pueden presentar problemas de contaminación de aire y plomo. También la tasa de eliminación en estas plantas es baja; y lo que respecta a reciclaje de metales es lento, este es lento y no se recicla una cantidad significativa [40]. Por estas razones se propone el encapsulamiento como una opción para su disposición final.

Los asbestos fueron el segundo residuo seleccionado para el proceso de encapsulamiento debido a que en el documento de “Eliminación de enfermedades relacionadas con el amianto” del año 2006, la OMS menciona que los materiales que contengan asbestos deberían ser encapsulados y no se recomienda un segundo uso excepto bajo estrictas condiciones que no perturben el material [47]. Además, según [48] las fibras se pueden dispersar por varios factores como: alteración accidental, envejecimiento de la matriz del aislamiento, vibraciones, vandalismo, fuertes corrientes de aire que se mueven por la superficie (en láminas ondulares para techo) y daños por agua. El propósito de encapsular asbestos es retener las fibras en una matriz de aislamiento evitando que se dispersen por

el aire [48]. Sin embargo, no fue posible realizar el análisis de laboratorio que confirme que es un material con contenido de amianto, por lo que este estudio recomienda el encapsulamiento de estos residuos únicamente en caso de tener asbesto.

### **3.4 Menús de Encapsulamiento**

Los tubos de rayos catódicos de los monitores contienen vidrio y metales pesado, por lo que con el objetivo de brindar una disposición final se presentan los menús de encapsulamiento mediante sistemas de hormigón reticulado con biopolímeros, además de una opción únicamente con el cemento como agente aglomerante.

Procedimiento propuesto para los CRT:

Como primer paso, se debe retirar la carcasa y descargar el voltaje residual en el ánodo del CRT con herramientas aislantes. Seguidamente se debe separar las tres principales partes: panel, embudo y cuello, tomando en cuenta que cada uno tiene diferente porcentaje de contenido de plomo.

Una vez desmantelado y separadas sus partes principales, se lo debe preparar el material para la molienda, enjuagándolo primeramente con agua destilada para posteriormente ser secado al aire libre. El CRT se triturará a un tamaño grueso para pasar por el tamiz N° 100-40; (0,149–0,42 mm) para ser complementario de la cantidad de arena a usar [40]. Posteriormente, el vidrio triturado se debe calentar para eliminar los restos de humedad a  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas [39].

Como siguiente paso se debe realizar las soluciones con los biopolímeros. Para realizar la solución de Goma Xantana (G.X.), se procede a mezclar el polvo de G.X con agua desionizada a una concentración de 0.1%. La solución de Goma Guar (G.G) se debe preparar con el polvo de G.G. y agua desionizada a una concentración del 0.1%.

El agente reticulante es el ácido bórico, preparado en agua desionizada a una concentración de 0.1%. Para preparar la primera solución reticulante de goma guar + ácido bórico se mezcla la solución de G.G. (0,1%) con una solución de ácido bórico al 0,1% en una relación volumétrica de 4:1. La segunda solución reticulante de goma guar + xantana, se realiza mezclando la solución de G.X. (0,1%) con ácido bórico al 0,1% en la misma proporción volumétrica.

Finalmente, para completar el proceso se usa arena industrial y cemento tipo I-II. Para encapsular los residuos de tubos de rayos catódicos con la técnica propuesta por Kim 29

(2009) se realizan las mezclas en los porcentajes que se presentan en la tabla N°5 dependiendo de la resistencia y encapsulamiento de plomo.

**Tabla N°5.** Menú de encapsulación para vidrio de CRT, con diferentes agentes reticulantes.

Menú	N°1	N°2	N°3
	Concreto	GG. y solución bórica 0.1%	G.X. y G.G solución 0.1%
	%	%	%
<b>Agua</b>	11.2	9.34	9.34
<b>Cemento</b>	28.3	28.3	28.3
<b>Arena</b>	51.1	51.1	51.1
<b>CRT</b>	9.42	9.42	9.42
<b>Solución reticulada</b>	-	1.88	1.88
<b>Biopolímero</b>	-	1.93x10 <sup>-5</sup>	1.93x10 <sup>-5</sup>

Modificado de [40]

Una vez obtenido el material encapsulado se debe realizar la prueba de lixiviación “EPA 1311: Toxicity, Characteristic Leaching Procedure” y se comparará la concentración del extracto con los valores de la tabla N°1 “*Límites máximos permisibles en el extracto PECT (Prueba de lixiviación)*” de la Norma Técnica de desechos Peligrosos y Especiales [49]. En este caso el valor señalado para el plomo es de 5.00 mg/L.

