

8



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES**

“ACATLAN”

290176
9471062

**“MANEJO Y CONTROL DE LOS
RESIDUOS SÓLIDOS DE LA
CONSTRUCCIÓN”**

BAJO LA OPCIÓN DE TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

LICENCIADO EN INGENIERÍA CIVIL

PRESENTA

JOSÉ JULIO CORTÉZ BALAS

ASESOR: ING. FERNANDO FAVELA LOZOYA

ENERO 2001 9 2001





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Con especial dedicación a mi
Padre, Silvano Cortez Garcia,
que siempre me brindo su
apoyo.

Un agradecimiento eterno a mi
Madre, Ma. Alejandra Salas
Escobar por enseñarme los
primeros pasos.

Con todo mi cariño, a mis
Hermanos, Silvano y Rey David,
por su confianza.

A mis Asesores , Ing. Fernando
Favela e Ing. Jorge Uriarte, por
sus consejos y generosidad.

Y también a todos y cada uno
de mis profesores que me
brindaron sus enseñanzas a lo
largo de mi carrera.

Título de la Tesis: Manejo y control de los residuos sólidos de la construcción.

Objetivo General:

Describir la problemática que genera el manejo de los residuos sólidos de las obras de construcción, así mismo determinar una metodología adecuada para el manejo, control y disposición final de los mismos y las distintas soluciones existentes.

Objetivos específicos:

CAPÍTULO I

Generalidades sobre los residuos sólidos de la construcción

Analizar el problema que ocasiona la generación de los residuos sólidos de la construcción.

CAPÍTULO II

Generación de los residuos sólidos de la construcción

Describir el proceso de generación de los residuos sólidos de la construcción que se lleva a cabo en las obras de construcción localizadas en zonas urbanas y la metodología para estimar la generación.

CAPÍTULO III

Identificación y clasificación de los residuos sólidos de la construcción

Identificar y clasificar a los residuos sólidos de la construcción así mismo describir las principales características de los residuos sólidos como son su composición, su comportamiento, etc.

CAPÍTULO IV

Manejo en fuente y transporte de los residuos sólidos de la construcción

Describir el manejo que se le da a los residuos sólidos desde la fuente de creación, el transporte y el tratamiento que reciben antes y después de ser desechados o reciclados en su caso.

CAPÍTULO V

Impacto ambiental, normatividad y legislación

Proporcionar la información necesaria para evitar que los residuos sólidos no creen una problemática ambiental en su disposición final, así como las medidas correctivas y preventivas que se siguen para este fin, basándose en la legislación respectiva.

CAPÍTULO VI

Alternativas de solución

Proponer alternativas de solución para el manejo adecuado de los residuos sólidos como son el reuso, el reciclamiento, etc.

INDICE

<u>INDICE</u>	<u>3</u>
---------------	----------

<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>6</u>
---------------------	----------

CAPÍTULO I

<u>GENERALIDADES SOBRE LOS RESIDUOS SÓLIDOS</u>	<u>8</u>
---	----------

I.1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA QUE OCASIONA LA GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN	8
---	---

I.2 DATOS GENERALES SOBRE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN	10
---	----

I.3 TERMINOLOGÍA	12
------------------	----

CAPÍTULO II

<u>GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN</u>	<u>16</u>
--	-----------

II.1 FLUJO DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN	16
---	----

II.2 METODOLOGÍA PARA ESTIMAR LA GENERACIÓN DE RESIDUOS	18
---	----

II.3 ESTUDIOS DE CAMPO Y ACOPIO DE INFORMACIÓN	20
--	----

II.4 RESULTADOS	21
-----------------	----

II.5 ANEXOS	24
-------------	----

CAPÍTULO III

<u>IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN</u>	<u>28</u>
--	-----------

III.1 COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN	28
--	----

III.2 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS POR SU PELIGROSIDAD	32
III.2.1 Residuos no peligrosos	32
III.2.2 Residuos peligrosos	33
III.3 CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS POR TIPO DE TRABAJO.	34
III.3.1. Construcción	34
III.3.2. Demolición	34
III.3.3. Remodelaciones, adaptaciones y mantenimiento	34

CAPÍTULO IV

MANEJO EN FUENTE Y TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN

IV.1. EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA FUENTE DE CREACIÓN	35
IV.2 CLASIFICACIÓN TÍPICA DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN LAS OBRAS	38
IV.2.1. Grandes Obras	39
IV.2.2. Pequeñas y medianas constructoras	40
IV.2.3 Demolición y depósitos	41
IV.2.1 PROCESAMIENTO DE CLASIFICACIÓN FUERA DEL SITIO	43
IV.3. TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN	44

CAPÍTULO V

IMPACTO AMBIENTAL, NORMATIVIDAD Y LEGISLACION

V.1 IMPACTO AMBIENTAL	47
V.1.1 Impacto ambiental de los sitios de disposición final de residuos sólidos de la construcción.	50
V.1.2 Evaluación del impacto ambiental	53
V.1.3 Erosión	54
V.2 NORMATIVIDAD Y LEGISLACIÓN	56
V.2.1 Antecedentes Normativos.	57

V.2.1.1 Residuos peligrosos	58
V.2.2 Tendencias	59

CAPÍTULO VI

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN **65**

VI.1 RECICLAJE Y REUSO	65
VI.1.1. Productos Granulares Inertes	70
VI.1.2. Residuos de madera	77
VI.1.3 Residuos metálicos	82
VI.2 DISMINUCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA FUENTE DE PRODUCCIÓN	82
VI.3 DISPOSICIÓN FINAL	83
VI.3.1 Estudio técnico	83
VI.3.2 Estudios geotécnicos para selección de sitios de disposición final.	85
VI.3.2.1 Marco geológico regional	86
VI.3.2.2 Exploración en tobas	86
VI.3.2.2.1 Perforación y muestreo	86
VI.3.2.2.2 Medición de la permeabilidad	87
VI.3.2.3 Exploración en suelos blandos	88
VI.3.2.3.1 Perforación y muestreo	88
VI.3.2.3.2 Medición de la permeabilidad y piezometría	88
VI.3.2.4 Aspectos geotécnicos por desarrollar	89
VI.4 MEDIDAS CORRECTIVAS Y PREVENTIVAS	90
VI.4.1 Control de la estabilidad	91
VI.4.2 Control de la erosión	96

CONCLUSIONES **101**

BIBLIOGRAFÍA **104**

INTRODUCCIÓN

El desarrollo socioeconómico de un país trae consigo la realización de grandes obras de infraestructura, complejos de generación de energía e industriales, desarrollos turísticos, habitacionales y de servicios, explotación de recursos minerales, etc., que nos hacen consumir grandes cantidades de materias primas y, por consiguiente, la disminución de las reservas de recursos naturales. Sin embargo esta demanda de materiales nos lleva a la generación de grandes cantidades de residuos sólidos de la construcción, aunado a la disminución de los recursos naturales; todo esto repercute enormemente en la sociedad y es por eso que las entidades responsables, presionados por ciertos grupos ecologistas y unidos a que la ciudadanía cada vez toma mayor conciencia, lleven a cabo una actualización de la normatividad vigente en materia ambiental.

Estas exigencias actuales nos obligan a buscar alternativas de solución. El reuso y reciclaje presenta grandes atractivos frente a la utilización de materias primas naturales. La gran ventaja es que soluciona a un mismo tiempo la eliminación de unos materiales de deshecho y que, mediante el aprovechamiento de éstos residuos para obtener una nueva materia prima, se reduce la cantidad de recursos naturales primarios a extraer.

También mediante el reciclaje de residuos de la construcción se consigue reducir el espacio destinado a estos en los rellenos sanitarios y en depósitos de residuos sólidos. Es obvio que también se reduce el número de explotaciones mineras necesarias para suministrar la materia prima original, con el consiguiente beneficio en cuanto a impacto medio ambiental y de protección de unos recursos naturales en cierto modo limitados.

Aunque en México existe una gran cantidad de yacimientos útiles para la obtención de materias primas debemos de estar conscientes que no son eternas, por lo tanto,

México debe comenzar a prepararse, tanto cívicamente, como en el ámbito legislativo y tecnológico, para abordar esta tarea.

El presente trabajo tiene como objetivo describir cual es la problemática que ocasiona la generación de residuos sólidos de la construcción y también analizar las diferentes alternativas para solucionar o disminuir su impacto ambiental y esta dividido en 6 capítulos; en el primer capítulo se analiza cuales son las principales causas que originan la generación de residuos de la construcción, también se definen algunas características en general de los mismos; el capítulo II describe una metodología para estimar a los residuos generados por la industria de la construcción; las principales características de los residuos sólidos de la construcción se describen en el tercer capítulo; en el cuarto capítulo se refiere al manejo de los residuos en su fuente de creación y fuera de ella; el impacto ambiental, la normatividad y legislación relacionada con el tema se tratan en el capítulo V y para terminar, en el ultimo capítulo, el VI, se exponen algunas alternativas de solución para el aprovechamiento de los residuos sólidos de la construcción.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES SOBRE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

En los últimos años se ha incrementado en México el aparato industrial y comercial en todos sus giros, lo cual conduce a la creación de nueva infraestructura y renovación de la existente. Sin embargo esta demanda de infraestructura, aunado a la deficiencia en tecnología de construcción y a lo obsoleto del equipo con que cuenta un gran porcentaje de la industria de la construcción, lleva a la generación de grandes cantidades de residuos sólidos de la construcción de todos tipos.

1.1 Análisis de la problemática que ocasiona la generación de los residuos sólidos de la construcción

El incremento de la población en las zonas urbanas nos lleva a la construcción de nueva infraestructura, obras hidráulicas y otras como: viviendas, zonas comerciales, zonas industriales, etc., generando forzosamente residuos sólidos de la construcción; de igual forma la renovación, mantenimiento y mejoramiento de inmuebles, edificios comerciales y otras estructuras, la construcción de nuevas vialidades y a la prohibición de quemar residuos de construcción a pie de obra, lleva a la generación de grandes cantidades de residuos sólidos de la construcción.

La relativa incomprendibilidad de los residuos sólidos de la construcción y el hecho de que prácticamente la única solución viable para una gran parte de ellos es verterlos en un terreno, hacen mayor el problema.

Pero estos no son los únicos problemas que ocasionan la generación de residuos sólidos de la construcción, existen otras dificultades que impiden a los Ingenieros Civiles ocuparse de aspectos como la reducción, el manejo de los residuos sólidos de la construcción y la propia limpieza de las construcciones son variadas, entre otros, los retrasos de pago en las estimaciones, el efecto de la inflación, los ajustes de precios, las restricciones crediticias, el rezago tecnológico que sufre la industria nacional, etc., además de los propios relacionados con la entrega en la calidad y tiempo de las obras; sin embargo, con las exigencias actuales en el equilibrio ecológico é impacto ambiental, sin duda, se atenderán con mayor interés estos aspectos.

Debido al rezago tecnológico y al obsoleto equipo con que se cuenta en la industria nacional de la construcción, el deterioro ambiental se puede considerar mucho más crítico que el que se pudiera presentar en los países desarrollados.

Aunado a esta problemática, se presenta cada vez con mayor frecuencia, el sacrificio de las áreas verdes o espacios libres por la construcción de grandes desarrollos sin contemplar los posibles impactos que se puedan crear, principalmente cuando no se cuenta con un plan director o con un ordenamiento ecológico, que nos limita las posibilidades o lineamientos para un crecimiento sustentable.

Se ha estimado que entre el 6% y el 15 % del total de los desechos sólidos que se disponen en un relleno sanitario municipal es de residuos sólidos de la construcción. Estos llevan en sí varios problemas, entre otros: la gran cantidad de vacíos que generan, ya que son de tamaños irregulares y en ocasiones, fragmentos de losas o trabes completas, al ser depositados a volteo, dejan grandes oquedades debajo de ellas. Su gran volumen, además, genera dificultad en la compactación de los residuos a su lado, ya que los equipos no pueden realizar su labor de manera adecuada.

Aunque la mayoría de los residuos sólidos generados por la industria de la construcción corresponden a los no peligrosos; los denominados peligrosos, constituyen un grave problema para la salud, dado el deterioro que provocan en el ambiente, sin contar hasta el momento con una programa que regule su tratamiento, manejo y disposición final, encontrándolos por diferentes puntos de las ciudades nivelando terrenos desconociendo su impacto y efectos posteriores. Esta situación ha llevado a las autoridades ambientales y a la iniciativa privada a buscar de manera urgente, mecanismos que den una solución segura a esta problemática.

La solución al manejo de los residuos sólidos de la construcción en México, como es sabido mucho esta por hacerse; quitando contadas excepciones, un esquema promedio en el ámbito nacional de la manera como se atiende el problema de los residuos muestra los siguientes indicadores:

- ✓ *Servicios de recolección y transporte con equipos inadecuados e insuficientes.*
- ✓ *Aprovechamiento muy reducido de subproductos, basados, en la mayoría de los casos, en labores de pepena.*
- ✓ *Escasa o nula industrialización y procesamiento de los residuos.*
- ✓ *Disposición final de los residuos, en la mayoría de los casos, en tiraderos a cielo abierto, sin ningún dispositivo para evitar contaminación y riesgos a la salud.*

1.2 Datos generales sobre los residuos sólidos de la construcción

Aunque ambos procesos son básicamente opuestos, los residuos generados en los proyectos de construcción y de demolición son normalmente considerados en forma conjunta. La cantidad y el tipo de materiales de residuos sólidos de la construcción generados no dependen solamente de la actividad realizada. Construir una casa genera un tipo de materiales diferente a lo se genera construyendo un puente o un

camino. Por otra parte, la generación de residuos sólidos de la construcción es afectada por muchos factores, la mayoría de los cuales están más allá del control de los generadores de residuos sólidos de la construcción. Estos factores incluyen:

- ✓ Estación y clima;
- ✓ fuerza de la economía nacional (el crecimiento crea los residuos de la construcción);
- ✓ decisiones sobre reparaciones de la infraestructura municipal (caminos, puentes);
- ✓ desarrollo de los proyectos urbanos de renovación;
- ✓ los desastres naturales, tales como inundaciones, terremotos, incendios forestales y huracanes, tienden a incrementar significativamente esos porcentajes; y
- ✓ por la localización, la población, y el tipo de construcción actual en una comunidad y la antigüedad de una comunidad dada.

La Asociación Mexicana para el Control de los Residuos Peligrosos, A.C. (AMCRESPEC) reporta que en el ámbito nacional la generación de residuos en el país asciende a 83 mil toneladas diarias, tomando en cuenta solamente los montos de construcción registrados en 1994 por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción C.M.I.C. (antes Cámara Nacional de la Industria de la Construcción). La generación anual de residuos de la construcción comparada con el volumen de construcción, estimada de manera simplista, de acuerdo con el Cuadro I.1, asciende a 1 950 000 toneladas, que representan el 6.4 % del total generado y, por lo tanto, tienen ya una participación dentro de la preocupación por dar solución al grave problema de los residuos en el país. En el mismo Cuadro I.1 se hace un comparativo de generación diaria total de residuos sólidos que ocasionan los domicilios particulares y el sector comercial e industrial contra lo que genera la construcción.

Cuadro I.1. Generación anual estimada de residuos de la construcción ¹				
Rubros de construcción	Volumen de construcción		Generación estimada	
	000\$	000m ²	000 ton (°)	
Edificación y construcción industrial y de servicios	28,900,000	14,000	1,150	
Obra pesada e infraestructura	21,100,000		800	
Total	50,000,000		1,950	
Comparativo de generación diaria total de residuos vs. Construcción				
	Domiciliano (°)	Comercial e industrial (°)	Construcción (°)	Total
Generación diaria (ton)	62,000	15,700	5,300	83,000
%	74.8	18.8	6.4	100
⁽¹⁾ Se incluyen solamente los volúmenes reportados por la CMIC; no se considera el material producto de excavaciones y demoliciones ^(°) Valores estimados basados en índices de generación y costos promedio				

Fuente: "La construcción y el manejo de residuos" del Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

1.3 Terminología

Para poder comparar datos sobre la cantidad y la composición de los residuos sólidos de la construcción, es necesario definir con cierto grado de exactitud la terminología. La norma 83-ECOL-1994 aprobada por el Comité Nacional de Normatización define como residuo sólido municipal aquel que proviene de actividades que se desarrollan en casas-habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones,

establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales. En lo que respecta a los residuos de la construcción se reduce a todos aquellos que se generan de las varias actividades de la construcción, como la edificación y demolición de inmuebles, caminos, infraestructura y otras obras, estos residuos de incluyen también los materiales auxiliares que resultan del mantenimiento, renovación y construcción tales como pintura, rechazos y otros. Como estos materiales son reactivos, su disposición final en rellenos sanitarios puede requerir pre-tratamiento o control, dentro del relleno, para manejar los lixiviados y el biogas.

Es necesario, además, definir los siguientes términos:

- ✓ Almacenamiento.- Etapa que se refiere a la acción de retener los desechos sólidos en un recipiente seguro y adecuado en espera de ser recolectados por el servicio de limpia, barrido, recolección y transporte. Dichos desechos son concentrados en vehículos destinados para tal propósito y transportados a estaciones de transferencia, plantas de tratamiento o sitios de disposición final.
- ✓ Despojo.- Es el material natural que es removido del terreno en el sitio de construcción. El despojo consiste de tierra, roca, arena, grava, arcilla y otros materiales no contaminados. Este residuo generalmente es suficientemente limpio para ser rehusado sin tratamiento para el cultivo, para áreas verdes o para material de relleno.
- ✓ Disposición final.- Se considera como el momento en que los desechos sólidos son depositados en un lugar específico y seguro a efecto de concentrarlos o aislarlos para su posterior degradación.
- ✓ Escombro o cascajo.- Se encuentra constituido por materiales tales como concreto, tabique, madera (cimbra), acero, cartón, plásticos, cerámica, vidrio, polvo, etc.

- ✓ Incineración.- Método de tratamiento que consiste en la oxidación de los residuos, vía combustión controlada.
- ✓ Lixiviado.- Líquido proveniente de los residuos, el cual se forma por reacción, arrastre o percolación y que contiene, disueltos o en suspensión, componentes que se encuentran en los mismos residuos.
- ✓ Reciclaje.- Método de tratamiento que consiste en la transformación de los residuos con fines productivos.
- ✓ Recolección.- Acción de transferir los residuos al equipo destinado a conducirlos a las instalaciones de almacenamiento, tratamiento o reuso, o a los sitios para su disposición final.
- ✓ Residuos de Construcción Peligrosos.- Este grupo de residuos consiste de materiales contaminados con elementos químicos orgánicos o inorgánicos peligrosos (pinturas, solventes, fungicidas y otros). También incluye materiales que normalmente se reconocen como altamente contaminados, como por ejemplo los alrededores de un transformador defectuoso o el piso de un taller de galvanoplastia.
- ✓ Residuos de Demolición Inertes o no Peligrosos.- Incluye materiales, hechos por el hombre, que son químicamente inertes tales como: hormigón (sin armadura), ladrillos y mampostería. Los materiales de esta categoría se pueden almacenar sin causar impactos negativos al medio ambiente y sin tener que ser procesados. Estos materiales pueden ser utilizados para reemplazar ciertos materiales de construcción como por ejemplo la grava.
- ✓ Reuso.- Proceso de utilización de los residuos peligrosos que ya han sido tratados y que se aplicarán a un nuevo proceso de transformación o de cualquier otro.

- ✓ Transferencia.- Esta etapa, a su vez, tiene como propósito reducir los grandes recorridos de los vehículos recolectores y con ello los tiempos no productivos. De esta forma, los residuos son transferidos a vehículos de mayor capacidad, que los transporta a las plantas de tratamiento o sitios de disposición final.

- ✓ Tratamiento.- Acción de transformar los residuos, por medio del cual se cambian sus características.

Este material se refiere fundamentalmente a los residuos de construcción y demolición.

