



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL

*ANÁLISIS DE IMPACTO AMBIENTAL POR LA
INADECUADA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE
LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN EN EL
VALLE DE MÉXICO Y PROPUESTAS DE
SOLUCIÓN*

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

P R E S E N T A:
ING. CLAUDIA JOSEFINA RIVERA MERA

TUTOR:
M. C. CONSTANTINO GUTIÉRREZ PALACIOS



CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2007

AGRADECIMIENTOS

- ❧ *A mi familia, que con su apoyo incondicional me brindó siempre las palabras de aliento y el soporte que necesitaba para seguir adelante, especialmente a mis padres porque con su ejemplo trato de superarme día a día como ser humano y como profesionista.*
- ❧ *A mi hijo Allan Jesús ya que ha sido el motor que me impulsa, quien da sentido a mi vida y a quien dedico todos mis logros.*
- ❧ *A Erik, mi compañero y esposo, por su amorosa comprensión e inagotable paciencia en los tiempos difíciles.*
- ❧ *A la UNAM, por la formación académica recibida que me servirá para desarrollarme profesionalmente.*
- ❧ *A CONACyT, por el apoyo económico otorgado y que contribuyó en buena medida a que ésta meta se cumpliera.*
- ❧ *A mi tutor, M.C. Constantino Gutiérrez Palacios, por estar siempre al pendiente y brindarme su apoyo y amistad.*
- ❧ *A todos mis profesores por sus valiosas enseñanzas, especialmente a la Dra. Georgina Fernández Villagómez y a la M. I. Francisca Irene Soler Anguiano, por su apoyo desinteresado.*
- ❧ *A mi comité tutorial y sinodales, M. C. Carlos Javier Mendoza Escobedo, M. C. María Antonieta Gómez Balandra, M. I. Enrique César Valdéz y M. I. Jorge Sánchez Gómez, por compartir sus conocimientos y por el seguimiento dado a mi tesis.*
- ❧ *A la empresa GEOVISA, por el gran apoyo brindado en la realización de la etapa experimental; especialmente a: Ing. Enrique Lara Manríquez, Ing. Roberto Anzaldúa Quintana, Ing. Carmen Cabrera Pioquinto, Valentín Alvarado Núñez, Elvia García Luna, Guillermo Jiménez, Ezequiel Rodríguez Rodríguez, Rafael Esquivel Martínez a Tomás Arroyo González.*
- ❧ *A la empresa Concretos Reciclados S.A. de C.V., por las facilidades otorgadas para la realización de los muestreos, especialmente al Ing. Arturo Valdés Covarrubias y al Ing. Enrique Granell Covarrubias.*
- ❧ *A mis amigos y amigas que siempre me han apoyado y a aquellos que tuve el gusto de conocer durante la maestría en México y Alemania.*

INTEGRACIÓN DE JURADO PARA EXAMEN DE GRADO DE MAESTRO

JURADO ASIGNADO

Presidente: M. C. Carlos Javier Mendoza Escobedo

Secretario: M. C. María Antonieta Gómez Balandra

Vocal: M. C. Constantino Gutiérrez Palacios

1^{er} suplente: M. I. Enrique César Valdéz

2^{do} suplente: M. I. Jorge Sánchez Gómez

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
RESUMEN / ABSTRACT	
1. INTRODUCCIÓN	2
1.1 Problemática	4
1.2 Justificación	6
1.3 Hipótesis	6
1.4 Objetivos	6
1.5 Alcances y limitaciones	7
2. ANTECEDENTES	
2.1 Etapas del Manejo Integral de los Residuos de la Construcción y Demolición (Residuos C&D)	10
2.2 Experiencias en el Reciclaje de Residuos C&D	
2.2.1 Experiencias Internacionales	12
2.2.2 Experiencias Nacionales	40
2.3 Marco Jurídico	
• Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente	49
• Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)	49
• Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal	50
• Proyecto de Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (RLGPGIR)	51
• Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo, para el D.F.	52
• Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004	54
• Reglamento de Construcciones del D.F.	55
2.4 Comentarios	56
3. IMPACTO AMBIENTAL	
3.1 Ciclo de vida de los residuos de la construcción y demolición	60