En el primer menú expuesto en la tabla N°5 donde solo el cemento actúa como agente aglomerante y sin solución reticulada, se esperarán buenos resultados para la resistencia (alrededor de 28.3/4110 MPa/psi, valores cercanos al concreto ordinario) y en el TCLP (aproximadamente 4.6 mg/L, por debajo del límite máximo permisible). El segundo menú donde se ocupan como agentes aglomerantes el cemento y las soluciones de biopolímeros, junto con la solución reticulada, la mezcla presentará mejor resistencia (alrededor de 34.8/5050 MPa/psi) que el primer menú e inclusive que el concreto ordinario, también se espera un resultado de TCLP con un nivel no detectable. Finalmente, en el tercer menú, los agentes aglomerantes serán el cemento y la solución de los dos biopolímeros (G.X. y G.G.) junto con la solución reticulada, se esperarán resultados de TCLP no detectables y la mayor resistencia que las anteriores mezclas (alrededor de 37.7/5450 MPa/psi). Las tres opciones de encapsulamiento son recomendables para cumplir con los límites



máximos permisibles según las pruebas de TCLP, sin embargo, la naturaleza porosa del concreto no sería factible a lo largo del tiempo. (aumentar la normativa)

### 3.5 Estimación del encapsulamiento.

Los datos considerados fueron de un monitor de 17" con un peso aproximado de 15 kg [50]. Aplicando los porcentajes mencionados en la etapa de la caracterización tenemos primero que el peso del tubo de rayos catódicos es de 7,23 kg, representando un 48,23 % del peso del monitor.

Entonces, se estima una cantidad de 7.23 kg de vidrio de CRT triturado a un tamaño con una granulometría que pasa por el tamiz n.º 100-40 (0,149–0,42 mm). Se aplicarán los tres menús de encapsulamiento para identificar la cantidad de los componentes para el encapsulamiento de un CRT.

En la tabla N°6, se presenta la cantidad de cada componente necesario para encapsular el tubo de rayo catódico de 17" triturado. Se puede observar que las relaciones entre cemento y arena (la cual se complementa con el triturado de CRT) es de 0.47, y las de agua y cemento es de 0,40.

**Tabla N°6.** Peso de los componentes a usar para el encapsulamiento de CRT triturado según el menú N°1.

Menú N°1	Concreto	
	%	kg
<b>Agua</b>	11,2	8,60
<b>Cemento</b>	28,3	21,73
<b>Arena</b>	51,1	39,24
<b>CRT</b>	9,42	7,23

La tabla N°7, presenta la cantidad de cada componente necesario para 7.23 kg de CRT triturado con el menú N°2. Se puede observar que las relaciones entre cemento y arena que es complementada con el triturado de CRT no son modificadas; mientras que el agua y cemento sí presentan un cambio a 0,33.

Es necesario, por lo tanto, tomar en cuenta que las soluciones estén en estado líquido y que se complementarían el agua con la mezcla. A partir de estos datos se calcula que se necesitará alrededor de 0.0148 g de la goma guar para este menú.