CAPÍTULO II

GENERACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN

En general, los volúmenes de los materiales que se generan son difíciles de cuantificar por periodos de tiempo puesto que estos varían de acuerdo al crecimiento de la industria de la construcción, además de que las calidades y cantidades de estos materiales varían de acuerdo al tipo de obra, por ejemplo, no son los mismos residuos sólidos que se generan en la construcción de casas habitación que una planta industrial o un centro comercial. Se tiene estimado que entre el 6 al 10% del peso de los materiales en obra serán residuos de la construcción.

Este capítulo tiene como propósito exponer una metodología aplicada para estimar la generación de residuos de la construcción, sobre todo en zonas urbanas que es donde más se generan. Ejemplificaremos con la Ciudad de México ya que es esta la que más residuos sólidos genera.

II.1 Flujo de los residuos de la construcción

La clasificación por tipo de construcción se realizó de acuerdo a la establecida por la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), apoyada con información de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Distrito Federal (SDU y V-DF), del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), así como de estudios de campo para estimar volúmenes y composición física.

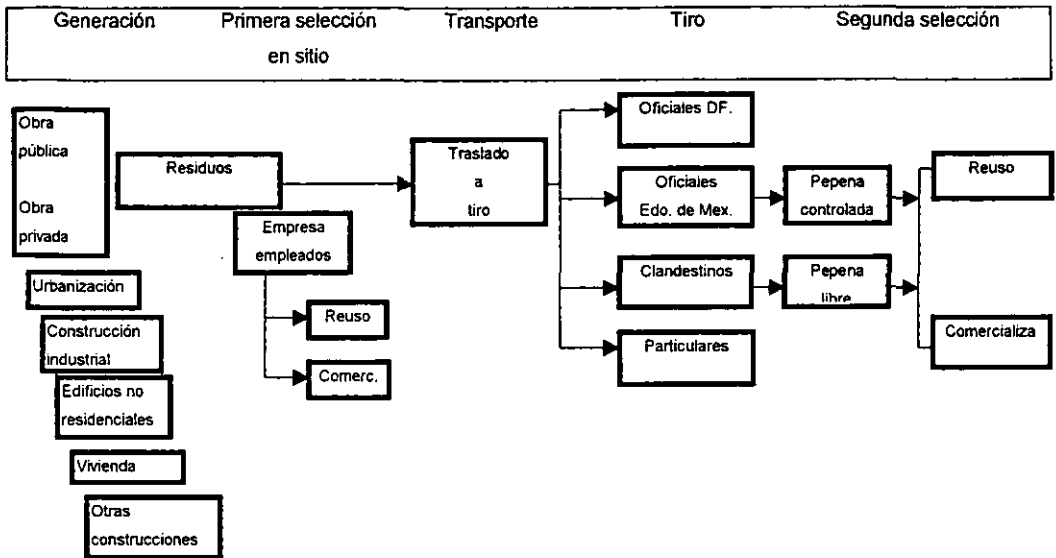
La información en cuanto a volúmenes de obra, inversión pública y privada, número de licencias de construcción; así como costos unitarios de obra, se recabaron para los años comprendidos en el periodo de 1990 - 1995.

El flujo de estos residuos tiene como origen las obras públicas y privadas las cuales se subclasifican en cinco tipos retomados de las definiciones de tipo de obra y servicios de la CMIC: urbanización, construcción industrial, edificios no residenciales, vivienda y otras construcciones.

La primera selección se lleva a cabo en las mismas obras la cual corre a cargo de las empresas constructoras y los empleados, quienes reutilizan los materiales recuperados en sus propias obras o los comercializan. Una vez realizada la primera selección el remanente de los residuos es transportada a los tiros, los cuales pueden ser oficiales del Distrito Federal o del Estado de México, clandestinos y particulares ubicados en ambas entidades.

Generalmente en los tiros oficiales del Estado de México se efectúa una pepena controlada por los líderes y en los tiros clandestinos se efectúa una pepena libre. En ambos casos el material recuperado se comercializa o se reutiliza directamente por los pepenadores. En los tiros oficiales del Distrito Federal no se realiza una segunda selección; sin embargo, estos materiales son utilizados en su mayoría para conformación de caminos. En cuanto a los tiros particulares por lo general los residuos de la construcción se utilizan para rellenar oquedades o barrancas, sin ningún control técnico. Lo anterior se ilustra en el cuadro II.1

Cuadro II.1 Flujo de los residuos de la construcción



Fuente: "La Generación de Residuos de la Construcción en el D.F." del Primer Simposium Internacional : La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

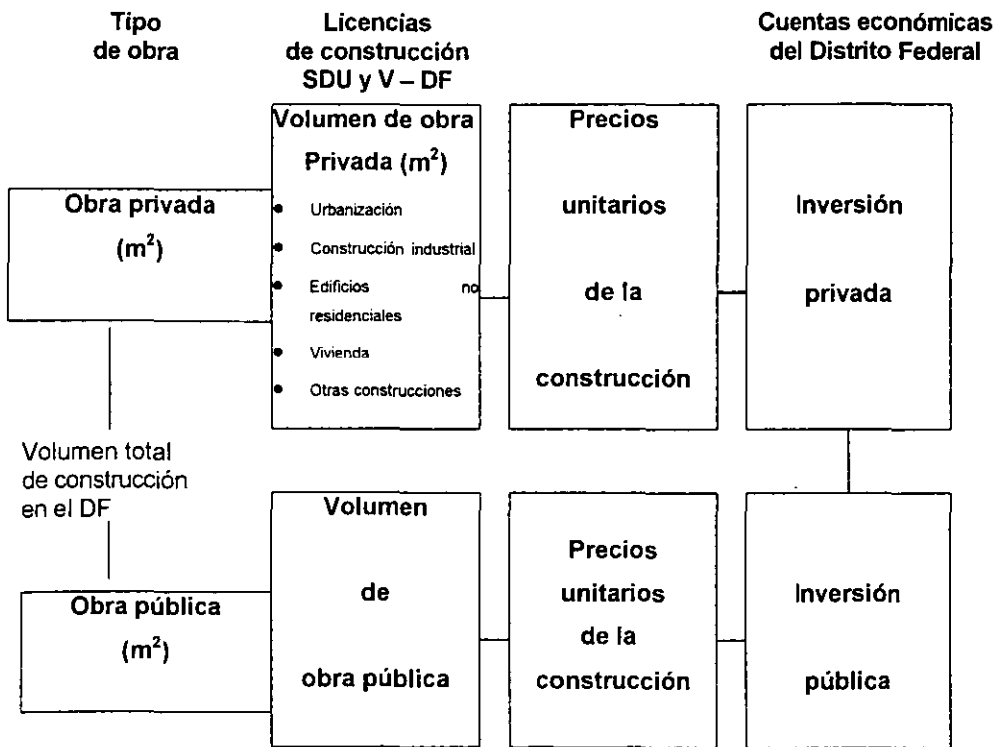
II.2 Metodología para estimar la generación de residuos

Dado que en la actualidad no se cuenta con indicadores de generación de este tipo de residuos, ni normatividad oficial para realizar los estudios de campo correspondientes, se tuvo que definir un esquema metodológico basado en la información disponible en cuanto a volumen de obra privada y precios unitarios de construcción; así como en las Cuentas Económicas del Distrito Federal según se describe en el cuadro II.2.

A partir de la autorización de licencias de construcción anuales, por tipo de obra, se obtuvo el volumen de obra privada en m², que multiplicada por los precios unitarios (promedio ponderado) de la construcción que se reporta en el Manual del Buró de

Investigaciones Mercadológicas S.A. (BIMSA), arroja una cifra equivalente al valor de la inversión privada anual en miles de pesos corrientes para los años comprendidos entre 1990-1995.

Cuadro II.2 Estimación de volumen total de construcción en el DF



Fuente: "La Generación de Residuos de la Construcción en el D.F." del Primer Simposium Internacional : La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

Esta última cifra se resta al valor de la producción bruta de la rama de construcción establecidas en las Cuentas Económicas del D.F., con lo cual se obtuvo la inversión pública anual en miles de pesos.

Este valor dividido entre los precios unitarios de la construcción en obra pública, dio como resultado el volumen de obra pública anual en m^2 , que sumado al volumen de obra privada permitió obtener el volumen total de construcción en m^2 para el D.F.

Con el propósito de obtener una cifra final en toneladas fue necesario convertir los m^2 de construcción a unidades de m^3 , mediante la aplicación de un factor, estimado en 0.85.

En los estudios de campo, se encontró que del volumen de obra en m^3 , aproximadamente el 6.75% se convierten en residuos de la construcción.

Finalmente el volumen en m^3 de estos residuos se transformó a toneladas considerando un peso volumétrico de 1.5 Ton/ m^3 .

II.3 Estudios de campo y acopio de información

Los estudios de campo se efectuaron a partir de una muestra de 116 vehículos transportistas de residuos de la construcción que llegaron al Relleno Sanitario Bordo Poniente durante cuatro días. Estos vehículos se pesaron en la báscula de ingreso al sitio, recabándose la información referente a su procedencia, volumen de carga y tipo de construcción. Cada vehículo fue acompañado a la zona de tiro para determinar la composición física porcentual en volumen, aplicándose los factores correspondientes a los pesos volumétricos de los materiales, cotejando estos resultados con el pesaje en báscula.

Se visitaron los sitios de procedencia de los residuos para obtener información en cuanto a metros cuadrados de construcción, tipo de obra, principales insumos utilizados y

fundamentalmente el volumen de residuos generados en términos de viajes de camiones de volteo que la obra requirió.

En cuanto al acopio de información se recurrió a fuentes directas como la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda, que es la dependencia del Gobierno del Distrito Federal encargada de regular las construcciones en el Distrito Federal, recopilándose información sobre el número de licencias autorizadas por tipo de obra y la superficie de construcción en cada una de ellas, para los años comprendidos en el periodo 1990-1995.

Asimismo, se revisaron las Cuentas Económicas del Distrito Federal editadas por el INEGI para el periodo de estudio. Simultáneamente se consultaron las cifras del manual de costos para constructores del Buró de Investigaciones Mercadológicas S.A.

Cabe señalar, que adicionalmente se obtuvo información a través de diversas fuentes indirectas, para verificar la consistencia de la información en términos de principales obras realizadas en la Ciudad de México, entrevistándose a funcionarios de la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción, entre otras instituciones.

II.4 Resultados

El cuadro II.3 muestra los volúmenes de superficie construida durante los años de estudio registrándose en 1990 una cifra del orden de 15'213,700.9 m² con tendencia ascendente hasta 1994, en donde se registró un volumen construido de 38'525,457 m², presentándose en el año 1995 un descenso en los volúmenes de obra de aproximadamente 40 %, con 22'159,394 m² de superficie construida.

A estos volúmenes se aplicaron los factores de conversión descritos en la Metodología, para obtener finalmente una generación total de residuos provenientes de la industria de la construcción en la Ciudad de México de 1'907,092 toneladas para el Año 1995, equivalente a una generación diaria de 5,225 toneladas.

CUADRO II. 3 GENERACIÓN DE RESIDUOS

CONCEPTO		1990	1991	1992	1993	1994	1995
SUPERFICIE CONSTRUIDA m ²		15'213,700.9	14'096,623.2	15'733,504.2	23'283,658.00	38'525,457.00	22'159,394.00
VOLUMEN ESTIMADO m ³ ^{B/}		12'931,645.76	11'982,129.72	13'373,478.57	19'791,109.00	32'746,638.00	18'835,485.00
GENERACIÓN DE RESIDUOS ESTIMADO m ³ ^{B/}		872,866.08	808,793.75	902,709.80	1'335,900.00	2'210,398.00	1'271,395.00
GENERACIÓN DE RESIDUOS ESTIMADO TON ^{C/}	AÑO	1'309,329	1,213,191	1'354,065	2'003,850	3'315,597	1'907,092
	DÍA	3,587	3,324	3,710	5,490	9,084	5,225

^{B/} Factor de conversión de m² a m³: 0.85

^{B/} Índice de generación 6.75%

^{C/} Factor de conversión de m³ a ton.: 1.5

Fuente: "La Generación de Residuos de la Construcción en el D.F." del Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPEC 1996

De esta cantidad ingresa a los sitios de disposición final que opera la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios del D.F., aproximadamente el 15%.

Por otra parte, en el cuadro II.4 se presenta la composición Física de los materiales que constituyen los residuos de la Industria de la Construcción, que ingresan al Relleno Sanitario Bordo Poniente. Como puede apreciarse, respecto a los porcentajes promedio destacan los materiales de excavación con un 43.16%, el concreto con el 24.38%, así como el block y tabique con un 23.33%, representando en conjunto más del 90%; de la misma manera destaca el hecho de que la madera y la varilla participan con el 1.52% y

0.48% respectivamente para una participación conjunta menor al 2%, lo cual es un reflejo de los altos índices de recuperación de estos últimos materiales.

CUADRO II.4 COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

TIPO DE OBRA	MATERIAL DE EXCAV. %	CONCRETO %	BLOCK TABIQUE %	TABLAROCA YESO %	MADERA %	CERÁMICA %	PLÁSTICO %	PIEDRA %	PAPEL %	VARILLA %	ASFALTO %	LAMINA %	TOTAL %
VÍAS TERRESTRES	64.12	2.94	23.53	2.00	3.53		3.88						100
OBRAS HIDRÁULICAS	52.41	37.93	9.66										100
URBANIZACIÓN	42.75	29.77	14.09	8.12	0.81	1.80	1.10	1.91	0.30	0.02	1.53		100
INSTALACIONES	28.57	40.82	30.61										100
EDIFICACIÓN NO RESIDENCIAL		1.76	70.46	24.30	0.77		1.02		1.02	0.64			100
VIVIENDA	65.94	3.52	2.64		4.22	0.88			1.22	0.38	0.53	0.69	100
ESCOMBRO EN VÍA PÚBLICA	45.23	39.64	7.38		1.53	2.09	0.14	3.02	0.97				100
OTROS	26.28	38.62	28.24		1.33	2.24	0.07		0.42	2.80			100
TOTAL	345.30	195.03	186.61	32.42	12.19	6.61	6.21	4.93	3.93	3.62	2.06	0.69	800
PORCENTAJE PROMEDIO	43.16	24.36	23.33	4.05	1.52	0.85	0.78	0.62	0.49	0.46	0.25	0.09	100

Fuente: "La Generación de Residuos de la Construcción en el D.F." del Primer Simposium Internacional : La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

II.5 ANEXOS

VALOR DE LA PRODUCCIÓN DE LA OBRA PRIVADA (MILES DE PESOS)

CONCEPTO	1990	1991	1992	1993	1994	1995
SUPERFICIE CONSTRUIDA m ²	5,574,819	8,366,735	7,878,326	9,292,752	13,571,893	9,495,054
COSTO \$ POR m ²	880.11	1,233.12	1,311.00	1,482.80	1,520.16	2,154.15
VALOR DE LA PRODUCCIÓN (MILES \$)	4,906,453.90	10,317,188.00	10,328,485.00	13,779,293.00	20,631,449.00	20,453,770.00

CALCULO DGSU, 1995

VALOR DE LA PRODUCCIÓN OBRA PÚBLICA Y PRIVADA (MILES DE PESOS)

DENOMINACIÓN	VALOR DE LA PRODUCCIÓN (MILES \$)					
	1990	1991	1992	1993 *	1994 *	1995 *
CUENTA DE PRODUC. DEL D.F. ^{1/2}	13,983,389	17,877,489	21,347,729	35,977,266.00	61,220,917	49,645,073
OBRA PRIVADA	4,906,453.90 35.1 %	10,317,188.0 57.7 %	10,328,485.0 48.4 %	13,779,293.00 38.3 %	20,631,449.00 33.7 %	20,453,770.00 41.2 %
OBRA PÚBLICA	9,076,935.1 64.9 %	7,560,301 42.3 %	11,019,244.0 51.6 %	22,197,973.00 61.7 %	40,589,468.00 66.3 %	29,191,303.00 58.8 %

^{1/2} FUENTE: CUENTAS ECONÓMICAS DEL DISTRITO FEDERAL

* A TRAVÉS DE LOS PORCENTAJES DEL VALOR TOTAL DE LA PRODUCCIÓN SEGÚN VALOR INSTITUCIONAL, INEGI, SE INFIEREN LOS MONTOS.

**ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE CONSTRUIDA
DE OBRA PÚBLICA
(m²)**

CONCEPTO	90	91	92	93	94	95
VALOR DE LA PRODUCCIÓN (MILES \$)	9,076,935.1	7,560,301.0	11,019,244.0	22,197,973.00	40,589,468.00	29,191,303.00
COSTO POR m ²	941.70	1,319.45	1,402.80	1,586.60	1,626.60	2,305.00
SUPERFICIE CONSTRUIDA m ²	9,638,881.9	5,729,888.2	7,855,178.2	13,990,906.00	24,953,564.00	12,664,340.00

CALCULO DGSU, 1995

**SUPERFICIE TOTAL CONSTRUIDA
OBRA PRIVADA Y PÚBLICA
(m²)**

SECTOR	90	91	92	93	94	95
OBRA PÚBLICA	9,638,881.9	5,729,888.2	7,855,178.2	13,990,906.00	24,953,564.00	12,664,340.00
OBRA PRIVADA	5,574,819.0	8,366,735.0	7,878,326.0	9,292,752.00	13,571,893.00	9,495,054.00
TOTAL D.F	15,213,700.9	14,096,623.2	15,733,504.2	23,283,658.00	38,525,457.00	22,159,394.00

CALCULO DGSU, 1995

GENERACIÓN DE RESIDUOS

CONCRETO		1990	1991	1992	1993	1994	1995
SUPERFICIE CONSTRUIDA m ²		15'213,700.9	14'096,623.2	15'733,504.2	23'283,658.00	38'525,457.00	22'159,394.00
VOLUMEN ESTIMADO m ³ ^{A/}		12'931,645.76	11'982,129.72	13'373,478.57	19'791,109.00	32'746,638.00	18'835,485.00
GENERACIÓN DE RESIDUOS ESTIMADO m ³ ^{B/}		872,886.08	808,793.75	902,709.80	1'335,900.00	2'210,398.00	1'271,395.00
GENERACIÓN DE RESIDUOS ESTIMADO TON ^{C/}	AÑO	1'309,329	1,213,191	1'354,065	2'003,850	3'315,597	1'907,092
	DÍA	3,587	3,324	3,710	5,490	9,084	5,225

^{A/} Factor de conversión de m² a m³: 0.85

^{B/} Índice de generación 6.75%

^{C/} Factor de conversión de m³ a ton.: 1.5

Fuente: "La Generación de Residuos de la Construcción en el D.F." del Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

VOLUMEN DE CONSTRUCCIÓN DE OBRA PRIVADA (m²)

TIPO DE OBRA	1990		1991		1992		1993		1994		1995	
	VOL. m ²	%	VOL. m ²	%	VOL. m ²	%	VOL. m ²	%	VOL. m ²	%	VOL. m ²	%
URBANIZACIÓN	152,480	2.73	161,958	1.94	60,405	0.77	119,202	1.28	298,920	2.20	158,732	1.67
CONSTRUCCIÓN INDUSTRIAL	46,252	0.82	219,911	2.63	73,759	0.94	100,579	1.08	729,303	5.37	248,889	2.62
EDIFICIOS NO RESIDENCIALES	1,227,026	22.02	3,841,255	45.91	2,477,319	31.44	4,124,589	44.39	3,785,724	27.89	3,055,710	32.18
VIVIENDA	2,204,174	39.54	2,807,482	33.55	4,032,346	51.18	3,542,344	38.12	7,521,696	55.42	4,246,731	44.73
OTRAS CONSTRUCCIONES	1,944,887	34.89	1,336,129	15.97	1,234,497	15.67	1,406,038	15.13	1,236,250	9.12	1,784,992	18.80
TOTAL	5,574,819	100	8,366,735	100	7,878,326	100	9,292,752	100	13,571,893	100	9,495,054	100

FUENTE: SECRETARIA DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA

COSTO POR m² DE CONSTRUCCIÓN 1/

TIPO DE OBRA	I.P.1			I.P.2			I.P.3			I.P.4			I.P.5					
	COSTO \$	%	COSTO %	COSTO \$	%	COSTO %	COSTO \$	%	COSTO %	COSTO \$	%	COSTO %	COSTO \$	%	COSTO %	COSTO \$	%	COSTO %
URBANIZACIÓN	403.11	2.73	11.01	559.56	1.94	10.85	662.69	0.77	5.25	766.8	1.28	9.81	631.6	2.20	18.29	1147.60	1.67	18.17
CONSTRUCCIÓN INDUSTRIAL	523.56	0.82	4.29	742.88	2.63	19.54	899.20	0.94	8.45	1012.00	1.08	10.94	1122.00	5.37	60.25	1465	2.62	38.38
EDIFICIOS NO RESIDENCIALES	899.97	22.02	198.17	1281.34	45.91	579.08	1588.7	31.44	499.50	1792.00	44.39	795.47	1933.5	27.89	539.25	2721	32.18	875.62
VIVIENDA	671.86	39.54	265.65	832.80	33.55	312.88	1138.15	51.18	582.50	1278.00	38.12	487.17	1386.00	55.42	768.12	1913	44.73	655.68
OTRAS CONSTRUCCIONES	1149.32	34.69	400.99	1.948	15.97	310.77	1373.76	15.67	215.30	1165.79	15.13	179.41	1,472.04	9.12	134.25	1,943.08	18.80	365.30
COSTO \$ POR m²	880.11			1,233.12			1,311.00			1,482.80			1,520.16			2,154.15		

1/ FUENTE BIMSA MANUAL DE COSTOS PARA CONSTRUCTORES

CAPÍTULO III

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN

La grava, la piedra, la arena, el cemento, la madera, los metales y los plásticos son los materiales que más se utilizan en la construcción de obras civiles. Estos materiales, que tienen una prolongada vida útil, forman la matriz de la infraestructura hecha por el hombre para la vivienda, la producción, el transporte, los servicios y otras actividades básicas para nuestra sociedad.