**Tabla N°7.** Peso de los componentes a usar para el encapsulamiento de CRT triturado según el menú N°2.

<b>Menú N°2</b>	<b>GG. y solución bórica</b>	
	<b>0.1%</b>	
	%	kg
<b>Agua</b>	9,34	7,17
<b>Cemento</b>	28,3	21,73
<b>Arena</b>	51,1	39,24
<b>CRT</b>	9,42	7,23
<b>Solución reticulada</b>	1,88	1,44
<b>Biopolímero</b>	$1.93 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-5}$

La tabla N°8, presenta la cantidad de cada componente necesario para 7.23 kg de CRT triturado con el menú N°3. Se puede observar que las relaciones entre cemento y arena que es complementada con el triturado de CRT no es modificada en ninguno de los tres menús; mientras que la relación entre agua y cemento son iguales a 0,33 en los menús N°2 y 3. A partir de estos datos se calcula que se necesitará aproximadamente 0.0074 g de la goma guar y 0.0074 g de goma xantana para este menú.

**Tabla N°8.** Peso de los componentes a usar para el encapsulamiento de CRT triturado según el menú N°3.

<b>Menú N°2</b>	<b>G.X. y G.G solución</b>	
	<b>0.1%</b>	
	%	kg
<b>Agua</b>	9,34	7,17
<b>Cemento</b>	28,3	21,73
<b>Arena</b>	51,1	39,24
<b>CRT</b>	9,42	7,23
<b>Solución reticulada</b>	1,88	1,44
<b>Biopolímero</b>	$1.93 \times 10^{-5}$	$1,48 \times 10^{-5}$

Finalmente, el producto encapsulado debe cumplir los límites máximos permisibles para el plomo y con los ensayos de resistencia, donde los valores deben ser similares a los mencionados en el punto anterior. Con los valores de estos dos ensayos, se puede decidir

una disposición para el material encapsulado con opciones a un segundo uso como otro material, en este caso se podría considerar la posibilidad de realizar adoquines debido a los valores de resistencia de que se tienen en los menús.

### **3.6 Conclusiones**

El presente componente del proyecto de integración curricular de gestión de residuos sólidos de la BSB perteneciente la EPN tuvo el objetivo de encontrar la mejor dosificación para el encapsulamiento de desechos tóxicos almacenados.

La cantidad de residuos peligrosos presentes en las tres BSB de la EPN fue muy elevada, siendo la bodega N°2 la que presenta mayor cantidad de RAEE con componentes peligrosos. Según el inventario realizado en base al AMN°142 existen alrededor de 2070 residuos con componentes tóxicos, de los cuales el 14% son monitores con tubos de rayos catódicos con un alto contenido de plomo y con la presencia de otros metales pesados.

La caracterización fue realizada a los residuos considerados de mayor relevancia ya que por un lado los tubos CRT resultaron tener alrededor de 24 diferentes metales sin incluir el plomo, además de tener una concentración diferenciada del metal en sus tres partes principales, embudo, panel y cuello. Por otro lado, se presentaron residuos con posible contenido de asbesto por su aspecto con fibras y características aislantes antes muy aprovechadas. Se consideró este un material de relevancia ya que es una mineral que se ha prohibido en varios países y su manejo debe ser especializado.

Los residuos para el encapsulamiento fueron seleccionados bajo criterios de componentes tóxicos, cantidad, facilidad de dispersión, peso y tiempo en desuso. En esta etapa se descartó el tratamiento de encapsulación para el asbesto ya que no se pudieron realizar los análisis de laboratorio para identificarlo debido a que, desde su prohibición, los asbestos han sido reemplazados por otros materiales fibrosos que no representan una amenaza significativa para el ser humano.

Los menús de encapsulamiento N°2 y N°3 propuestos con biopolímeros para vidrio CRT triturado son una gran opción para realizar esta técnica de tratamiento con intenciones de aprovechar los materiales en un segundo uso bajo la vigilancia adecuada, ya que la movilidad del contaminante se ve limitada por los agentes aglomerantes y reticulantes agregados; para que estas técnicas y materiales rindan y no solo se dirijan al relleno de seguridad con otros residuos peligrosos que se van acumulando. Cabe mencionar que el menú N°1 de concreto a pesar de tener unos resultados aceptables de acuerdo a la

normativa, se debe tomar en cuenta que el concreto tiene características porosas y a nivel campo los resultados podrían variar. Esto se menciona porque al estar los valores estimados tan cercanos a la normativa es mejor llevarlos correctamente etiquetado según la norma y el tratamiento.

El encapsulamiento con biopolímeros como la goma guar y la goma xantana, pueden ser un aporte para controlar la movilidad y estabilidad de los contaminantes en las matrices de encapsulamiento. La estimación basada en los protocolos existentes puede ser muy útil para fijar un escenario y considerar las opciones tratamiento o aprovechamiento.

El encapsulamiento es una de las técnicas que podrían aplicarse para el confinamiento de elementos contaminantes, puesto que logra minimizar niveles de toxicidad y movilidad por debajo de los límites establecidos. La consideración de este método para tratar residuos peligrosos puede ayudar a la EPN a reducir el impacto negativo de este tipo de residuos, contribuyendo a un mejoramiento de la calidad ambiental en la ciudad de Quito.

### **3.7 Recomendaciones**

Como recomendaciones generales en el presente proyecto se puede mencionar encontrar la dosificación adecuada para reutilizar vidrio de CRT en tratamientos de encapsulamiento de residuos radiactivos de baja actividad con fines de protección. De esta manera el vidrio CRT con plomo serviría como blindaje a la radiación.

Asimismo, se recomienda realizar un análisis de factibilidad económica para el encapsulamiento con biopolímeros y agentes reticulantes. Esto con el fin de saber si esta técnica de gestión es la más viable económicamente comparada con otras.

Por otro lado, también se recomienda realizar encapsulamiento de asbestos contenidos en material de alta densidad bajo condiciones estrictas en el caso de que se pretenda dar una segunda vida útil, La razón de esto es por el alto peligro que representa para el ambiente y la salud una posible fuga de este material.

Finalmente, extender la vida útil de los aparatos eléctricos y electrónicos mediante programas de reparación, para ayudar a estudiantes mediante el acceso a tecnología como computadoras, podría ayudar a la universidad a reducir la producción de estos residuos peligrosos. Así se minimizarían los costos de tratamiento y de gestión de este tipo de desechos.

#### 4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. Lozano, “Optimización de la tecnología de inmovilización de residuos peligrosos de acería mediante morteros plásticos y autocompactantes.”, Universidad de Córdoba, 2020.
- [2] J. Martínez, M. Mallo, R. Lucas, J. Álvarez, A. Slavarrey, y P. Gristo, *Guía para la Gestión Integral de Residuos Peligrosos - Fundamentos*. Montevideo, Uruguay: Centro Coordinador del Convenio de Basilea para América Latina y el Caribe, 2005.
- [3] J. Montilla, “Lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos fundamentado en las TIC. Caso de estudio Anapoima, Cundinamarca.”, Universidad El Bosque, Bogotá, 2019.
- [4] E. Moreno, P. Orjuela, y W. Murillo, “Manejo de residuos peligrosos y desarrollo de cultura ambiental en la Universidad Manuela Beltrán”, *Rev. Electrónica en Educ. y Pedagog.*, vol. 2, núm. 3, pp. 93–107, jul. 2018.
- [5] MAE, *Reglamento al Código Orgánico del Ambiente (RCOA)*, núm. 752. Ecuador, 2019, pp. 1–192.
- [6] MAE, *Acuerdo Ministerial N°061. Reforma al libro VI del texto unificado de legislación secundaria*. Ecuador, 2015, pp. 5, 23–36.
- [7] L. Traid, “Gestión de residuos de artefactos eléctricos y electrónicos”, Instituto Tecnológico de Buenos Aires, Buenos Aires, 2014.
- [8] U. Silva, “Guía para Comunicadores y Periodistas: Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE).”, *Plataforma RELAC*. Chile, dic-2019.
- [9] P. Velez, “Contaminantes electrónicos ambientales”, *Sci. Tech.*, vol. 3, núm. 46, pp. 169–174, 2010.
- [10] R. Cayumil y M. Adasme, “Desafíos y estrategias de mejora en el manejo y procesamiento de e-waste”, *RChD creación y pensamiento*, vol. 3, núm. 5, pp. 1–12, 2018.
- [11] F. Rollo y A. Cecchi, “Toner e apparecchiature di fotocopiazione”, *Cristiana Di Stefano*, 16-ago-2008. [En línea]. Disponible en: [http://www.cristianadistefano.it/old\\_forum/indexff67.html?topic=354.0](http://www.cristianadistefano.it/old_forum/indexff67.html?topic=354.0). [Consultado: 10-feb-2022].