III.1 Composición y características de los residuos sólidos de la construcción

La composición de los residuos sólidos de la construcción varía ampliamente de lugar a lugar y por estación del año. La composición de esos residuos también es afectada por la economía del país y de la región donde se generan, así como por el número y el tipo de proyectos de construcción. Algunos ejemplos de la composición de los residuos sólidos de la construcción generados en la ciudad de México se presentan en el cuadro II.4. de la pag. 22, que se compara con la Tabla III.1 generada en ciudades de los Estados Unidos. El hormigón o concreto procedente de la demolición de edificios y otras estructuras, y los residuos generados por la construcción o reparación de caminos o vías de circulación, constituyen las mayores porciones de los residuos sólidos de la construcción. Los residuos de madera conforman del 20% al 60% en la tabla III.1 pero por ser un material altamente aprovechable en los EU, pero en México se disminuye su generación hasta casi el 2% del total en el cuadro II.4., y pueden incluir madera impregnada con pinturas o compuestos químicos tales como los

durmientes de vías ferroviarias y otras maderas tratadas a presión, maderas laminadas y otras, así como los residuos de madera sin tratamiento químico. La cantidad de metales, principalmente varilla, que se encuentra en los residuos de construcción y demolición puede variar entre el 4% y el 7% en la tabla III.1 pero igual que la madera su porcentaje se disminuye considerablemente hasta un 0.5% en el cuadro II.4. El papel y otros materiales comprenden el resto de los residuos de construcción y demolición.

TABLA III.1. COMPOSICION DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DE LA CONSTRUCCION (Cd. de los E.U. y Canada)

MATERIAL	CONDADO DE MONROE	SAN ANTONIO	BERKELEY	TORONTO
	NUEVA YORK	TEXAS	CALIFORNIA	CANADÁ
MADERA	16.8	46.8	56.5	34.8
ESCOMBROS, AGREGADOS Y CERÁMICA	83.2	24.1	19.4	40.7
METALES		6.1	3.8	7.6
PAPEL Y DERIVADOS		2.9	5.8	9.1
OTROS		20.1	14.7	7.8
TOTAL	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: "El Manejo de Residuos de Construcción y Demolición" del Primer Simposium Internacional ; La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

La composición de los residuos por el tipo de proyecto también varia el tipo de residuos sólidos de la construcción. Si consideramos la construcción de una cortina para un proyecto hidroeléctrico, es de suponer, por ejemplo, la existencia de una enfermería donde podrían generarse residuos peligrosos en la categoría de biológico-infecciosos. En este mismo tipo de obra, se puede considerar el uso de explosivos y en consecuencia la posible generación de residuos con la característica de explosividad y/o inflamabilidad. En el caso de una planta industrial, el tipo de instalaciones que se contemplen definirá la composición de los residuos sólidos y peligrosos potenciales, como es el caso de instalaciones y equipos eléctricos, en donde pueden generarse

residuos como soldaduras, interruptores averiados, etc., conteniendo metales pesados (mercurio).

Durante y después de un desastre natural la composición de los residuos sólidos de la construcción también varía, por ejemplo, en situación de emergencia como la experimentada en la Ciudad de México a raíz de los sismos de 1985, donde se retiraron de 103 vías, más de 700 mil m³ de escombros equivalentes a 1 millón 500 mil toneladas, los cuales fueron transportados en camiones que realizaron 100 mil 800 viajes. Cabe señalar que los escombros no sólo significaban una obstrucción a la vialidad, sino que representaban un peligro para la salud en la medida en que se encontraban contaminados, por lo que en paralelo a su retiro se realizaron acciones de fumigación.

La evaluación inicial de daños arrojó una estimación global mayor a los 3 millones de m³ de escombros, producto de los derrumbes y demoliciones posteriores, lo cual determinó la necesidad de establecer una estrategia para su disposición final en sitios, que por su capacidad y características geofísicas, garantizaran su adecuado manejo.

Se recogieron grandes piezas de estructuras metálicas, de concreto y el cascajo. A los 8 millones de m³ de escombros se sumó una cantidad importante de tierra, lodos y otros materiales inertes. Después de un tiempo, la composición de los residuos de construcción y demolición comenzó a ser similar a la del periodo previo del sismo.

El peso volumétrico de los residuos de construcción y demolición se presenta en la Tabla III.2. La amplia gama de valores que se presenta en la tabla indica la variación en la composición de los residuos de construcción y demolición. Estos residuos, por un lado, son difíciles de manipular y relativamente costosos de transportar pero, por otro lado, son potencialmente ricos en materiales que tienen alto valor comercial; dicho valor es proporcional al de los materiales vírgenes. Por lo tanto, los residuos de

construcción y demolición están entre los primeros que se identifican para procesar y reciclar.

Tabla III.2. Densidades Seleccionadas del Flujo de Residuos de Construcción y Demolición

Material	Densidad (kg/m³)
Ladrillos (enteros)	715 - 1795
Concreto u Hormigón	705 - 1100
Metales No Ferrosos	535
Metales (Acero)	650
Madera	235

Fuente: "El Manejo de Residuos de Construcción y Demolición" del Primer Simposium Internacional : La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

Con la posible excepción de la madera, los materiales que son recuperados de los proyectos de demolición son utilizados para la producción de nuevos materiales de construcción. Algunos de estos materiales se usan localmente. Obviamente, los mercados para los materiales recuperados son más seguros cuando la industria de la construcción está económicamente fuerte. Algunos de los usos importantes de los materiales recuperados de los residuos de construcción y demolición incluyen la producción de acero, combustibles sólidos, compost, agregados y asfalto reciclado, este tema se tratara más profundamente en el capítulo VI.

III.2 Clasificación de residuos por su peligrosidad

Tradicionalmente, los residuos generados por la industria de la construcción habían sido considerados como inocuos, ya que antiguamente se usaban, sobre todo, materiales pétreos y derivados de materias primas naturales sin un gran proceso de transformación, esto es: grava, arena, cemento (tipo Portland o puzzolánico), cal, pinturas de cal, vidrio, arcillas, teja, tabique y ladrillos de barro, etc.

El advenimiento de las nuevas tecnologías, la inclusión de aditivos para los procesos de construcción, las nuevas pinturas a base de polímeros, los acelerantes y retardantes, los expansores, las emulsiones y asfaltos modificados, los acrílicos, poliestirenos, etc., que han permitido la creación de impresionantes obras, también han generado una serie de desperdicios que, en una gran cantidad de ocasiones han ido a parar a un relleno municipal o a algún relleno sanitario, en el mejor de los casos, ya que en nuestro país no se cuenta con un adecuado número de rellenos industriales y peligrosos.

III.2.1 Residuos no peligrosos

La norma 83-ECOL-1994 aprobada por el Comité Nacional de Normatización define como residuo sólido municipal aquel que proviene de actividades que se desarrollan en casa habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de un proceso. Esto implica que todos los aspectos relacionados con el manejo, transporte y disposición de los residuos generados en las obras, deben atenderse a lo previsto por la normatividad vigente.

Ciertamente, la mayor parte de los residuos generados por la industria de la construcción, tanto en volumen como en peso, corresponden a la categoría de no peligrosos, encontrándose constituidos por materiales tales como concreto, tabique,

madera (cimbra), acero, cartón, plásticos, cerámica, vidrio, polvo, etc; en una palabra, lo que de manera genérica se denomina "escombros". Sin embargo, dentro de estos materiales se encuentran residuos que, de acuerdo con la normatividad vigente en México, pueden ser catalogados como peligrosos, y cuyo control recae en la actual Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP).

III.2.2 Residuos peligrosos

De acuerdo a la ley, un residuo peligroso es el que por sus características, o por los listados de la NOM-CRP-001-ECOL/93, representa un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

Algunos ejemplos típicos de residuos peligrosos:

- ✓ Aceite de motor, hidráulico, etc.
- ✓ Petróleos y kerosenos.
- ✓ Gasolinas y grasas.
- ✓ Adelgazadores y lodos de pinturas.
- ✓ Resinas.
- ✓ Ácidos y lejías para la limpieza.
- ✓ Otros líquidos y lodos orgánicos.

En México se generan anualmente 5,300,000 toneladas de residuos peligrosos; esto es, aproximadamente 14,500 toneladas por día. En la actualidad se manejan apropiadamente sólo 800,000 tons. anuales, que representan un 15% del total.

III.3 Clasificación de residuos por tipo de trabajo.

III.3.1. Construcción

Materiales compuestos de cemento, cal, arena y grava: concretos, morteros, blocks de concreto, yeso, aplanados, poliuretano (plafones), tubos de fierro colado (albañal), cerámica, madera, plástico y residuos de varillas y derivados.

III.3.2. Demolición

Armados, losas, vidrio, plafones de diferentes materiales, tuberías de todo tipo, materiales de más riesgo en su operación como balastras, tubos de iluminación a base de vapor de mercurio, de sodio, de neón, diferentes conductores de electricidad y otros como cerámicas, telas, plásticos, etc.

III.3.3. Remodelaciones, adaptaciones y mantenimiento

Trapos con solventes, brochas, rodillos, cubrebocas, cancelos de tablaroca, paredes portátiles, madera, alfombras, bajoalfombras, maderas conglomeradas, zoclos de vinil, madera, mamparas de yeso comprimido, loseta vinílica, congoliums, plástico, etc.

Y demás obras de ingeniería y arquitectura sin dejar las obras electromecánicas.

CAPÍTULO IV

MANEJO EN FUENTE Y TRANSPORTE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE LA CONSTRUCCIÓN

El manejo de los residuos sólidos de la construcción en su fuente de producción está íntimamente asociado al sistema y a los materiales de construcción; ambos pueden ser contemplados por medio de normas que los regulen, de modo que evite la generación de ese tipo de residuos.

Paralelamente a lo que ocurre con los residuos sólidos de la construcción a escala global, al nivel de obras, el manejo de los residuos sólidos de la construcción en las mismas obras amerita también mejores esquemas de solución, que incluyan las acciones para reducir su generación, así como su oportuna recolección, aprovechamiento y adecuada disposición.

IV.1. El manejo de los residuos sólidos de la construcción en la fuente de creación

Casi sin excepción, las visitas a las obras muestran con frecuencia la falta de limpieza, desperdicios de materiales y ausencia de dispositivos para almacenamiento de los residuos. Si el 6 al 10 % de los materiales utilizados en una obra está constituido por mermas, desperdicios, estimación inadecuada de la cantidad de materiales, materiales rechazados por no cumplir con la calidad, todo lo cual representa un volumen diario de cerca de 3000 toneladas y su manejo implica de cada obra por lo menos el 7% de su costo, sus responsables, teniendo esto presente, deberán abocarse de manera sistemática a las tareas de:

- ✓ Cómo reducir la generación de desperdicios.
- ✓ Cómo aprovechar los desperdicios.
- ✓ Cómo manejar adecuadamente la limpieza de las obras.
- ✓ Cómo asegurarse de que los desperdicios sean retirados y dispuestos correctamente.

Por ello, no es sorprendente que las personas involucradas en la legislación y el manejo de residuos sólidos estén evaluando activamente las posibilidades para reducir las cantidades de los residuos sólidos de la construcción.

A diferencia de lo que ocurre con la basura municipal, en el medio de las obras si se acepta que el manejo de los residuos sólidos de la construcción tiene un costo. La limpieza de las obras representa del 1.5 al 2.0% del costo de construcción (cuadro IV.1) y sumando este al valor de los desperdicios, tanto de materiales como de mano de obra, se puede rebasar el 7% del total del costo de construcción (cuadro IV.2); por lo tanto, ocuparse de estos costos permitirá economías significativas, además de los beneficios en imagen y eficiencia. De hecho, esta situación se reconoce en la propia determinación de costos y precios, en los que invariablemente aparece el concepto de mermas o desperdicios en el rubro de materiales, tanto de los trabajos de estructura y albañilería, como en los de instalaciones y acabados, además de que en los presupuestos, aparecen uno o varios conceptos de limpieza de obra.

Cuadro IV.1 Estimado de costo del servicio de manejo de residuos de obra

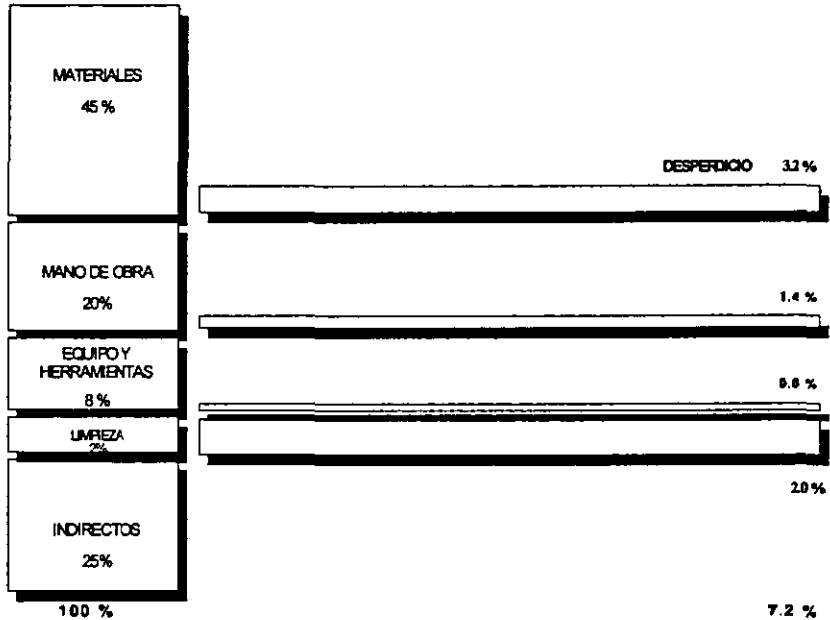
Ejemplo: Edificación: 2,000 m ²					
Costo de construcción			\$ 4,500,000		
Tiempo de obra			10 meses		
Concepto	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Importe	%
Mano de obra					
Cabo					
Ayudante	Jor	1 X 240	50	12,000	
	Jor	4 X 240	30	28,800	
Equipo y herramienta				1,200	
Contenedor, recolección y disposición final	Ton	140	300	42,000	
Total				84,000	1.87
Costo/ML				42	

Fuente: "La Construcción y el Manejo de Residuos." del Primer Simposium Internacional : La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

Sobre este particular, el manejo de los residuos sólidos de la construcción en las obras, reúne condiciones propias principiando por su caracterización, que, aunque depende del tipo de obra de que se trate, difiere de la medida nacional en cuanto a una menor proporción de residuos orgánicos a cambio de una menor presencia de materiales pétreos, metálicos y diversos relacionados con las actividades de albañilería, acabados e instalaciones.

Cuadro IV.2 Costo de construcción vs. costo de sus residuos

COSTO DE LOS RESIDUOS EN LA CONSTRUCCION



Fuente: "La Construcción y Manejo de Residuos" del Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

IV.2 Clasificación típica de residuos sólidos de la construcción en las obras

El procesamiento de clasificación a pie de obra ofrece varias ventajas y contribuye al incremento del reuso. En estos casos, y dependiendo del tipo de proyecto, se puede exigir que la mayor parte de los residuos sean reusados o reciclados, ya sea en la nueva obra o para su comercialización. Para ello, es necesario realizar una buena evaluación de la calidad y de la cantidad de materiales disponibles. Basándose en ese

análisis, es posible determinar como se pueden utilizar los materiales y cuales serían los procesos necesarios para obtenerlos.

Para determinar el proceso de clasificación de residuos sólidos de la construcción es necesario dividirlo en tres partes: grandes constructoras, pequeñas y medianas constructoras, demolición y depósitos.

IV.2.1. Grandes Obras

Existen dos procesos de clasificación en las grandes obras, por una parte se realiza clasificación en la obra y por otra la clasificación en el almacén general.

En cada obra esta designado un gerente de obra, que es el responsable directo del manejo de los residuos que se generen en la obra a su cargo. En cada obra se construye un almacén y hay un jefe de almacén como encargado directo.

La clasificación de los residuos de la obra sólo se realiza hasta que esta haya terminado. Una vez finalizada la obra, los materiales que son nuevos o sin utilizar generalmente se vende a los proveedores a cambio de una nota de crédito para la siguiente compra de material. Entre los elementos que se comercializan en esta forma se incluyen: tabiques, ladrillos, varilla, alambres, cemento, etc.

Para los materiales que son residuales, generalmente un colector del área de construcción se contacta directamente con el gerente de obra para comprar estos materiales, en los cuales se incluye: trozos de varilla y de alambres, clavos, tornillos, papel, madera, cartón, arena, grava, etc.

Además, se genera "cascajo" es cual se compone por trozos de concreto con varillas, tabiques o cualquier otro elemento. Para la disposición de estos materiales se paga para su traslado a un centro de confinamiento previamente autorizado por las autoridades municipales o delegacionales, según sea el caso. Lo mismo sucede con tierra que se remueve para las cimentaciones.

Para el caso de que ciertos materiales como rollos de alambre completos, mobiliario y estructuras metálicas entre otros, que no se pueden vender in-situ se colectan en un depósito central en de la compañía, previo a un almacén de tránsito. Estos materiales se venden por subasta. Todos los materiales se venden por lotes, sin importar las condiciones específicas de cada unos de los componentes del lote.

IV.2.2. Pequeñas y medianas constructoras

En general, en cada obra que realizan pequeñas constructoras, los montos de los materiales que se crean son variados. Se generan en varias etapas: Cimentación, Construcción y Limpieza.

Dentro de la cimentación se genera tierra y en ocasiones algún tipo de cascajo que es colectado para enviarse a algún depósito previamente designado por las autoridades de la delegación o municipio. En la mayoría de los casos las compañías de acarreo de materiales se encargan del trámite de pago por depósito.

Los materiales de la construcción pueden ser residuos de arena, cemento, varillas, clavos, madera, papel, etc. Los materiales intactos o sobrantes que se encuentran en condiciones para usarse en otra obra se guardan en bodegas de la compañía constructora para utilizarse en la siguiente obra o se venden a personas de la zona.

El concreto, arena y grava (material granular) cuando se obtiene en cantidades pequeñas se junta con el cascajo y se tira en sitios para rellenar terrenos.

En general, los elementos metálicos como la pedacería de varilla, cobre proveniente de alambres, clavos, tubería, etc. se colecta y es vendido por kilogramo, estos materiales se obtienen en grandes cantidades.

La madera se utiliza al máximo, la que proviene de cimbras se utiliza en la siguiente obra, generalmente la vida útil de esta madera es de 5 a 6 obras. Cuando ya no tiene utilidad se vende por kilo a personas que la colectan, en cada obra se desprende astillería, la cual se vende o regala para leña

Los residuos de bajo plus valor, como las bolsas de cemento, se tiene una regla no escrita en donde el velador o el maestro de obra vende estos materiales a colectores del área quedándose con el importe de la venta. El papel se utiliza durante el proceso de la misma obra, el sobrante en grandes cantidades se vende por kilogramo en depósitos de desperdicio. Lo mismo ocurre con el vidrio que se llega a romper dentro de la obra.

IV.2.3 Demolición y depósitos

Las empresas dedicadas a las demoliciones evalúan los costos de los trabajos a ejecutar en función directa de los materiales de acabados que puedan rescatar para su reaprovechamiento, estas acciones de trabajo las podemos considerar como el principio del manejo y tratamiento, en razón de que reducen los volúmenes de los residuos de la construcción, primeramente se identifican los materiales y/o objetos que pueden ser vendidos como un material usado, en esta categoría se incluye los pisos de madera, canteras o recubrimientos, escaleras, ventanas, marcos, puertas, herrería, closets, celosías, etc.

Otros materiales como los ladrillos son recuperados por una cuadrilla para luego venderlos. Estos ladrillos en la pasada década tuvieron un gran impulso dentro de la construcción, puesto que se convirtieron en un material de moda, siendo su precio superior al de los ladrillos nuevos.

También se recuperan estructuras metálicas las cuales se vuelven a fundir, se vende a colectores especializados. En esta categoría se incluye: varillas, trabes, clavos, herrería en mal estado, etc.

Además, se genera cascajo, el cual una vez separado de los ladrillos enteros, varillas, canteras, etc. se paga a un transportista para que los traslade a algún punto de la ciudad previamente autorizado. Su uso es para rellenos sanitarios, de barrancas, etc.

El papel de los depósitos es un enlace entre las compañías constructoras y empresas transformadoras de materiales. Los materiales generalmente incluyen papel, cartón, madera, estructuras metálicas. Estos son vendidos por lotes o por peso, no existiendo un precio establecido, el cual se determina por subasta.

Existen muchas ventajas al clasificar a los residuos sólidos de la construcción. Algunas de las ventajas que se derivan de los procesos en el sitio incluyen:

- ✓ se evita el transporte de materiales de baja densidad;
- ✓ se evita la doble manipulación (menos costos, menos contaminación atmosférica); y
- ✓ se cuenta con más flexibilidad en el uso del equipo.

Algunas de las ventajas del uso de los procesos centralizados incluyen:

- ✓ ahorro en el transporte de equipo pesado;
- ✓ mejora en el mantenimiento de los equipos, lo cual resulta en mayor disponibilidad y confiabilidad; y
- ✓ mejor control de los impactos ambientales.

IV.2.1 Procesamiento de clasificación fuera del sitio

Dentro del proceso de clasificación fuera del sitio se observan dos casos principales que deben de ser señalados para la operación y tratamiento de los sitios en donde se coloquen los residuos sólidos de la construcción: los ya existentes y los nuevos. A continuación se profundizará en la problemática de cada uno de ellos.

La clasificación fuera del sitio de la obra comienza después de ser transportado a los tiros, los cuales pueden ser oficiales, clandestinos y particulares.

En el capítulo III se explico el flujo de los residuos sólidos de la construcción, generalmente en los tiros oficiales se efectúa una pepena controlada por los líderes y en los tiros clandestinos se efectúa una pepena libre. En ambos casos el material recuperado se comercializa o se reutiliza directamente por los pepenadores.

En los tiros oficiales no se realiza una segunda selección; sin embargo, estos materiales son utilizados en su mayoría para conformación de caminos.

En cuanto a los tiros particulares por lo general los residuos de la construcción se utilizan para rellenar oquedades o barrancas, sin ningún control técnico.

Los residuos sólidos de la construcción son casi siempre pesados y voluminosos. Generalmente, estos residuos pueden ser dispuestos en rellenos sanitarios ya que, debido a su composición, muchas veces son inadecuados para otras opciones de tratamiento o disposición final, como el compostaje o la incineración.

Además, el volumen disponible en los rellenos sanitarios es cada vez más escaso y más costoso. En ciertos casos, los rellenos tienen permiso para disponer residuos sólidos de la construcción debido a que estos materiales son inertes y hay bajo riesgo de contaminar las fuentes de agua subterránea. Esta actitud podría cambiar, debido a que los estudios realizados sobre la cantidad y la calidad de los lixiviados (se analizan

en el siguiente capítulo), generados en los rellenos para residuos sólidos de la construcción indican que podrían contaminar los cuerpos de agua.

IV.3. Transporte de los residuos sólidos de la construcción

Debido a las características de los residuos sólidos de la construcción, su transporte es costoso, consume bastante combustible y, obviamente, genera emisiones que contaminan la atmósfera. Generalmente, los costos de manipulación, transporte y tratamiento o disposición final de los residuos durante un proyecto de construcción o de demolición representan un monto bastante elevado en el presupuesto del proyecto, como lo vimos anteriormente, y es muy posible que estos costos continúen incrementándose.

El transporte de los residuos sólidos de la construcción es completamente diferente a los generados por otras ramas de la industria. Observamos que las plantas industriales correspondientes son fijas y se encuentran perfectamente ubicadas, y la duración de su actividad puede catalogarse como más o menos permanente, por lo tanto, el transporte de sus residuos sólidos a los sitios de disposición final o de tratamiento es relativamente sencillo. Por su parte, la industria de la construcción posee características que, desde el enfoque anterior, la convierten prácticamente en una actividad itinerante y temporal, casi efímera. De esta manera, las fuentes generadoras de residuos cambian constantemente su ubicación, y la generación de los mismos se limita a un periodo cuya duración dependerá básicamente de la magnitud de la obra en cuestión, es decir, se limita fundamentalmente a la "etapa de construcción" de la obra. De manera adicional, la industria de la construcción no se circunscribe o delimita a una "zona industrial" con uso de suelo establecido, como es el caso de otras ramas industriales, sino que se ubica en cualquier sitio donde la obra a construir cuente con la autorización y permisos correspondientes, independientemente de que se trate de

zonas urbanas, suburbios o áreas completamente rurales. Sólo podríamos decir que las obras de reconstrucción, remodelación, mejoramiento y mantenimiento a inmuebles son fuentes generadoras permanentes pero efímeras.

A los residuos de la construcción no los recogen normalmente los organismos gubernamentales. Usualmente la empresa encargada de la obra generadora de los residuos contrata el acarreo de los escombros y su eliminación. Debido a su ubicación cambiante no siempre los costos de transporte son los mismos, ya que dependen de la cantidad, de la distancia, del camino que deben seguir los camiones y de la clase de residuos. En ocasiones la misma empresa se encarga del acarreo y su eliminación pero no es muy conveniente debido a su alto costo.

Dentro del Distrito Federal existen compañías especializadas en traslado, las cuales se encargan de recoger los materiales que se generan de la obra, el precio incluye los cargos por depósito en rellenos sanitarios que cobra el DDF. El precio promedio varía de acuerdo a la distancia, al tipo de material del que se trate y de que se pueda o no recoger directamente. Aquí hay que resaltar que para grandes empresas constructoras se generan economías de escala, pues el precio se reduce en función del volumen.

El transporte de los residuos sólidos de la construcción se puede llevar a cabo de dos formas: Directo o mediante transferencias. El transporte directo consiste en trasladar los residuos recolectados a los lugares de tratamiento o disposición final.

La distancia de recorrido influye directamente en el costo de operación del servicio, por ello se recomienda que la distancia máxima para que los camiones de recolección descarguen directamente en las plantas de tratamiento o sitios de disposición final, podrá ser de 15 kilómetros aproximadamente; sin embargo, la distancia se rebasa fácilmente debido a la ubicación cambiante de los centros generadores.

Las estaciones de transferencia son las instalaciones intermedias que reciben los residuos de los camiones recolectores, posteriormente son arrastradas hasta el sitio de

disposición final, permitiendo a los camiones recolectores regresar para continuar con el servicio.

CAPÍTULO V

IMPACTO AMBIENTAL, NORMATIVIDAD Y LEGISLACION

Tradicionalmente se ha considerado, que la generación de residuos peligrosos que provocan impacto ambiental es una actividad privativa de ciertas ramas de la industria, como pueden ser la minera, química, petroquímica, etc. En el caso de la industria de la construcción, existe la idea difundida entre el público en general (y en ocasiones entre los propios constructores) que ésta genera únicamente residuos inocuos; sin embargo, de acuerdo a la normatividad vigente en México, la Ingeniería Civil sí genera residuos peligrosos, situación desconocida frecuentemente inclusive por las propias empresas constructoras.

V.1 Impacto ambiental

La industria de la construcción actualmente se enfrenta una serie de problemáticas por resolver debido a la diversidad de elementos que la conforman, por la situación económica que vive el país y que repercute directamente en las empresas constructoras. Un aspecto más del que se esta consciente en la Industria de la Construcción son las condiciones ambientales que repercuten en la sociedad y que son generadas por los residuos sólidos, por esto, es necesario realizar ciertas acciones que garanticen que a pesar de que se autorice un proyecto o desarrollo, los impactos ambientales no sean significativos, por esta razón se hace necesaria la aplicación de un instrumento de política ambiental que es la evaluación del impacto ambiental.

Cuadro V.1. Análisis de Lixiviados

Parámetro	Promedio (mg/l)	Rango (mg/l)
pH (unidades)	6.75	6.3 - 7.3
Alcalinidad	320	170 - 550
Cloruro	45	17 - 120
Cadmio	0.0064	0 - 0.02
Cromo	0.005	0 - 0.04
Cobre	0.08	0.02 - 0.62
Plomo	0.056	0.04 - 0.1
Arsénico	0.007	0 - 0.02
Mercurio	0.00	0.00
Hierro	26	3.6 - 88
Manganeso	3.4	2.2 - 6.3
Sulfatos Complejos	60	21 - 140

Fuente: "Construction Waste and Demolition Debris Recycling... A Primer" del Primer Simposium Internacional : La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

Hasta hace poco tiempo los residuos sólidos de la construcción eran abandonados en las cercanías de la obra ejecutada, sin más consideración que la economía de esa fase necesaria o bien se tiraban sin ningún cuidado ni diferenciación junto con los residuos sólidos urbanos en tiraderos o basureros. En el mejor de los casos eran aprovechados para otras obras en las que la topografía hacía necesario el aporte de material de relleno. El excedente cada vez mayor de este tipo de residuos procedentes de las excavaciones y demoliciones necesarias para la ejecución de grandes obras y debido a que los estudios realizados sobre la cantidad y la calidad de los lixiviados generados en los rellenos sanitarios que sólo aceptan residuos sólidos de la construcción indican que los lixiviados podrían, potencialmente, contaminar los cuerpos de agua (Cuadro V.1) y también los problemas generados por la falta de regulaciones específicas llevan a la conclusión de que el manejo de los residuos sólidos de la construcción debe ser objeto de estudios de Impacto Ambiental, analizando igualmente la normatividad y legislación vigente.

La disposición inadecuada de residuos sólidos de la construcción provoca una contaminación potencial del suelo y de los mantos freáticos. Los residuos sólidos de la construcción aportan materiales contaminados y compuestos tóxicos como: plomo procedente de pinturas, barnices, retardantes y/o acelerantes y otros aditivos. Podemos mencionar algunos materiales que contienen residuos peligrosos como son: madera impregnada con pinturas o compuestos químicos, madera laminada y otras que son a menudo tratadas con aditivos que contienen formaldehidos, naftalenos, y arsenatos. Agregando también que la demolición de edificios antiguos genera residuos peligrosos que en su tiempo no se tenía conocimiento de su toxicidad, como asbestos y mercurio o plomo para base de pinturas. Además, al ser removidos los materiales, resultado de las demoliciones, están más propensos a ser conglomerados sin clasificación alguna provocando así que la recuperación de materiales sea más difícil.

Otros materiales como la lamina de asbesto (que antes de 1975 eran instalados con una junta de asbesto no aglutinado), durmientes de vías férreas, y madera tratada a presión, aportan contaminantes debido a su composición y deben ser considerados en el diseño y desarrollo de etapas de proyectos de recuperación de residuos sólidos de la construcción. Si la madera contaminada que no fue separada o recuperada manualmente durante el procesamiento en planta, es posible que el compost pueda contener materiales pesados, bifenilos policlorados (PCB's) u otros tóxicos.

Los impactos adversos característicos de los confinamientos de residuos inertes de la construcción son: sobre la vegetación al ser eliminada la cobertura vegetal, y así sobre la fauna característica, sobre la calidad del aire por la generación de partículas suspendidas, resultado del acarreo y disposición de materiales muy finos, sobre la calidad del agua con el posible aporte de sales minerales y lixiviados en confinamientos con grandes volúmenes de yeso y calhidra.

Debemos mencionar también que el impacto ambiental no sólo se limita a la afectación del suelo y mantos freáticos, la explotación de canteras y la extracción de minerales producen sus propios impactos ambientales ya que las reservas de recursos naturales

están descendiendo, mientras materiales secundarios están siendo depositados en rellenos sanitarios. Hay que considerar que la capacidad de los recursos naturales no es ilimitada.

V.1.1 Impacto ambiental de los sitios de disposición final de residuos sólidos de la construcción.

Los impactos ambientales propios de los sitios de disposición final de residuos sólidos de la construcción, están asociados fundamentalmente a:

1. Cambio de uso de suelo
2. Eliminación de corteza vegetal
3. Deforestación
4. Disminución en la capacidad de recarga del acuífero.
5. Cambio en la topografía.
6. Modificación de los escurrimientos naturales.
7. Generación de polvo
8. Incremento en el tránsito con vehículos pesados
9. Deterioro de las vías de acceso como consecuencia del flujo de vehículos pesados
10. Incremento en el ruido.

El impacto ambiental que produce puede ser temporal o permanente y se clasifica como sigue:

Compatible: Cuando su recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa prácticas protectoras o correctoras.

Moderado: No precisa de medidas protectoras o correctoras intensivas, y la consecución de las condiciones ambientales iniciales requiere un cierto tiempo.

Severo: Aquél en el que la recuperación de las condiciones del medio exige la adecuación de medidas protectoras o correctoras, y en el que, aún con esas medidas, aquella recuperación precisa de un período de tiempo dilatado.

Crítico: Aquél cuya magnitud es superior al umbral aceptable. Con él se produce una pérdida permanente de calidad de las condiciones ambientales, sin posible recuperación, incluso con la adopción de medidas protectoras o correctoras.

Con el fin de poder evaluar la magnitud de las alteraciones que los depósitos de los residuos sólidos de la construcción producen en el medio físico y social, es importante que el Estudio de Impacto Ambiental correspondiente contemple la situación previa a la construcción de los mismos.

Los elementos del medio físico que pueden resultar afectados por la construcción de depósitos de residuos sólidos de la construcción son los siguientes:

- ✓ Aire
- ✓ Suelo Edáfico
- ✓ Geología y Geomorfología
- ✓ Hidrología
- ✓ Vegetación
- ✓ Fauna
- ✓ Paisaje
- ✓ Estructuras

Aire. El cambio de la calidad del aire se puede generar por el incremento localizado en la emisión de partículas, tanto durante la etapa de construcción, como a lo largo de la

disposición final o la explotación, ello debido a la erosión eólica producida en las distintas etapas:

Suelo Edáfico. La construcción de cualquier tipo de depósitos de residuos sólidos conlleva la ocupación de una importante superficie de terreno y consecuentemente desaparición de su capa edáfica, recurso extremadamente valioso que la naturaleza tarda miles de años en crear y que constituye al mismo tiempo: banco de semillas de especies de la región, soporte de la fertilidad vegetal y hábitat de una flora y fauna específica. Su disposición inadecuada, no solamente constituye una pérdida directa del patrimonio natural, sino que puede suponer un incremento en el volumen de residuos sólidos a manejar o tener un efecto negativo respecto a la estabilidad estructural del depósito.

Geología y Geomorfología. La Geomorfología del lugar puede sufrir cambios por efecto de la inestabilidad inducida por la carga externa que supone el terraplén o depósito. Por otro lado los desechos almacenados pueden ocultar yacimientos paleontológicos y formaciones geológicas de interés didáctico o documental.

Hidrología. La construcción de depósitos residuos sólidos de la construcción puede traer consigo la desviación temporal o permanente de corrientes de agua superficiales y subterráneas, la impermeabilización de superficies, etc. La erosión de sus taludes produce sedimentos que pueden azolvar cañadas naturales y drenajes, extendiendo el problema a lugares a veces muy alejados del punto donde se inicia.

Fauna y Vegetación. Las alteraciones que se producen en la fauna y vegetación pueden ser directas e indirectas. El impacto directo es la desaparición inmediata de comunidades de especies vegetales y animales que vivían en el área de terreno ocupada por los desechos. Los efectos secundarios son más difíciles de conocer y pueden ir desde un descenso de la fertilidad en las comunidades animales y vegetales afectadas hasta la drástica disminución del factor de regeneración vegetal por la presencia de nuevas superficies desnudas sometidas a una continua erosión.

Paisaje. La alteración del paisaje se manifiesta en tres formas: introducción de líneas rectas y discordantes, contrastes cromáticos y pantalla visual. La erosión acentúa el efecto negativo de cada una de ellas.

Estructuras anexas. La propia estructura que origina el material de desecho puede verse afectada por una mala disposición del mismo. Un ejemplo es el sobreebanco creado en terraplenes de carreteras y autopistas al tirar el material sobrante sin ninguna compactación sobre los taludes, induciendo a una zona de inestabilidad que al fallar interesa a la propia estructura originando asentamientos y grietas.

Los usos y destinos finales de los confinamientos de residuos inertes al llegar a su etapa de abandono puede ser: la instalación de parques deportivos, zonas de estacionamiento, áreas verdes e inclusive la reforestación con especies arbóreas y arbustivas que sean resistentes y adecuadas al tipo de material de sustrato.

V.1.2 Evaluación del impacto ambiental

Por ser un asunto que afecta a todos los sectores de la población, con aplicaciones sociales y económicas, la protección del medio ambiente es un tema polémico que motiva pasiones pudiendo ser por tanto objeto de manipulación.

Consecuentemente, la Evaluación del Impacto Ambiental, entendiendo como tal al proceso de análisis mediante el que se integran el medio ambiente y el proyecto de una obra, debe desarrollarse a lo largo de un camino regido por la cordura y el sentido común sin perder de vista los fines enunciados de integración.

Una normatividad muy exigente puede llevar a la no aplicación de las medidas de mitigación o bien, a aplicarlas sin resultado positivo. Sirva como muestra el ejemplo que se menciona a continuación:

Si se va a revegetar, como parte de un sistema de control de la erosión, se puede especificar que solamente se utilicen semillas procedentes de la región. Sin embargo, tales semillas pueden tener un período lento de germinación y crecimiento y desaparecer a consecuencia de la misma erosión sin haber tenido tiempo de controlarla. En tal caso es más adecuado utilizar algunas especies benignas y de rápido crecimiento que también permitan a medio o largo plazo, la germinación y crecimiento de las autóctonas.