- [12] ATSDR, "Plomo - ToxFAQs", *Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. División de Toxicología y Ciencias de la Salud*. ago-2020.
- [13] F. Padilla, "Propuesta de una guía de procedimientos sobre el manejo de desechos eléctricos y electrónicos en el DMQ", *Escuela Politécnica Nacional, Quito*, 2017.
- [14] M. Gaioli, D. Amoedo, y D. González, "Impacto del mercurio sobre la salud humana y el ambiente", *Arch Argent Pediatr*, vol. 110, núm. 3, pp. 259–264, ene. 2012.
- [15] A. Ramírez, "Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos", *An. la Fac. Med.*, vol. 63, núm. 1, pp. 51–64, 2002.
- [16] C. Álvarez, R. Acevedo, y C. Severiche, "Evaluación analítica para la determinación de aluminio, bario y cromo en aguas, por espectroscopia de absorción atómica con llama óxido nitroso-acetileno", *Ingenium*, vol. 7, núm. 8, pp. 19–24, 2013.
- [17] ATSDR, "Reseña Toxicológica del Bario y Compuestos de Bario", *Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU.* Atlanta, ago-2017.
- [18] E. Cuberos, A. I. Rodríguez, y E. Prieto, "Niveles de Cromo y Alteraciones de Salud en una Población Expuesta a las Actividades de Curtiembres en Bogotá, Colombia", *Revi.sta de Salud Pública*, vol. 11, núm. 2, pp. 278–289, 2009.
- [19] D. Jumbo, "Metales pesado en el sedimento Riverinps de cuencas hidrigráficas Impactadas por la minería en la region sierra del sur del Ecuador", *Universidad Nacinal de Loja*, 2009.
- [20] E. Vásquez, "Lixiviación de metales pesados de los sedimentos de la laguna de limoncocha en agua ultrapura para determinar su movilidad con fines de conservación", *Universidad Internacional SEK, Quito*, 2019.
- [21] K. Gonzales, "Toxicology of Nickel", *Rev. Intertox Toxicol. Risco Ambient. e Soc.*, vol. 9, núm. 2, pp. 30–54, jun. 2016.
- [22] M. Pini, S. Scarpellini, R. Rosa, P. Neri, A. F. Gualtieri, y A. M. Ferrari, "Management of Asbestos Containing Materials: A Detailed LCA Comparison of Different Scenarios Comprising First Time Asbestos Characterization Factor Proposal", *Cite This Environ. Sci. Technol*, vol. 55, pp. 12672–12682, 2021.
- [23] G. Luis, C. Hernández, C. Rubio, I. Frías, A. Gutiérrez, y A. Hardisson, "Toxicología