V.1.3 Erosión

Se conoce como erosión al proceso según el cual, partículas de distintos tamaños integradas en una masa de suelo o roca son removidas de su situación inicial y transportadas.

Al material erosionado se le denomina sedimento y a su deposición sedimentación. La morfología de los taludes naturales que forman cualquier paisaje, es el resultado a lo largo de miles o millones de años de distintos mecanismos geológicos que involucran procesos de erosión y sedimentación, mismos que siguen actuando en el presente, y que en ocasiones constituye un serio problema agrícola y/o social en determinadas zonas geográficas del planeta.

Los factores que intervienen en un proceso de erosión en un talud natural son:

- ✓ Clima
- ✓ Terreno
- ✓ Topografía
- ✓ Cubierta vegetal

En los taludes construidos (cortes, terraplenes o depósitos) continúan interviniendo los factores involucrados en el proceso de erosión de un talud natural, pero con dos particularidades adicionales:

- ✓ La topografía está fijada previamente por la definición de las pendientes en el diseño, lo cual acentúa la importancia de este factor.
- ✓ La cubierta vegetal desaparece.
- ✓ Los agentes que desencadenan la erosión en un talud de terraplén o de un depósito de materiales sólidos son dos: el agua y el aire.

La intemperización química es así mismo, un agente activo de erosión que puede incluir procesos de oxidación, solución o hidrólisis, siendo éstos dos últimos los que más importancia tienen, ya que la oxidación tiene una manifestación más lenta.

En los terraplenes así como en los depósitos para los residuos sólidos de la construcción será necesario tener en consideración la posible existencia de arcillas dispersivas, cuya erodibilidad puede ser comparable a la de las arenas finas o limos que dan lugar a tubificaciones que pueden tener fatales consecuencias.

Existe también otro proceso de degradación de los taludes de terraplenes y depósitos para residuos sólidos de la construcción: los desprendimientos de boleos y masas superficiales en forma de pequeños deslaves que deben ser integrados dentro de los procesos de la erosión y que es conveniente diferenciar de los problemas de inestabilidad estructural de los taludes, mismos que pueden ser analizados adecuadamente de acuerdo con los principios de la Mecánica de Suelos. Todo ese conjunto de pequeños caídos entran dentro de lo que podríamos denominar inestabilidad superficial de los taludes y que está gobernado gran número de veces por la heterogeneidad de los materiales que componen el depósito, procedimientos de compactación o consolidación e hidrología superficial, además de los factores y agentes enunciados anteriormente para la erosión.

V.2 Normatividad y legislación

A la fecha en nuestro país no se cuenta con un marco regulatorio que controle los residuos de la construcción, la falta de este ha implicado que los residuos se vean esparcidos por las zonas urbanas: en lotes baldíos, camellones, plazas, orillas de carreteras, barrancas, tiraderos de residuos y en los Rellenos Sanitarios, con las implicaciones ambientales que tratamos anteriormente en su generación, transporte y disposición.

Para empezar, es importante distinguir que en México existe la obligación jurídica de formular estudios de impacto ambiental, para todas aquellas actividades que pudieren provocar desequilibrios ecológicos o rebasar los límites de contaminación marcados en la Normatividad Ambiental correspondiente.

El Artículo 29 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, establece las atribuciones federales y estatales en materia ambiental para diversos tipos de proyectos, correspondiendo a la federación el análisis y evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura, obra pública y carreteras, entre otros, y a los estados, la evaluación y dictamen de impacto ambiental de todas las construcciones urbanas y suburbanas que pretendan realizarse, es pues, en el ámbito de competencia estatal, que los gobiernos han desarrollado su propia normatividad, la cual establece el tipo de obras y así, la profundidad de estudios que corresponde en cada caso, variando entre cada uno de los estados, el tipo de proyecto que tienen la obligación de la formulación de los mencionados estudios.

Tradicionalmente se ha considerado como un hecho, que la generación de residuos peligrosos es una actividad privativa de ciertas ramas de la industria, como pueden ser la minera, química, petroquímica, etc. En el caso de la industria de la construcción, existe la idea difundida entre el público en general (y en ocasiones entre los propios constructores) que ésta genera únicamente residuos inocuos; sin embargo, de acuerdo a la normatividad vigente en México, la Ingeniería Civil sí genera residuos peligrosos,

situación desconocida frecuentemente inclusive por las propias empresas constructoras.

V.2.1 Antecedentes Normativos.

La generación de residuos en sus diferentes formas tiene como una de sus fuentes a la actividad industrial en general, dentro de la cual se encuentra la Ingeniería Civil. En esta rama de la industria, como en prácticamente todas ellas, se generan emisiones gaseosas y partículas a la atmósfera, descargas líquidas, así como residuos sólidos y peligrosos (además de otro tipo de emisiones como puede ser el ruido, olores, etc.). Ciertamente, la mayor parte de los residuos generados por la industria de la construcción, tanto en volumen como en peso, corresponden a la categoría de no peligrosos, encontrándose constituidos por materiales tales como concreto, tabique, madera (cimbra), acero, cartón, plásticos, cerámica, vidrio, polvo, etc.; en una palabra, lo que de manera genérica se denomina "escombro". Sin embargo, dentro de estos materiales se encuentran residuos que, de acuerdo con la normatividad vigente en México, pueden ser catalogados como peligrosos, y cuyo control recae en la actual Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (SEMARNAP). Efectivamente, el 28 de enero de 1988 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), y posteriormente (25 de noviembre de 1988) el Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos, así como la entonces denominada Norma Técnica Ecológica "NTE-CRP-001/88, que establece los criterios para determinar los residuos peligrosos y el listado de los mismos" (6 de junio de 1988). Actualmente, esta norma se denomina "NOM-052-ECOL-93, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente" (esta versión fue publicada en el 22 de octubre de 1993 bajo el nombre de NOM-CRP-001-ECOL/93; posteriormente se modificó esta nomenclatura, según Acuerdo publicado en el DOF el 29 de noviembre de 1994).

Con la publicación de los ordenamientos legales mencionados, especialmente los dos últimos, se establecieron las bases para controlar la generación y manejo de residuos peligrosos. Es decir, desde ese año, ciertos residuos generados por la Ingeniería Civil fueron catalogados como peligrosos; sin embargo, pocas empresas del ramo tuvieron conocimiento de esa normatividad, y aún a la fecha sólo unas cuantas de ellas son conscientes de su carácter de generadoras de residuos peligrosos. En ciertos casos, aún las grandes empresas constructoras se han reconocido como generadoras de residuos peligrosos sólo después de haber sido notificados de algún incumplimiento, o bien de ser requeridos para corregir el mal manejo de este tipo de residuos, con frecuencia como resultado de quejas o denuncias populares por parte de personas o grupos civiles afectados.

V.2.1.1 Residuos peligrosos

La NOM-83-ECOL-1994 aprobada por el comité nacional de normatización define como residuo sólido municipal aquel que proviene de actividades que se desarrollan en casa habitación, sitios y servicios públicos, demoliciones, construcciones, establecimientos comerciales y de servicios, así como residuos industriales que no se deriven de un proceso. Esto implica que todos los aspectos relacionados con el manejo, transporte y disposición de los residuos generados en las obras, deben atenerse a lo previsto por la normatividad vigente.

Partiendo de una revisión de la NOM-052-ECOL-1993 citada arriba, así como de los residuos más comunes generados en la Ingeniería Civil, se enlistan a continuación algunos de ellos que pueden ser catalogados como peligrosos:

- ✓ lubricantes usados
- ✓ materiales conteniendo lubricantes usados: estopas, filtros, etc.
- ✓ restos de pinturas
- ✓ solventes usados
- ✓ baterías plomo-ácido

- ✓ recipientes conteniendo restos de residuos peligrosos
- ✓ asbesto (no aglutinado)
- ✓ restos de soldadura conteniendo metales pesados

La peligrosidad de los residuos mencionados se basa fundamentalmente en su toxicidad, inflamabilidad y corrosividad, de acuerdo a los criterios establecidos en la norma 052. Por otra parte, la lista anterior no es exhaustiva, ya que la cantidad y calidad de residuos peligrosos que se generen dependerá del tipo y magnitud de obra que se trate en cada caso. Evidentemente, la composición de los residuos generados durante la construcción de una carretera puede ser muy diferente a la de un hospital o una planta industrial cualquiera.

Si consideramos la construcción de una cortina para un proyecto hidroeléctrico, es de suponer, por ejemplo, la existencia de una enfermería donde podrían generarse residuos peligrosos en la categoría de biológico-infecciosos. En este mismo tipo de obra, se puede considerar el uso de explosivos y en consecuencia la posible generación de residuos con la característica de explosividad y/o inflamabilidad. En el caso de una planta industrial, el tipo de instalaciones que se contemplen definirá la composición de los residuos peligrosos potenciales, como es el caso de instalaciones y equipos eléctricos, en donde pueden generarse residuos como soldaduras, interruptores averiados, etc., conteniendo metales pesados (mercurio).

Por su parte, los materiales radiactivos que se manejan en algunas operaciones de control de calidad, especialmente en estructuras, se catalogan en otro rubro y su control cae bajo la responsabilidad de la Secretaría de Energía.

V.2.2 Tendencias

Si bien las propias autoridades han mencionado la necesidad de efectuar modificaciones en la normatividad vigente en materia ambiental, algunos de los

ordenamientos legales mencionados anteriormente han permanecido inalterados desde su publicación en el año de 1988, como es el caso de la LGEEPA y su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos. Sin embargo, la original norma NTE-CRP-001/88 ha sufrido varios cambios, tanto en contenido como en nomenclatura, y como se ha mencionado, actualmente se denomina "NOM-052-ECOL-93, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente".

Con relación a esta norma oficial mexicana, el 11 de diciembre de 1995, el Comité Consultivo de Normalización para la Protección Ambiental presentó un paquete de normas, entre las que destacan las siguientes, en relación con el tema central del presente trabajo:

- "Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-052- ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos".

Este proyecto constituye una modificación de la norma homónima publicada el 22 de octubre de 1993 en el DOF, aunque se encuentra en una etapa preliminar y no contempla aún el listado de los residuos peligrosos. Uno de los aspectos importantes que se encuentran en este proyecto, es que en él se introduce y define el concepto de *residuo especial*: "Aquél que por su cantidad o manejo puede presentar la característica de peligrosidad y cuyo manejo está regulado por un instrumento jurídico específico". Si bien resulta aventurado prever el contenido final de la norma en su versión definitiva, es de esperar que algunos de los residuos peligrosos generados en la Ingeniería Civil actualmente, sean catalogados como especiales dentro de la nueva norma, y por ende, reciban en ella un tratamiento diferente al de los clasificados como peligrosos/no peligrosos.

- "Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-101-ECOL-1995, que establece los requisitos y especificaciones para el manejo de lubricantes usados".

Los aceites lubricantes usados se encuentran regulados actualmente por los ordenamientos mencionados en el apartado 2.2. Sin embargo, se ha elaborado este anteproyecto de norma especial para estos residuos en particular, debido a los importantes volúmenes que de ellos se generan, así como a la consecuente falta de control efectivo sobre los mismos, lo cual propicia con frecuencia su descarga en forma clandestina en drenajes, cañadas, etc.

Los aceites usados constituyen uno de los residuos peligrosos más comúnmente generados por el equipo y maquinaria utilizados en la construcción de obras importantes, por lo que se anota a continuación el contenido de dicho proyecto de norma:

0. Introducción
1. Objetivo y Campo de Aplicación
2. Referencias
3. Definiciones
4. Condiciones de Manejo
5. Requisitos para el Gran Generador
6. Envasado y Etiquetado
7. Requisitos para el Almacenamiento
8. Requisitos para el Pequeño Generador y Recomendaciones Internacionales
9. Centros de Acopio
10. Recolección y Transporte
11. Reciclaje, Tratamiento y Recuperación de Energía
12. Disposición Final
13. Grado de Concordancia con Norma

Este ordenamiento modificará ciertos aspectos con relación a los requerimientos del manejo que actualmente se da a los aceites usados. Como ejemplo, se menciona el hecho de que el generador de aceites usados (que puede ser grande o pequeño) debe registrarse como tal ante la autoridad, deberá manifestar los volúmenes de aceite nuevo comprados, etc.

Por lo anterior, es de esperarse un mayor control de los residuos peligrosos generados por la Ingeniería Civil en el corto y mediano plazos.

Es importante se creen y se cumplan normas para los productos que se requieren en la industria de la construcción, pero que no sólo cumplan con requerimientos actuales sino que se especifique que los productos pueden ser reutilizados sin ningún riesgo, y que cumplen con los requerimientos necesarios para la construcción en la que serán reutilizados.

En el siguiente cuadro se muestran algunos artículos de reglamentos aplicables, que también denotan la necesidad de su actualización.

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES PARA EL DISTRITO FEDERAL

Artículo 12.- No se autoriza el uso de las vías públicas para el caso de construcción de obras, actividades o fines que ocasionan molestias a los vecinos, así como para el depósito de basura y otros desechos

Artículo 242.- Los materiales de construcción y los escombros en las obras podrán colocarse momentáneamente en las banquetas de la vía pública, sin invadir la superficie de rodamiento, durante los horarios y bajo las condiciones que fije el departamento para cada caso.

Artículo 243.- Los vehículos que carguen o descarguen materiales para una obra podrán estacionarse en la vía pública, así como los que carguen residuos sólidos, cascajo y otros.

Artículo 297.- Los materiales, desechos y escombros provenientes de una demolición deberán ser retirados en su totalidad en un plazo no mayor de 28 días hábiles contados a partir del término de la demolición y bajo condiciones que establezcan las autoridades correspondientes en materia de vialidad y transporte.

LEY DEL DESARROLLO URBANO

Artículo 24.- Los demás desechos industriales deberán ser alejados de tal manera que no perjudiquen la salud o los intereses de terceras personas.

REGLAMENTO PARA EL SERVICIO DE LIMPIA DE LA CIUDAD DE MEXICO

Artículo 10.- El servicio de recolección de residuos sólidos domiciliario será gratuito:

a) en el caso de establecimientos mercantiles, industriales o similares, cuyo volumen de residuos sólidos generados por día sea superior a 200 kg., Los propietarios, poseedores o administradores podrán convenir con la delegación correspondiente la recolección y transportación de dichos residuos, cubriendo los derechos que para tales efectos establezca la ley de hacienda del departamento del distrito federal.

b) en el supuesto de que no se convenga en los términos señalados en el párrafo anterior, los propietarios, poseedores y administradores deberán sufragar los costos de recolección y transporte de los residuos sólidos, a los lugares que determine la delegación respectiva, debiendo observar las condiciones de higiene que establezca las disposiciones sanitarias aplicables.

Se debe al igual que en otros países obligar al constructor a que se responsabilice por las condiciones estructurales de la obra que entrega, esto redundará en que el constructor se preocupe por utilizar materiales que cumplan con todas las especificaciones técnicas necesarias. Se propone responsabilidad por 20 años.

Así como la creación de metas y estándares de los volúmenes de residuos sólidos de la construcción que prevé el sector, mediante el diálogo entre empresas y gobierno se fijarían estas metas que tiendan a reducir la producción de residuos sólidos de la construcción.

CAPÍTULO VI

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Son muchas las alternativas de solución que pueden aplicarse en la generación de residuos sólidos de la construcción, van desde el relleno sanitario hasta la recuperación y comercialización, pero si duda, muchos de ellos implican costos que limitan los presupuestos de las compañías constructoras y de las dependencias gubernamentales, en este capítulo analizaremos su aplicación y cuales representan la mejor solución para ser incorporadas al esquema nacional.

Teniendo como objetivos la reducción de residuos, la conservación de los recursos y el cambio en la naturaleza del material vertido, se suelen clasificar los materiales de desecho en: reutilizables, reciclables, compostables, evitables, tóxicos y prevenibles. En lo referido a los residuos de demolición y dentro de las distintas iniciativas que pueden tomarse, ésta información se centra únicamente en la del reciclaje. Durante la década de los 80 el reciclaje, junto a la reducción en la cantidad de residuos, se ha presentado como una alternativa al vertido. Significa conservar los recursos naturales y proteger la naturaleza y los hábitats.

En general, las opciones para el manejo de los residuos sólidos de la construcción se pueden clasificar en las siguientes: a) Reciclaje y Reuso, b) Disminución de Residuos Sólidos de la Construcción en la Fuente de su Producción y c) Disposición Final.

VI.1 Reciclaje y Reuso

En el caso de los residuos sólidos de la construcción, que la mayor parte de estos residuos son reciclables, el reciclaje de materiales puede constituir un importante

componente de un sistema para reducir la cantidad de residuos que se disponen en los rellenos sanitarios.

Los residuos sólidos de la construcción que son reprocesados por medio de métodos mecánicos, generalmente las etapas y los equipos utilizados son similares. La operación inicial podría ser una simple segregación manual en el sitio de construcción o de demolición. Algunos de los materiales como los metales, el hormigón y la madera pueden ser segregados para su venta, reuso o disposición final separada del resto de los materiales.

Los sistemas para procesar hormigón pueden ser relativamente simples y con una elevada capacidad de producción. El diagrama que se presenta en la Figura VI.1 indica el flujo de materiales a través de un típico sistema de procesamiento de hormigón. Este ejemplo de proceso asume que cualquier tipo de barra de acero ha sido removida antes de que el material entre al sistema. Los residuos de hormigón son procesados para la recuperación de productos finos y gruesos, utilizando principalmente operaciones basadas en la trituración y el cernido. Los productos del proceso pueden ser utilizados en la construcción de caminos y como material de relleno.

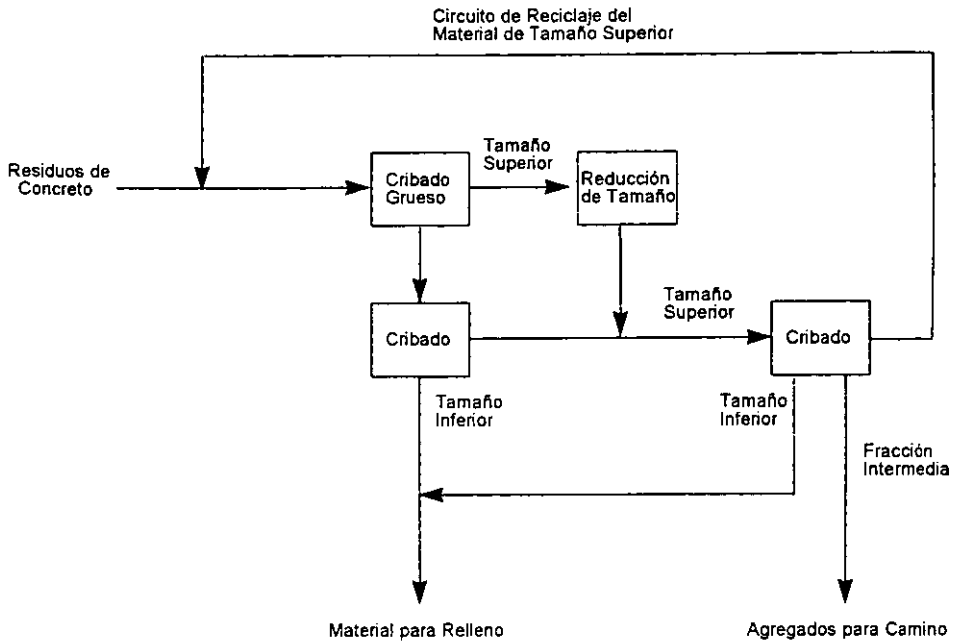


Figura VI.1. Sistema de Procesamiento de Concreto. Fuente: "El Manejo de Residuos de Construcción y Demolición" del Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

La incorporación de la separación basada en la densidad (tabla III.2, pag.34) dentro de los procesos mecanizados, constituye uno de los métodos para incrementar el rendimiento y la calidad del producto final; al mismo tiempo, la planta puede recibir residuos que tienen una gran concentración de residuos de sólidos de la construcción pero que están altamente contaminados. Un sistema diseñado para procesar residuos sólidos de la construcción contaminados se muestra en la Figura VI.2. La configuración del proceso está diseñada para recuperar varias clases de materiales incluyendo tierra, combustible sólido y compost. Las operaciones clave son la trituración, el cernido y la separación por flotación. La flotación se usa para concentrar la madera en el flujo de materiales, para su posterior uso como combustible o en cultivos.

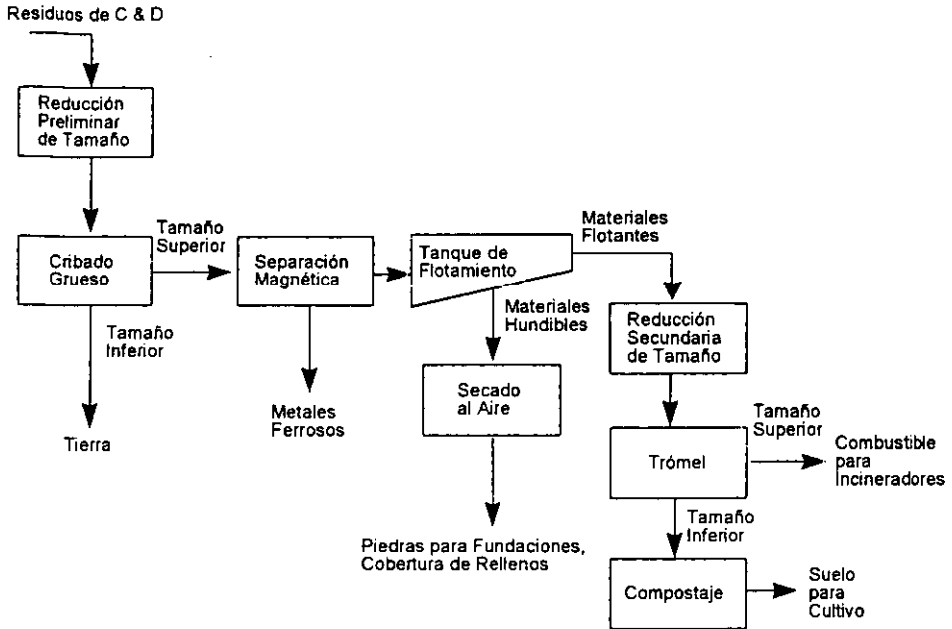


Figura VI.2. Sistema de Procesamiento de Residuos de Construcción y Demolición. Fuente: "El Manejo de Residuos de Construcción y Demolición" del Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

En los sistemas que se indican en las Figuras VI.1 y VI.2, el cernido grueso y las otras fases del cernido pueden ser efectuadas por un trómel, un cernidor de discos, un cernidor plano o de barras, dependiendo de las características de los residuos y las especificaciones deseadas para los materiales que se van a recuperar. Asimismo, varios tipos de equipo pueden ser utilizados para la trituración (ej., molinos de martillos) y la separación basada en la densidad (ej., clasificadores neumáticos), dependiendo de la aplicación específica.

Tabla VI.1. Equipamiento Típico para el Procesamiento de Residuos de Construcción y Demolición

Equipo para Reducción de Tamaño

Molino a martillo
Triturador hidráulico o neumático montado en pluma articulada
Impactadora
Triturador de cuchillas rotativas
Trituradores a rosca
Molino de ramas
Molino Tubular

Equipo para Cribado

Criba a disco
Cernidora de barras
Trómel (criba giratoria)
Criba vibratoria
Barra oscilante

Otros Equipos

Clasificador de aire, cuchilla de aire
Tanque flotador
Separador magnético
Transportadora a cinta o banda
Transportadora en bandejas de acero

Fuente: "El Manejo de Residuos de Construcción y Demolición" del Primer Simposium Internacional : La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

La selección de los equipos se realiza basándose en su durabilidad y capacidad, a los requisitos de operación y mantenimiento, a la habilidad para procesar mezclas de materiales que exhiben una gran gama de composiciones y al consumo de energía. Los equipos más comúnmente usados para procesar los residuos sólidos de la construcción están listados en la Tabla VI.1.

Las operaciones que reciclan o recuperan madera de los residuos sólidos de la construcción la convierten en combustible (por medio de trituración) o en insumo para

otros procesos. La madera recuperada de los residuos puede ser vendida como combustible para calderas que usan combustibles sólidos.

A continuación se presentan una serie de elementos que se pueden obtener de los procesos mencionados.

VI.1.1. Productos Granulares Inertes

Estos son algunos de los materiales de los cuales se pueden obtener productos reciclables:

- ✓ Concreto
- ✓ Bloques de concreto
- ✓ Escombros
- ✓ Asfalto
- ✓ Concreto reforzado
- ✓ Ladrillo
- ✓ Suelo y lodo
- ✓ Roca
- ✓ Vidrio
- ✓ Tablaroca

De este grupo de materiales, los productos reciclados obtenidos se pueden aplicar apropiadamente en:

- ✓ cubierta final de rellenos sanitarios;
- ✓ vías de acceso temporales a rellenos sanitarios;
- ✓ construcción en rellenos sanitarios (ej. carreteras);
- ✓ rehabilitación de terrenos;
- ✓ para el terraplén de caminos, aeropuertos, y diques portuarios;
- ✓ Subbase y capa base para los caminos, estacionamientos, accesos para autos y aeropuertos.

- ✓ para la cubierta y base del recubrimiento de los rellenos sanitarios;
- ✓ para las capas filtrantes en los rellenos sanitarios, drenajes, control de la erosión en suelos, estribos de puentes;
- ✓ estabilización de pendientes;
- ✓ concreto asfáltico;
- ✓ Subbase para las losas de edificios;
- ✓ control del drenaje de las construcciones; y
- ✓ caminos de entrada al emplazamiento de la obra.

Aplicando un procedimiento adecuado a los residuos sólidos de la construcción de la categoría productos granulares inertes, se pueden obtener productos reciclados apropiados para cada una de las aplicaciones antes mencionadas. Sin embargo, aunque el material recuperado puede ser de buena calidad, podría no cumplir las especificaciones existentes o los costos pueden ser muy altos y, por lo tanto, el producto puede no ser verdaderamente aprovechado. En países donde el reciclaje de los residuos sólidos de la construcción se práctica ya, ha sido necesario revisar las especificaciones más anticuadas para permitir que los materiales reciclados sean utilizados sin ningún problema. Es muy importante señalar que a menos que las especificaciones sean revisadas para permitir el uso de los productos reciclados (en comparación con los productos vírgenes), las personas responsables para aprobar los materiales en la obra pueden rechazar, si es necesario, el material reciclado que cumple con las especificaciones.

- Construcción de rellenos sanitarios y su funcionamiento

El material obtenido de los residuos sólidos de la construcción depositados en los rellenos sanitarios puede ser aprovechado para el desarrollo y mantenimiento de los caminos del mismo y para otras aplicaciones en los rellenos.

El material para recubrir el relleno sanitario debe ser de material fino (definido más bien como material de menos de 3/8 de pulgada, puede estar compuesto de roca machacada o concreto, de arena, de lodo, etc.). El material fino se obtiene a menudo de bancos de préstamo cercanos al sitio, o se compra con las fuentes proporcionadas por los contratistas. Los materiales finos se pueden utilizar para: (1) cubierta diaria, (2) cubierta final, (3) clasificación, (4) mantenimiento de las vías de acceso, y (5) lecho del recubrimiento.

Ya se utilizan en depósitos de residuos sólidos municipales recubrimientos plásticos muy innovadores de los cuales haremos mención más adelante. Es esencial que estos recubrimientos no sean perforados por los objetos filosos que mantienen por debajo o encima del recubrimiento; por lo tanto, la preparación cuidadosa de la base y del material de la cubierta es muy importante. La base debe estar limpia, fina, y las partículas de la arena generalmente deben ser de menos 0,1 pulgadas de diámetro. Las partículas no deben ser angulosas, escamosas, o alargadas. Afortunadamente, las partículas no aceptadas según lo descrito anteriormente, generalmente no están en el material fino obtenido de los residuos sólidos de la construcción.

Además del material fino, hay otras condiciones para los materiales utilizados en la construcción de rellenos sanitarios que el Ingeniero Civil emplea para el control de la erosión, como filtro, y material de drenaje. El material para filtro y drenaje debe ser generalmente resistente, limpio, arena bien graduada, grava, roca o la mezcla de los tres, debe de estar libre de arcillas y limos, sedimentos que se adhieran al recubrimiento, de material orgánico, y otras impurezas. Se deben efectuar pruebas con los productos reciclados de los residuos sólidos de la construcción, realizadas apropiadamente, para establecer si estos materiales pueden resolver las especificaciones físicas requeridas.

- Rehabilitación de terrenos

Los materiales para rehabilitación de terrenos deben proporcionar apoyo firme y estable, y la base debe estar bien drenada así el terreno podrá ser utilizado para cualquier tipo de construcción. Los materiales apropiados para la rehabilitación de terrenos que se pueden obtener de los residuos sólidos de la construcción son: (1) suelos finos y escombros de las construcciones; (2) piedra y concreto de hasta 9 pulgadas de tamaño, mezclado con tierra; y (3) piedras grandes y concreto, dependiendo del uso previsto.

El uso de materiales reciclados de los residuos sólidos de la construcción que no cumplan con las especificaciones pueden provocar la retención de humedad y el desarrollo de oquedades en el relleno. La humedad y los vacíos afectan desfavorablemente la capacidad carga del relleno. Cuando no está consolidado correctamente, las futuras cargas puede causar asentamientos y fallas en las estructuras. La medida máxima del material se especifica en parte para facilitar en el futuro la colocación de pilotes para la construcción de otras estructuras en las áreas de recuperación. Es posible que la medida máxima se podría aumentar en las áreas de recuperación en las que no se piloteará, por ejemplo las pistas de aterrizaje de los aeropuertos. El material no debe contener lodo, residuos municipales, madera, plástico, residuos industriales y químicos, y materia animal y vegetal.

El problema con la venta del material para la recuperación a los constructores es temporal. El material de relleno que se obtenga de los residuos sólidos de la construcción puede ser almacenado hasta que sea requerido, entonces podrá tener un valor de hasta \$10 dólares por tonelada. El valor real entonces dependería más en gran parte de la distancia del almacén al sitio, comparado con cualquiera de otras fuentes de suministro competentes.

- Relleno para terraplenes de caminos y aeropuertos

El material de relleno para los movimientos de tierras generalmente debe ser capaz de compactarse de manera uniforme para formar un terraplén estable. Sin embargo, el uso de residuos sólidos de la construcción reciclados como relleno no se permite en todas partes. Según la American Public Works Association (APWA), un material de relleno bien graduado, que tenga una distribución uniforme de los tamaños de sus partículas, se prefiere sobre el material en el que predomina un tamaño de las partículas. Una partícula con superficie dentada o semidentada se prefiere sobre una partícula plana. El material para el relleno del terraplén generalmente es un material fino, que no contiene ninguna roca o pedazo grande, aunque puede contener roca hasta en un 25%. Para la disposición adecuada y compactación adecuada del relleno de roca el material debe ser de tamaño conveniente y bien graduado y se puede obtener de residuos de rocas, piedra triturada, ladrillos resistentes, concreto y otros materiales resistentes comparables.

Para el contratista, el precio razonablemente bajo del material reciclado sería más conveniente que el costo de excavar y transportar el material de una cantera o banco, aunque no es posible valorar dicho material sin saber la distancia de la cantera al terraplén así como del depósito de los materiales reciclados al terraplén.

- Subbase y base de rodamiento

Los materiales para las subbases y la base de rodamiento se especifican en la ASTM D 1241-68 (Aprobada en 1979). Los agregados para las subbases pueden ser: a) Tipo 1, consta de roca o concreto triturado; o b) Tipo 2, consta de arena natural, roca triturada o concreto triturado. Las graduaciones requeridas se muestran en la tabla VI.2.

En referencia al concreto triturado, las especificaciones permiten utilizar al concreto procesado para los terraplenes en las subbases y en las bases de rodamiento,

previando que el material cumpla con las especificaciones de graduación y límites de plasticidad requeridos.

Tabla VI.2. Requisitos de graduación de la ASTM para los materiales de agrados de suelos

No. De la malla	Porcentaje en peso que pasa por la malla					
	Tipo I				Tipo II	
	Graduación A	Graduación B	Graduación C	Graduación D	Graduación E	Graduación F
2 in. (50-mm)	100	100	---	---	---	---
1 in. (25.0-mm)	--	75 a 95	100	100	100	100
3/8 in. (9.5-mm)	30 a 65	40 a 75	50 a 85	60 a 100	---	---
No. 4 (4.75-mm)	25 a 55	30 a 60	35 a 65	50 a 85	55 a 100	70 a 100
No. 10 (2.00-mm)	15 a 40	20 a 45	25 a 50	40 a 70	40 a 100	55 a 100
No. 40 (425-mm)	8 a 20	15 a 30	15 a 30	25 a 45	20 a 50	30 a 70
No. 200 (75-mm)	2 a 8	5 a 15	5 a 15	8 a 15	6 a 15	8 a 15

Fuente: 1981 libros anuales de los estándares de ASTM, parte 19, American Society for Testing and Materials, ASTM D 1241-68 (reaprovada en 1979).

Se podría producir material granular fino del procesamiento de los residuos sólidos de la construcción apropiado para esta aplicación, pero el proceso adicional para que cumpla con las especificaciones requeridas para las medidas incurrirá en costos adicionales. Tendría que asegurarse que los costos adicionales del proceso, más los costos de transporte, sean menores que el valor añadido por el proceso adicional. El valor comercial de dicho material dependerá de la fuente y de la demanda.

- Agregados diversos

Las aplicaciones más comunes de los agregados que se pueden obtener de los residuos sólidos de la construcción incluyen drenajes, la construcción de gaviones y diques.

Los drenajes son construidos mediante la excavación y llenado del foso obtenido con agregados u otro material previo. Las zanjas para los tubos de drenaje se rellenan generalmente con roca triturada limpia y dura, de residuos triturados, o un agregado de arena gruesa. El agregado usado se especifica de acuerdo a los requisitos locales, y tiene a menudo un tamaño de partícula de entre 1,5 y 2,5 pulgadas y límites en la cantidad total de finos que pasan por la malla No. 40 y No. 200. Normalmente los estándares en la plasticidad de los finos están en función del contenido en agua cuando el material comienza a fluir. Aunque la mayoría de los materiales especificados no incluyen al concreto triturado, el material que obtenga estos requisitos puede ser producido del procesamiento de los residuos sólidos de la construcción que no sea concreto, con el equipo adecuado.

- Concreto asfáltico

El asfalto o concreto asfáltico se utiliza para el revestimiento de caminos. Existen dos tipos de asfalto reciclado: mezcla fría y mezcla caliente. El reciclamiento de la mezcla fría se hace in-situ o en una planta central. El procedimiento básico consta de 5 etapas que son:

1. Remoción del pavimento y disminución de sus agregados;
2. Adición de asfalto nuevo o emulsión recicladora (producto químico para reducir la fragilidad) y mezclarlo;
3. Colocación y aireación;
4. Compactación y curado; y
5. Aplicación de la superficie de rodamiento.

La mezcla fría reciclada es generalmente aplicable a trabajos de gran volumen. El reciclaje del asfalto en caliente se hace en una planta central; Las etapas de aplicación de la mezcla son iguales a las mencionadas anteriormente. La planta de tratamiento y el tambor mezclador se pueden modificar para producir mezclas calientes recicladas. El viejo concreto asfáltico tiene la ventaja de ser parte significativa de los residuos sólidos de la construcción. Por esto cuando son procesados adecuadamente, puede servir como reserva para mezclas calientes o frías.

Para ambos métodos no hay una mezcla estándar, diseño o receta. Los manuales de la American Public Works Association (APWA) recomiendan tomar muestras en campo del asfalto que se reciclará realizándole un análisis de laboratorio para determinar el diseño de la mezcla basándose en los resultados obtenidos.

VI.1.2. Residuos de madera

Este subcapítulo considera los mercados potenciales para los productos reciclados de madera y árboles generados por los residuos sólidos de la construcción.

El porcentaje de estos elementos dentro de los residuos sólidos de la construcción en México no representa una cantidad considerable, como lo vimos en el capítulo II, pero vale la pena hacer mención de los usos que se le aplican principalmente en ciudades de los Estados Unidos donde gran parte de la construcción utiliza madera como principal material.

Generalmente, los residuos de madera en México se obtienen de los desperdicios de cimbras que cumplieron con su uso y de los desmontes en vías terrestres, sin embargo, su aprovechamiento se limita a venderla a los pepenadores o se comercializa como leña; en las ciudades de los EU, debido a que el porcentaje de estos residuos representa cerca del 30% del total generado por los residuos sólidos de la construcción, los residuos de la madera y los árboles son reciclados y aprovechados

grandemente, aunado a que los mercados y los permisos para el uso de los residuos de madera como combustible son bastante accesibles si se puede asegurar que los residuos proceden de fuentes relativamente "limpias" (sin contaminación) y las pocas cantidades de contaminantes existentes son separadas manualmente.

Los residuos de madera son triturados por medio de molinos de martillos o trituradoras. Luego, el material se transporta a un separador magnético, a una o dos fases de cernido y, de vez en cuando, a un sistema de separación basándose en su densidad. Procesos bastante similares se utilizan en la producción de compost o de materiales afines, a partir de los residuos de madera.

En una operación de desmonte y limpieza los residuos de árboles y madera pueden representar hasta un 100 % de los residuos totales en un proyecto de terracerías. La recuperación probable diaria utilizando los procesos de fragmentación, cribado, flotación/hundimiento y segregación manual; que se obtienen de los residuos de la madera, puede representar generalmente más del 90 %, debido a los métodos que facilitan la recuperación del material.

Los productos básicos que se pueden obtener de estos residuos son la celulosa, el aserrín o la viruta. El costo de producir aserrín es más alto que el costo de producir virutas debido a los procesos adicionales requeridos. El costo unitario de la producción de las virutas de madera aumenta al ir disminuyendo el tamaño de las partículas. El tamaño de los residuos de la madera obtenidos dependerá de su aplicación en el mercado. Sus aplicaciones pueden ser las siguientes:

- ✓ Supresor de hierba, mulching y acondicionador de suelo (abono).
- ✓ Relleno para sedimentos o lodos.
- ✓ Combustible para calderas.
- ✓ Usos en jardines.

- Aplicaciones en jardines

La principal aplicación de las virutas de madera en jardinería es como sustentación (mulch) para la retención de la humedad y supresor de hierba. Dependiendo de su estado, verde y sin descomposición, los residuos de madera no tienen ningún valor significativo como acondicionador de suelos, puesto que tienen alto contenido de carbono pero bajos en nitrógeno y fósforo. Utilizado como mulch las virutas de madera tienen mucho valor como agregado para la reducción de la erosión del suelo, sólo si los trozos de madera son relativamente grandes. Los pedazos más pequeños tienden a ser arrastrados por las fuertes precipitaciones pluviales en las pendientes escarpadas.

Las especificaciones requeridas para el mulch son: que sea material orgánico, tales como desperdicio de hojas, corteza de árboles, virutas de madera pequeñas y cenizas de carbón vegetal.

Sólo se debe tener cuidado que las virutas y la madera no se encuentren demasiado frescas ya que tienen un alto contenido de nitrógeno y pueden ser dañinas a las plantas.