- del asbesto”, *Cuad. Med. Forence*, vol. 57, jul. 2009.
- [24] ASTDR, “ToxFAQs™ - Asbesto (Amianto)”, *Departamento de Salud y ervicios Humanos de los EE.UU.* Atlanta, 2001.
- [25] M. LaGrega, P. Buckingham, y J. Evans, *Gestión de Residuos Tóxicos: Tratamiento, Eliminación y Recuperación de Suelos*, vol. 2. España, 1996.
- [26] J. Miranda, S. Martínez, y J. Hernández, “Análisis del tratamiento actual de las lámparas fluorescentes, nivel de contaminantes y disposición final”, San Salvador, oct. 2015.
- [27] S. Olvera, *UF0289: Operaciones para la gestión de residuos industriales.* . Andalucía, España: IC Editorial, 2016.
- [28] A. Macías, S. Goñi, A. Guerreroy, y E. Fernández, “Inmovilización/solidificación de residuos tóxicos y peligrosos en matrices de cemento Immobilisation/solidification of hazardous toxic waste in cement matrices”, *Mater. construcción*, vol. 49, núm. 254, mar. 1999.
- [29] M. Arciniegas, “ESTABILIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS TÓXICOS MEDIANTE ENCAPSULAMIENTO: Una Alternativa en la gestión de residuos”, Universidad de los Andes, Bogotá, 2003.
- [30] MAE, *Código orgánico del ambiente*. Quito, Ecuador: Registro Oficial N° 983, 2017.
- [31] *Constitución de la República del Ecuador*, núm. 20. 2008, pp. 25–2021.
- [32] INEN 2266, “Transporte, almacenamiento y manejo de materiales peligrosos”, *Servicio Ecuatoriano de Normalización*. Quito, Ecuador, 2013.
- [33] Consejo Metropolitano de Quito, *Código Municipal para el Distrito Metropolitano de Quito* . Quito: Concejo Metropolitano de Quito, 2019.
- [34] Acuerdo Ministerial N°026, “Acuerdo Ministerial N°026”, *MAE*. Quito, Ecuador, 2008.
- [35] “Acuerdo Ministerial N°142”, *MAE*. Quito, Ecuador, 21-dic-2012.
- [36] MAE, *Acuerdo Ministerial N°190. Política de post consumo equipos eléctricos en desuso min ambiente*. Quito-Ecuador: Ministerio del Ambiente, 2013.
- [37] D. Spasiano y F. Pirozzi, “Treatments of asbestos containing wastes”, *J. Environ.*

*Manage.*, vol. 204, pp. 82–91, dic. 2017.

- [38] M. Domínguez, “Cómo determinar si un material sospechoso contiene amianto”, *Identificación de amianto en materiales por el método MTA/PI-010:Situación Actual y Retos*. Navarra, 11-dic-2019.
- [39] N. Lairaksa, A. R. Moon, y N. Makul, “Utilization of cathode ray tube waste: Encapsulation of PbO-containing funnel glass in Portland cement clinker”, *J. Environ. Manage.*, vol. 117, pp. 180–186, 2013.
- [40] D. Kim, M. Quinlan, y T. Fu, “Centro de ciencia | Encapsulación de plomo de residuos peligrosos de vidrio CRT mediante sistemas de hormigón reticulado con biopolímeros. Gestión de residuos, 29(1), 321–328 | 10.1016/j.wasman.2008.01.022”, *Waste Manag.*, vol. 29, pp. 321–328, abr. 2009.
- [41] C. H. Lee y C. S. Hsi, “Recycling of Scrap Cathode Ray Tubes”, *Environ. Sci. Technol.*, vol. 36, núm. 1, pp. 69–75, ene. 2001.
- [42] I. C. Nnorom, O. Osibanjo, y M. O. C. Ogwuegbu, “Global disposal strategies for waste cathode ray tubes”, *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 55, núm. 3, pp. 275–290, ene. 2011.
- [43] C. Ron, “Estudio de la recuperación de Europio e Itrio a partir de tubos de rayos catódicos desechados”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2016.
- [44] D. Kim, I. Petrisor, y T. Yen, “Evaluation of Biopolymer-Modified Concrete Systems for Disposal of Cathode Ray Tube Glass”, *J. Air Waste Manage. Assoc.*, vol. 55, núm. 7, jul. 2005.
- [45] F. Méar, P. Yot, M. Cambon, y M. Ribes, “The characterization of waste cathode-ray tube glass”, *Waste Manag.*, vol. 26, núm. 12, pp. 1468–1476, ene. 2006.
- [46] W. Guerrero, “Logística inversa: para la identificación, manejo, transporte y disposición final de materiales que contienen asbesto en una empresa industrial”, *Repositorio Documental UMNG*, Bogotá, jun-2019.
- [47] OMS, “Eliminación de enfermedades relacionadas con el amianto”, *World Health Organization*. Geneva, ago-2006.
- [48] E. Lory y M. Hienzsch, “Encapsulation of friable insulation materials containing asbestos.”, California, may 1983.



[49] *Norma técnica de desechos peligrosos y especiales*. Quito-Ecuador, 2017.

[50] LG, "Monitor 17 T710SH FLAT LG", *Globals tecnología informática*. .