- Relleno para sedimentos y suelos lodosos

Mientras los estándares de recolección y de tratamiento de aguas residuales sean más rigurosos el volumen de lodos residuales obtenidos de estas aumenta.

Las virutas de madera se pueden aplicar para solucionar este problema por las razones siguientes:

- ✓ Ajusta la relación de carbono/nitrógeno;
- ✓ Absorbe la humedad del lodo; y
- ✓ Mejora las características de aireación.

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

La cantidad apropiada del agente de relleno para lodos dependerá de las características del mismo y del contenido de agua del lodo. Para un lodo con un contenido del 20 % de sólidos, la relación apropiada de virutas de madera con el lodo estará entre 1:1 y 4:1 basándose en el volumen suelto. Las virutas de madera deberán aplicarse gradualmente, el número de aplicaciones dependerá de la medida de las virutas de madera. Generalmente, entre un 20 al 25 % de las virutas se consumen en cada aplicación.

Tabla VI.3. Mercados típicos del compost

Consumo	Uso potencial
Residencial	Jardines
Comercial	Invernaderos Vivero para plantas Campos de Golf Paisajistas Granjas de césped Cementerios Proveedores de tierra vegetal Agricultura
Agencias públicas	Parques públicos Campos de recreo Borde medio de caminos Instalaciones Militares
Recuperación de terrenos	Cubierta de terraplenes Terrenos urbanos abandonados Fosos de arena y grava (minas) Terrenos de desperdicios mineros

Fuente: Illinois Department of Energy and Natural Resources, 1989

El principal uso del compost vegetal es para el acondicionamiento del suelo; sin embargo hay algunas otras aplicaciones de alto valor. La tabla VI.3 muestra algunas aplicaciones del compost.

- Combustible para calderas

Como combustible alternativo las virutas de madera son muy recomendables por lo que se recomienda la destrucción térmica, de la cual se hace una diferencia, con respecto a la incineración como tal, ya que la primera se lleva a cabo con el fin de aprovechar la energía interna del residuo, el cual se utiliza como sustituto de un combustible primario. En este caso podríamos considerar que el residuo está siendo reusado ya que sufre una transformación dentro del proceso llamado de formulación de combustible alternativo, y no es simplemente destruido directamente como es en el caso de la incineración.

Las emisiones que desarrollan las virutas de madera son buenas, el valor calorífico de las virutas de madera es aproximadamente el 50 % de el valor que emite el carbón (es decir, aproximadamente 5,500 Btu/lb contra 11,000 Btu/lb). Por lo tanto, el valor teórico de este combustible debe ser 50% que del combustible a base de carbón en su valor calorífico. El precio actual en el mercado de los residuos de madera utilizados como combustible esta entre \$100.00 y \$350.00 por tonelada; sin embargo existen otros factores que afectan su precio, como combustible, que no tienen relación con su valor calorífico. Estos factores incluyen:

- ✓ Costos de transporte;
- ✓ Costos de almacenaje; y
- ✓ Costos de mantenimiento.

Aunque el precio fue comparado sólo con el del carbón, todo el combustible sólido, ya sea de la madera o de carbón, tiene que competir con el gas LP, con el gas natural y con el petróleo como otras fuentes de energía térmica. Los hornos o calderas que utilizan un tipo de combustible, como los anteriores, generalmente son inadecuados para que utilicen otro tipo de combustible.

VI.1.3 Residuos metálicos

Existen colectores especializados de los residuos de metal, incluso existen pequeñas empresas que se dedican a la compra venta de chatarra como: aluminio, fierro fundido, acero, etc. El precio de estos residuos varia de acuerdo al tipo y calidad del material, incluye factores como:

- ✓ El tipo de metal o aleación;
- ✓ El grado de contaminación con material no metálico;
- ✓ La mezcla de diferentes de tipos de metales o aleaciones por lote; y
- ✓ La forma física del desecho, esto por la facilidad de manejo y tratamiento.

VI.2 Disminución de residuos sólidos de la construcción en la fuente de producción

La disminución de residuos sólidos de la construcción en su fuente de producción está íntimamente asociada al sistema y a los materiales de construcción; ambos pueden ser contemplados por medio de normas que los regulen, de modo a evitar la generación de ese tipo de residuos.

La generación de residuos sólidos de la construcción puede disminuir a través del desarrollo de nuevas especificaciones técnicas que permitan el uso de materiales secundarios, siempre y cuando no se comprometa la seguridad ni la vida útil de la obra.

Uno de los factores más importantes que limitan el reuso o reciclaje de los residuos sólidos de la construcción constituye la importancia de que ciertos materiales tengan un rendimiento predecible (ej., el hormigón). Los ingenieros no pueden correr el riesgo de utilizar materiales de construcción que no se adecuan a las especificaciones mínimas requeridas para la seguridad de la obra.

Otra limitación importante es que los materiales no son uniformes. Esta situación es el resultado de que los materiales proceden de una mezcla de residuos de diferentes

fuentes, los cuales contienen diferentes materiales en varias proporciones. La falta de confiabilidad del suministro contribuye también al menor uso de materiales reciclados y, por lo tanto, conspira contra la reducción de la generación de residuos sólidos de la construcción.

VI.3 Disposición Final

La mejor manera para eliminar los residuos sólidos de la construcción sería el reciclar dichos materiales, sin embargo, esto no siempre es posible, ni en el caso de los concretos ni en el de las varillas de acero, que en múltiples casos se presentan unidos y es difícil y antieconómico lograr su separación. En el caso de aditivos, pinturas y asfaltos, el problema es mayor, ya que los productos químicos que forman a dichos productos, son más agresivos que los del concreto y el acero.

Para realizar la disposición final de los residuos de la construcción se necesitaría la creación de macro-celdas, a manera de los rellenos sanitarios comunes, y para ello se deberán realizar todos los estudios que un relleno sanitario necesita: topográficos, de clima, vientos, geohidrológico, geotécnico, socio-económico, planeación, operación y mantenimiento, etc.

A continuación se presenta la metodología a seguir, teniendo en cuenta las distintas etapas, para la construcción y disposición final de los depósitos de los residuos sólidos de la construcción.

VI.3.1 Estudio técnico

Los residuos sólidos de la construcción no dejan de ser un conjunto más o menos heterogéneo de materiales sueltos, por lo que el proyecto de un depósito de estos desechos tiene muchas similitudes con los que se desarrollan para terraplénos,

pedraplénos y presas de jales. En principio, entre los factores a tomar en cuenta en el diseño, coinciden:

- ✓ Volumen.
- ✓ Tipo de materiales.
- ✓ Topografía del lugar.
- ✓ Características geotécnicas del terreno.

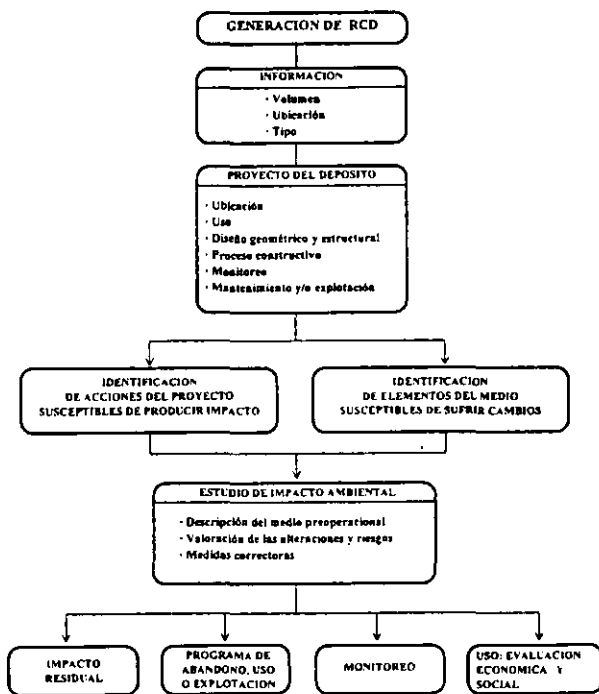


Fig VI.3. - Metodología a seguir para Proyectos de Depósitos de Residuos Sólidos de la Construcción. Fuente: "Impacto Ambiental y Control de la Erosión en Depósitos de Residuos Sólidos" del Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMGRESFAC 1996

Sin embargo a la hora de hacer el estudio de estabilidad, hay variables que juegan un papel distinto. Así por ejemplo:

- ✓ La altura del depósito no está definida en el proyecto de la obra de infraestructura, sino que es una de las variables a definir en el mismo.

- ✓ En general, existen siempre varias alternativas para ubicar la estructura.

- ✓ La variada tipología de los materiales puede obligar a la adición de suelos obtenidos de bancos o préstamos como en el caso de los depósitos de los productos procedentes de demoliciones o derrumbes de estructuras.

Consideración especial deben tener las situaciones en las que los depósitos para residuos sólidos de la construcción van a ser utilizados como plataformas para construir sobre ellos edificios o instalaciones y aquellos casos en los que transcurrido un tiempo, el material de desecho pasa a ser un recurso objeto de explotación, como puede ocurrir con rocas extraídas de túneles que pueden ser trituradas, obteniendo así arenas y gravas para la construcción de otras obras.

VI.3.2 Estudios geotécnicos para selección de sitios de disposición final.

La metodología para seleccionar un sitio de disposición final necesariamente inicia con el reconocimiento geológico detallado de los sitios factibles, orientado a interpretar sus características estratigráficas; los sitios más adecuados son aquellos en los que los suelos presenten baja deformabilidad y baja permeabilidad.

La ingeniería geotécnica queda involucrada una vez que el sitio se califica como admisible desde el punto de vista geológico, para hacer la exploración detallada de sus características estratigráficas y realizar mediciones de campo y laboratorio, básicamente de la deformabilidad y permeabilidad de los suelos del sitio.

La geotecnia debe intervenir en otros aspectos del problema como la identificación de bancos de materiales térreos para las capas de cobertura y en los estudios de la estabilidad tanto de los taludes de terreno natural como los de materiales de desecho.

VI.3.2.1 Marco geológico regional

En el caso particular del Valle de México los rellenos necesariamente se ubicarán sobre tobas o sobre los suelos arcillosos blandos del lago. En el primer caso la geotecnia está obligada a desarrollar técnicas confiables de exploración en tobas, problema hasta ahora soslayado en los estudios para la cimentación de estructuras; en el segundo caso, los hundimientos que se generarán en los suelos blandos deberán ser confiablemente evaluados.

A lo anterior debe agregarse la probable utilización de suelos naturales o mezclados con bentonita para formar la capa de interfase entre la superficie natural y el escombros así como su aplicación como material de cobertura temporal o definitiva.

VI.3.2.2 Exploración en tobas

VI.3.2.2.1 Perforación y muestreo

La exploración geotécnica en tobas es un tema pobremente desarrollado porque actualmente no se cuenta con técnicas confiables de muestreo; los intentos que se hacen con distintos muestreadores de suelos o con barriles muestreadores de rocas sólo conducen a resultados limitados.

Penetración estándar. La aplicación de esta técnica en tobas conduce a un excesivo número de golpes para penetrar los 45 cm especificados o bien a limitarse a una penetración mínima para evitar daños al muestreador; a la vez los resultados resultan inciertos por la escasa recuperación que frecuentemente se obtiene.

Perforación controlada en seco. La técnica de perforación controlada consiste en permitir que la máquina perforadora penetre el suelo sin que intervenga el operador, utilizando aire a presión como fluido de perforación; de esta forma el avance de manera automática es lento en las partes duras y rápido en las blandas; durante el avance se miden la velocidad de penetración, el par de rotación y la vibración que se desarrolla.

Existen pocos ejemplos de aplicación documentados, sin embargo se aprecia como la técnica de exploración para suelos duros con mayor posibilidad de éxito.

Perforación controlada en húmedo. Es una técnica similar a la anterior con la diferencia en el fluido de perforación, que es agua o lodo en lugar de aire; durante el avance se miden también los parámetros señalados. Este método tiene la limitante de que la clasificación de los detritus que arrastra se hace incierta debido a la alteración del suelo inducida por la presencia del agua o lodo, lo que obliga a incrementar el número de muestras, que seguramente acusarán alteración de sus condiciones de humedad natural.

Muestreo en húmedo. Utilizar barriles para roca o muestreadores Denisson en las tobas tiene el inconveniente de alterar los contenidos naturales de agua y modificar su estructura.

Muestreo continuo en seco. Las empresas proveedoras de equipo de perforación han desarrollado sistemas de muestreo con barriles muestreadores que se alojan en el interior de barras helicoidales y se operan con la técnica de "wire line" para colocar el barril en su posición y retirarlo en cada ciclo de avance de la perforación. Una gran dificultad a superar es la necesidad de equipos de gran potencia para la introducción del helicoidal sin agua o lodo.

Esta solución es muy compleja y costosa, pero su mayor restricción es que recupera muestras de muy baja calidad, por ello su aplicabilidad todavía es muy limitada.

VI.3.2.2.2 Medición de la permeabilidad

Los depósitos de tobas ubicadas en zonas de lomerío generalmente son secos con nivel freático muy profundo; por ello, para obtener resultados confiables, las pruebas de permeabilidad aplicables deben considerar una etapa de saturación de por lo menos 24

horas y la separación de las etapas de saturación y de flujo constante. En este caso la técnica desarrollada en la prueba Nasberg es la más recomendable.

VI.3.2.3 Exploración en suelos blandos

VI.3.2.3.1 Perforación y muestreo

Definición de la estratigrafía. En estos suelos sin duda el cono eléctrico hace un trabajo excelente, captando la presencia hasta de los pequeños lentes de arena o suelos duros, así como la variación de la resistencia con la profundidad.

Muestreo inalterado. El tubo de pared delgada es el adecuado para muestras inalteradas y en los suelos más blandos se requiere un muestreador de pistón; el tubo muestreador TGC con camisa interior de aluminio es aplicable en ambos casos, con la ventaja adicional de que el manejo y la extracción de muestra del tubo están resueltos con mayor finura y detalle.

VI.3.2.3.2 Medición de la permeabilidad y piezometría

Pruebas de campo. El nivel freático alto en estos suelos sugiere la conveniencia de hacer pruebas del tipo Lefranc de carga constante, aunque bien pueden complementarse con mediciones del abatimiento del nivel dentro de ademes metálicos a manera de mediciones en un permeámetro de carga variable.

Piezometría. El sitio deberá instrumentarse con piezómetros de tipo abierto en los lentes de mayor permeabilidad, para definir las condiciones piezométricas como parte de los estudios del hundimiento que podrá ocurrir por la sobrecarga que se aplicará a las arcillas.

Estos piezómetros deberán diseñarse además para aprovecharse en la obtención de muestras para análisis químicos que proporcionen las características iniciales del agua del subsuelo y su comportamiento con el tiempo. Debe evitarse la mezcla de agua de estratos de diferentes profundidades.

VI.3.2.4 Aspectos geotécnicos por desarrollar

Compactación de rellenos. Este discutido aspecto debe controlarse de manera más rigurosa, tal como se hace para la compactación de los terraplenes de materiales térreos en caminos y presas. Las ventajas de compactar mejor los escombros se tienen en la seguridad que se logra en la estabilidad de los taludes, en alargar la vida útil del sitio y reducir su permeabilidad.

Material de cobertura final. Este aspecto también genera preguntas geotécnicas, porque usualmente se resuelve con una cubierta de suelo compactado, pero su permeabilidad podría justificar la adopción de membranas industriales protegidas con una capa de suelo.

Asentamientos en los rellenos. Este aspecto debe ser cuidadosamente estudiado porque tiene numerosas implicaciones: la formación de hondonadas en la parte superior de los desechos, en las cuales se acumula el agua de lluvia y por ello se facilita su penetración; la penetración de los desechos por debajo del nivel freático y con ello la modificación de las condiciones de drenaje del agua pluvial y de los lixiviados.

Equipo para medición y monitoreo. En el diseño y fabricación de herramientas para la perforación y muestreo se ha alcanzado un alto grado de desarrollo, y prácticamente todo se fabrica en el país. Esto debe extenderse rápidamente a las herramientas que se requieren en los sitios de disposición final para evitar gastos excesivos por importación de equipo especializado y crear dependencia tecnológica del extranjero.

VI.4 Medidas correctivas y preventivas

La instalación de un depósito para residuos sólidos de la construcción en un lugar, trae consigo la aparición de tres efectos negativos en el medio, que por sí solos clasifican a esta acción como de impacto ambiental moderado a severo según los casos. Estos tres efectos son: 1) zonas de poca estabilidad, 2) desaparición de la capa edáfica de la superficie ocupada y 3) la aparición de superficies de terreno desnudas de gran erodibilidad.

En la construcción de depósitos de residuos sólidos de cualquier tipo, la interacción causa-efecto en el impacto ambiental generado es compleja, de modo que el efecto, es al mismo tiempo factor que causa a su vez otras alteraciones. Así ocurre con la erosión. Dicho fenómeno se desencadena de un modo inmediato a causa de la aridez de los taludes formados y como consecuencia se producen grandes cantidades de sedimento que provocan al mismo tiempo otros efectos negativos.

La protección contra la erosión es de tal importancia, que su práctica debe ser una norma de las medidas, tanto preventivas como correctivas a tomar desde el momento en que se termina la construcción del depósito, debiendo ser considerada dicha actividad desde el inicio del proyecto como parte del mismo.

Otra actividad importante que debe ser considerada desde la etapa del proyecto, es la que mitiga el efecto irreversible de la pérdida de suelo edáfico o con valor agrológico. Consiste en la recolección, acopio y tratamiento de dicho suelo cuando por razones de la construcción se encuentra en áreas que van a ser excavadas u ocupadas por terraplenes o depósitos para los residuos sólidos de la construcción. Es una medida en principio correctiva pero que a su vez forma parte de otra preventiva consistente en su utilización como capa de afinado y re-vegetación en las superficies de los taludes a proteger contra la erosión.

También se van a producir lixiviados, mismos que se debe evitar que lleguen a contaminar los acuíferos, por lo cual se le deberá de dotar al relleno con una geomembrana impermeable que le recubra el fondo y las paredes de las macroceldas.

Existen otras muchas e importantes medidas que deben ser tomadas en cuenta en el tipo de obra que nos ocupa, pero que su consideración detallada haría muy extensa esta presentación saliéndose por tanto de los alcances previstos.

VI.4.1 Control de la estabilidad

El crecimiento explosivo de nuestras ciudades ha implicado la utilización de depósitos de residuos sólidos, que actualmente ya se encuentran enclavados dentro de sus límites urbanos. El uso de estos suelos repercute en un aumento considerable de los costos de cimentación (en caso dado de que se desearan construir zonas habitacionales, tan necesarias en nuestro país), ya que ésta deberá ser profunda o rigidizada, ó implicará losas de cimentación o un tratamiento previo del subsuelo, si no que remover los antiguos depósitos de basura, escombros, cascajo, desechos, etc.

En muchos casos, aunque se decida el ocupar esa zona como jardines y áreas recreativas, estas tendrán problemas de estabilidad, por lo que también deberán de tratarse.

A continuación se presenta una serie de productos, denominados "Geosintéticos" de manera genérica, que pueden ayudar, con muchas ventajas de costo, comportamiento y facilidad de colocación, a la solución de los problemas anteriormente esbozados, sin importar que el destino del proyecto sea unidad habitacional o área recreativa.

Los materiales geosintéticos se desenvuelven en seis grandes funciones: separación, refuerzo, filtración drenaje, protección e impermeabilización. El uso de los geosintéticos ha tenido dos metas: hacer el trabajo mejor (esto es, sin que se

deterioreen excesivamente los materiales o sin que se filtre excesivamente el lixiviado) y hacerlo más económicamente (con un costo inicial y con una mayor duración, reduciendo además los costos de mantenimiento).

La familia de los geosintéticos está compuesta por: Geotextiles, Geomembranas, Georredes, Geomallas, Geocompuestos (Geodrenes), Geo-otros, que a continuación se describen de una manera muy breve:

Geotextiles. Estos forman el grupo más amplio dentro de los geosintéticos. Su crecimiento y aceptación ha sido muy grande en los últimos cinco años, y son textiles en el sentido tradicional de la palabra, pero fabricados de fibras sintéticas, en lugar de las tradicionales: algodón, lana o seda; con esto se evita la biodegradación, pues están hechos de fibras sintéticas, porosas, tejidas o no tejidas, punzonadas. El mayor punto es que al ser porosas permiten una fácil circulación de agua y aire a través, y a lo largo de si mismas, pero con diferentes permeabilidades.

Geomembranas. Forman el segundo grupo, en tamaño, de los geosintéticos. Su crecimiento va directamente ligado a las normas establecidas por la EPA, Enviromental Protección Agency, (Agencia de Protección al Medio Ambiente, USA), en relación con la protección al medio ambiente. Son materiales impermeables, muy delgados, en forma de sábanas, utilizados principalmente para cubrir instalaciones que contengan líquidos o sólidos. Algunas geomembranas se refuerzan o protegen con geotextiles, para protegerlos de los esfuerzos de tensión y punzonamiento.

En algunos casos de deslizamiento de geomembranas colocadas sobre pendientes importantes, estos fueron solucionados introduciéndoles una superficie rugosa o colocándolas sobre de una georred o sobre algún geotextil, que al mismo tiempo las protege del punzonamiento y las hace drenantes, además de permitir la salida de gases.

El mayor problema de las geomembranas se presentaba durante la colocación, ya que la mayoría de ellas, rígidas, deben de ser soldadas in-situ, sin embargo, ya existen algunas otras que pueden pegarse y sellarse por medio de cintas adhesivas que se colocan in-situ, u otras que pueden ser fabricadas a la medida, para llegar tan solo a colocarlas en el lugar, ya que llegan a cubrir hasta 4,000 m² en una sola pieza.

Georedes. Representan un pequeño, pero fuertemente creciente capítulo dentro de los geosintéticos. Están formadas por una red de plástico con aberturas muy grandes. Su función única es la de reforzar.

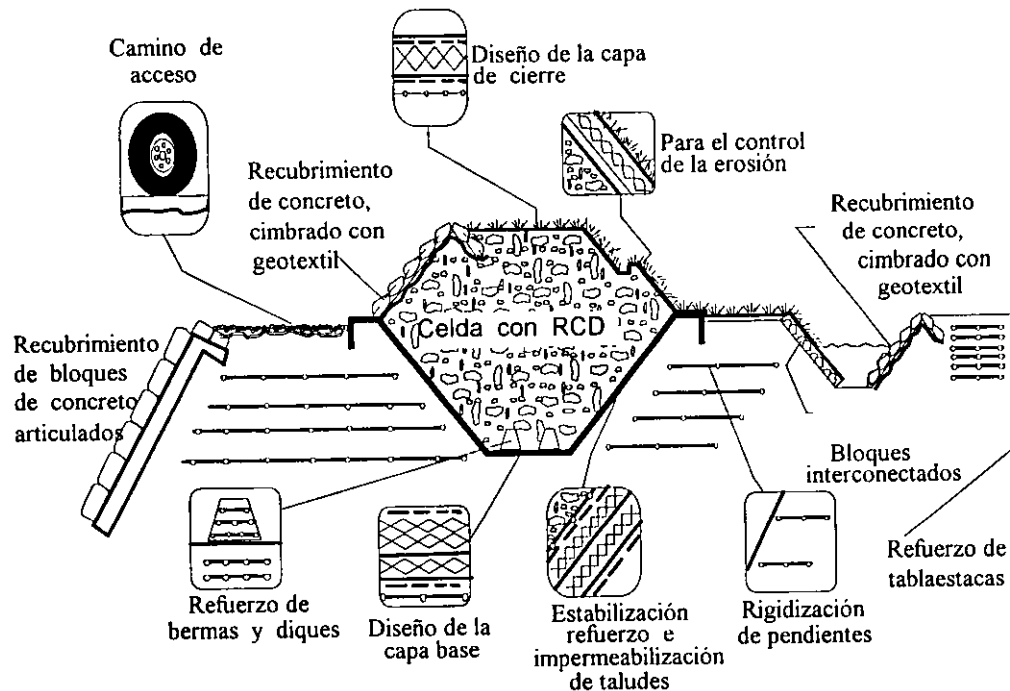
Geomallas. Constituyen otro capítulo especializado de los geosintéticos; están formadas por una extrusión continua de costillas de polímeros, con ángulos agudos, formando aberturas relativamente grandes, configurando una malla. Su función es la de drenaje.

Geocompuestos. Consisten en la combinación de dos o más geosintéticos. El más común de ellos está formado por los geodrenes: geotextil y geomalla ó geotextil-geomalla-geotextil. Dentro de esta familia, más recientemente han aparecido los geodrenes formados por un corazón de poliestireno o de PVC, que sirve como área drenante y un geotextil o dos, que sirven como filtros para la retención de sólidos y el corazón, que conduce los lixiviados.

Clay-liners. Con este nombre se conoce a una membrana formada por dos capas de geotextiles que encierran a una arcilla bentonítica, a manera de sandwich. Estos geocompuestos son muy útiles para los rellenos sanitarios. Su ventaja ante la bentonita o la arcilla natural se presenta sobre todo en su colocación, en donde se disminuyen los volúmenes de 50 a 60 cm a 0.5cm, además de ahorrarse el difícil proceso de su colocación y compactación, lo que redundaría en ahorro de tiempo y dinero.

Geo-otros. término Geo-otros podría describir, por sí mismo, su propia amplitud, pues abarca: anclas de polímeros, celdas para encapsulados de suelos, drenes verticales, geotubos, geomatrices, productos para el control de erosión, etc. Su principal función va relacionada con el tipo de geosintético de que está formada, y realiza una de las funciones primarias de los geosintéticos, mencionadas al principio.

FIG. VI.4 SOLUCIONES CON GEOSINTETICOS PARA LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN, RCD



- | | | | | | |
|-------|---------------------|--|---------------------|--|-----------------------------------|
| ----- | Geotextil no tejido | | Geodrén | | Geotextiles tejidos |
| ===== | Geomembrana | | Georred de refuerzo | | Geomatriz para control de erosión |

VI.4.2 Control de la erosión

Proteger contra la erosión las superficies de los taludes no naturales, es controlar y mitigar el impacto ambiental producido por los cortes excavados y por la ocupación de espacio de los terraplenes construidos como obra o como depósitos de residuos.

Los suelos y rocas son un recurso valioso que es forzoso conservar, por lo que el control de la erosión en taludes no naturales es en sí fundamental. Además de que puede ser necesario por alguna de las siguientes razones:

- ✓ Evitar costos de mantenimiento por retirar sedimentos y azolves.
- ✓ Regeneración de la capa edáfica.
- ✓ Evitar accidentes por graneos, caída de piedras, etc.
- ✓ Disminuir grado de saturación del talud, ya que la erosión incrementa la superficie expuesta.
- ✓ Incrementar el coeficiente de seguridad frente a posibles deslizamientos, pues la formación de gargantas y deslaves aumenta localmente la desestabilización local e integral del talud.

Los factores a tener en cuenta para cualquier estudio de control de la erosión en taludes de terraplenes y depósitos de residuos sólidos son los siguientes:

- ✓ Altura y pendiente del talud.
- ✓ Rugosidad de la superficie.
- ✓ Procedimiento empleado para la compactación.
- ✓ Erodibilidad de los materiales.
- ✓ Características geotécnicas de los materiales empleados.
- ✓ Tamaños mínimo y medio del material erodado.
- ✓ Generación de polvo.
- ✓ Presencia de agua.
- ✓ Clima.
- ✓ Erosividad de los agentes.

La consideración de tantas variables hace imposible que puedan existir productos de uso universal o recetas maravillosas que puedan ser aplicadas indiscriminadamente en todas las situaciones. La erosión es un proceso complejo y consecuentemente el control de la erosión no es simple, por tanto su solución sólo puede obtenerse con procedimientos detallada y adecuadamente estudiados.

Cunetas, drenes y lavaderos, son complementos indispensables para cualquier solución, que deben diseñarse para cada caso específico. Una concepción inadecuada de estos elementos puede arruinar el mejor sistema de control de la erosión.

A continuación se hace un relación analítica de los productos que se usan habitualmente para controlar la erosión en taludes de terraplenes y depósitos de residuos sólidos.

Concreto lanzado. No debe emplearse en la protección contra la erosión de taludes de depósitos de residuos sólidos. La gran diferencia de características geológicas entre el material (supuestamente) protector y el suelo permite que se desplacen uno respecto al otro, penetrando el agua en el contacto entre ambos. Así, la capa de concreto lanzado se va escurriendo hasta que se produce el colapso.

Gaviones. Excelentes muros de contención que solamente controlan la erosión del material que se encuentra hasta el nivel de su altura. Por encima del muro debe adaptarse otra solución. Si el muro no está en contacto con el talud y queda al pie del mismo, el gavión controla el sedimento pero no la erosión.

Georedes y Geoceldas. Combinadas con suelos, o materiales sueltos e hidrosiembra adecuadamente seleccionados dan muy buenos resultados. Sin embargo, utilizados como producto único, no protegen contra la erosión de finos, permitiendo formación de gargantas y dan lugar a un efecto visual negativo por su generalizado color negro.

Geotextiles. Se usan a veces para complementar la construcción de una gran variedad de muros y terraplenes que se han desarrollado tomando como base el funcionamiento de la tierra armada, pues además de tener una función estructural resistente, protegen el suelo confinado contra la erosión. Sin embargo, no deben utilizarse como capa protectora que se extiende sobre la superficie del talud, ya que el agua se mete bajo el lienzo y continúa produciendo la erosión.

Hidrosiembra. Consiste en lanzar mediante bombas, una mezcla de semillas (generalmente de pastos) con agua y otros aditivos líquidos que las fijan al terreno. Una vez germinadas y crecida la planta, las hojas protegen al suelo del impacto de la gota de lluvia y las raíces forman un entretejido que da una mayor cohesión a la capa superficial. Sin combinar con otros productos puede dar buenos resultados en taludes de suelos limo-arcillosos y arenas muy tendidos ($<15^\circ$) pero difícilmente es eficaz por sí sola para pendientes mayores.

Hidromulching. Es una hidrosiembra en la que la mezcla lleva en suspensión una base de sustentación (mulch) para la semilla. Los mulches más utilizados son de origen vegetal: fibra de madera, pulpa de papel, etc. Su aplicación idónea está en taludes con pendientes de hasta 30° , pero siempre combinado con pegantes u otras fibras vegetales para evitar el lavado o pérdida de la semilla. Existen mulches muy elaborados que funcionan en condiciones más difíciles de inclinación y características del terreno.

Láminas plásticas. Sólo deben utilizarse para protección momentánea o temporal a muy corto plazo, pero no dan resultado para control definitivo, pues el agua penetra entre la lámina y la superficie del talud, continuando la erosión.

Mantas vegetales. Están constituidas por una mezcla de fibras vegetales sujetas entre mallas plásticas o de otros materiales. Son eficaces y rápidas de colocar para taludes en suelos o rocas blandas de hasta 45° . Una vez extendidas y fijadas mediante grapas metálicas se le añaden semillas que al germinar e ir desarrollándose las raíces,

éstas crean múltiples lazos de unión que sujetan la manta en toda su superficie. Protegen contra la erosión desde el momento de su colocación. Su aplicación tiene positivos efectos de corrección y mitigación del impacto ambiental.

Pasto en rollo. Es una solución económica y eficaz para taludes en suelos cohesivos con pendientes de hasta 25° - 30°. La protección contra la erosión se inicia en el instante de su colocación. La regeneración del ecosistema es inmediata. Su aplicación tiene positivos efectos de corrección y mitigación del impacto ambiental.

Pegantes. Son líquidos más o menos viscosos que se proyectan en forma de lluvia o riego sobre el talud, impregnando los materiales superficiales, pegando entre sí las partículas de suelo y constituyendo una costra que una vez seca controla el polvo y la erosión de finos. Los hay de origen natural e inorgánicos. Su efecto es temporal pero son muy económicos. Si se requiere una solución definitiva, hay que aplicar periódicamente o mezclar con un mulch y semillas.

Dado que ningún producto puede ser aplicado para cualquier situación y que cada uno de ellos tiene sus limitaciones y campo de aplicación, la solución a los problemas de control de la erosión dependerá de la tipología y características geotécnicas del depósito de residuos sólidos de que se trate y la mayoría de las veces consistirá en la combinación de dos o más sistemas o productos bien seleccionados y aplicados con los procedimientos correctos.

La inclusión dentro del tratamiento adoptado, de algún sistema de revegetación, es la solución más adecuada para la mitigación del impacto ambiental.

Independientemente del método empleado, toda solución deberá complementarse con un sistema apropiado de drenaje cuando exista o pueda existir presencia de agua.

Los proyectos de obras de infraestructura o de cualquier otro tipo en los que hayan de ejecutarse excavaciones en superficies y/o subterráneos deben considerar el problema

de los depósitos de residuos sólidos y de demoliciones así como su mantenimiento, como una partida presupuestal más a tener en cuenta, con precios unitarios y volúmenes de obra definidos desde los primeros estudios.

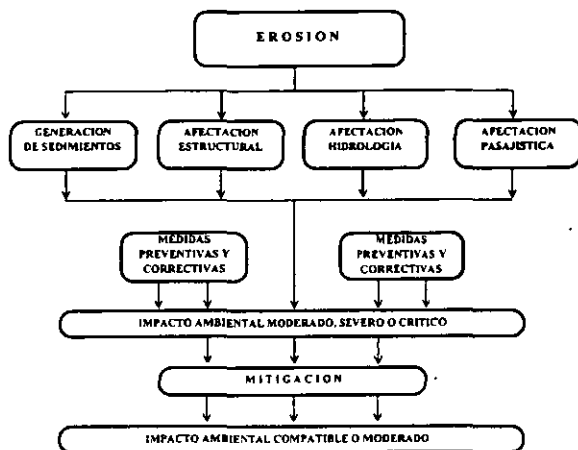


Fig. VI.5 Esquema de actuación sobre un factor de impacto negativo, la erosión. Fuente: "Impacto Ambiental y Control de la Erosión en Depósitos de Residuos Sólidos" del Primer Simposium Interdisciplinario: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996

CONCLUSIONES

Las opciones para disminuir la generación de los residuos sólidos de la construcción son variadas, pero debemos de tomar en cuenta que no todas se pueden aplicar en nuestro país, debemos de considerar las condiciones económicas y sociales del país.

La viabilidad técnica de las plantas de reciclaje de residuos sólidos de construcción y demolición ha sido ampliamente probada durante años en múltiples instalaciones en Europa. Los productos obtenidos pueden llegar a cumplir el estándar de calidad de gran parte de las aplicaciones finales, pero aquí en México, no se pueden adoptar soluciones de alta tecnología y alto costo, sin antes mejorar los sistemas de recolección que garanticen una total cobertura respecto a la generación de residuos sólidos de la construcción, así como la instalación de sitios de disposición final que, cumpliendo normas ecológicas garanticen la no contaminación y preservación del medio ambiente, de todos aquellos residuos que no pueden ser aprovechados en algún procesos intermedios.

También es importante se creen y se cumplan normas para todos los productos que se requieren en la industria de la construcción, pero que no sólo cumplan con los requerimientos actuales sino que se especifique que los productos pueden ser reutilizados sin ningún riesgo, y que cumplen con los requerimientos necesarios para la construcción en la que serán reutilizados.

En la medida que sea posible, se deben motivar a los constructores, mediante apoyos fiscales o de índole similar, al uso de procesos tecnológicos existentes en otros países que han demostrado su eficiencia, por ejemplo el uso de trituradoras in situ de cascajo. Es importante resaltar que antes de aplicar cualquier proceso, se debe adaptar a las condiciones específicas del país.

Se debe, al igual que en otros países, obligar al constructor a que se responsabilice por las condiciones estructurales de la obra que entrega, esto redundará en que el

constructor se preocupe por utilizar materiales que cumplan con todas las especificaciones técnicas necesarias.

La cultura de mantenimiento evita que se erosione la infraestructura por falta de conservación. Es más barato el mantener la infraestructura periódicamente, que realizar grandes inversiones cuando se encuentra semi-destruida. Así la obra será más continua y permitirá la planeación

Se recomienda se efectúen investigaciones científicas y técnicas relacionadas con el reciclaje de materiales, así como investigaciones en control de procesos en los que se evite el desperdicio. Además de crear una cultura a través de capacitación que muestre la importancia del reciclado, y más importante aun, el evitar el desperdicio.

Se debe estar consciente de la necesidad de iniciar todos los estudios e investigación necesaria, ya que actualmente en nuestro país se ha hecho poco por solucionar el problema de los residuos de construcción, normalmente van a parar a cualquier lugar en forma clandestina y sin control alguno. Por tal motivo, es importante tener medidas practicas para su reuso y aprovechamiento.

La viabilidad de las instalaciones de reciclaje depende de factores ajenos a ellas, como son una adecuada legislación en cuanto a derecho de vertido y obligatoriedad del reciclaje.

El tratamiento de los residuos generados en México, en la actualidad, supondría un costo muy superior a los costos de vertido actuales. A esto se une el hecho de la dificultad que se encontrará al comercializar los materiales reciclados. Por lo que hasta el momento en que el reciclaje de residuos de demolición y construcción no se vea favorecido por la legislación vigente o aumenten las tarifas de vertido no será viable ninguna actividad recicladora del tipo expuesto.

Dentro de la industria de construcción en México existe un desfase entre el tiempo de ejecución y el de planeación. Por ejemplo, la planeación sólo toma un 20% del tiempo de obra y el 80% del restante es en la ejecución, mientras que en Estados Unidos los porcentajes son inversos, 20% ejecución y 80% planeación. Al tener una mayor planeación dentro de las obras se puede ahorrar materiales y evitar el desperdicio. Además, implementar mayores controles dentro de la ejecución de la obra.

Es recomendable que se empleen materiales a la medida de tipo prefabricado, que aunque ya se utilizan, todavía se generan desperdicios.

Un aspecto fundamental a tener en cuenta en la recuperación y reciclado de residuos de demolición, es el hecho de que convergen intereses económicos y medioambientales en el mismo punto. El reto para el futuro es, por tanto, conseguir compatibilizar el desarrollo económico de la humanidad con la preservación del medio ambiente que la sustenta; esto es lo que se conoce como *crecimiento sostenible*. Por esta razón son importantes todas las actividades recuperadoras y recicladoras.

BIBLIOGRAFÍA

Primer Simposium Internacional: La Construcción y el Manejo de Residuos Sólidos, AMCRESPAC 1996.

- El manejo de residuos de construcción y demolición.
Luis F. Díaz, G.M. Savage y J.M. Ortelano
- Los residuos sólidos en la industria de la construcción.
Gustavo Solorzano Ochoa
- Manejo de residuos peligrosos en México.
Roberto Herrera Ritte
- Impacto ambiental de la disposición final de los residuos sólidos de la construcción.
Manuel Murad Robles
- Mecánica de suelos en sitios de disposición final de escombros.
Enrique Santoyo Villa
- Manejo y tratamiento de los residuos de la construcción.
Fidel Cortes Carballar y Moisés Domínguez Bonilla
- La generación de residuos de la construcción en el Distrito Federal.
Lic. Rosalba Cruz Jiménez, Ing. Felipe López Sánchez, Arq. Augusto Valenzuela López.
- Construction Waste and Demolition Debris Recycling... A Primer.
Submitted in support of Christopher M. Voell's comments to the Symposium on
Construction and Waste Management, Mexico City, February 9-10, 1996
- **Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición**
<http://www.devoconsa.es/recicla.htm#6>
- **Procuraduría Federal de Protección al Ambiente**
<http://www.profepa.qob.mx>