3.1.1 Impactos Ambientales Negativos que provocan los materiales de construcción en cada etapa de su ciclo de vida	61
• Extracción	64
• Transformación	65
• Construcción	66
• Demolición, Restauración y Mantenimiento	70
• Disposición Final	73
3.2 Revisión de Manifestaciones de Impacto Ambiental	76
3.3 Identificación de Impactos Ambientales en sitios de disposición inadecuada	
3.3.1 Clasificación de los Residuos C&D	79
3.3.2 Metodología	85
• Sitio: Avenida Bordo Xochiaca	90
• Sitio: Avenida Toluca, Santa Catarina.	100
• Sitio: Carretera Libre a Toluca	108
4. PRUEBAS FÍSICAS EN AGREGADOS RECICLADOS	
4.1 Conceptos básicos	120
4.2 Descripción del experimento	125
4.3 Metodología	
4.3.1 Tipo de obra a elegir	127
4.3.2 Parámetros de calidad	130
4.4 Etapas experimentales	
4.4.1 Primera Etapa	132
4.4.2 Segunda Etapa	158
5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	
5.1 Parámetros de calidad de los materiales	167
5.2 Resultados Primera Etapa	169
5.3 Resultados Segunda Etapa	191
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
A. Conclusiones	
6.1 Experiencias internacionales	207
6.2 Experiencias nacionales	208

6.3 Impacto Ambiental	209
6.4 Trabajo Experimental	211
B. Recomendaciones	211
ANEXOS	215
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	221

NDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Legislación alemana en materia de uso de los residuos C&D en la construcción de caminos
Tabla 2.2	Tipos de generadores de R.P. según la RCRA.
Tabla 2.3	Composición de RESIDUOS C&D. Porcentajes estimados por tipo de material. EPA.
Tabla 2.4	Consumo de agregados en el año 2001 en España
Tabla 2.5	Niveles de Producción de RESIDUOS C&Ds según diversas fuentes.
Tabla 2.6	Residuos admitidos para tratamiento
Tabla 2.7	Aplicaciones de los agregados reciclados
Tabla 2.8	Porcentajes de reciclaje, vertido e incineración en países miembros de la CEE.
Tabla 2.9	Porcentajes de reciclaje de RESIDUOS C&D en países miembros de la CEE.
Tabla 2.10	Legislación aplicable en materia de RESIDUOS C&D en la CCE
Tabla 2.11	Catálogo Europeo de Residuos, División de Residuos C&D.
Tabla 2.12	Corrientes de residuos peligrosos dentro de los residuos C&D, CER.
Tabla 2.13	Impuestos al vertido de RESIDUOS C&D en los Estados miembros de la Unión Europea.
Tabla 2.14	Categoría y requerimientos ambientales de los generadores de RC&D
Tabla 3.1	Obras de ingeniería y residuos generados por las mismas

Tabla 3.2	Impactos Ambientales en el ciclo de vida de los materiales de construcción
Tabla 3.3	Manifestaciones de Impacto Ambiental
Tabla 3.4	Clasificación de los RC&D para su manejo y aprovechamiento
Tabla 3.5	Materiales de construcción contaminantes
Tabla 3.6	Propiedades de agregados reciclados. Límites permisibles
Tabla 3.7	Lista de Verificación de Impactos ambientales
Tabla 3.8	Criterios de evaluación de los impactos ambientales
Tabla 3.9	Ubicación y volumen de residuos observados
Tabla 3.10	Identificación de los posibles impactos
Tabla 3.11	Matriz de Ponderación de impactos, Santa Catarina
Tabla 3.12	Matriz de Ponderación. Barranca, Naucalpan
Tabla 4.1	Clasificación de Carreteras, SCT/ IMT
Tabla 4.2	Niveles de servicio de las carreteras a nivel nacional, SCT.
Tabla 4.3	Normatividad Aplicada
Tabla 4.4	Valores de calidad para material de sub-base y revestimiento
Tabla 4.5	Cantidad de material necesaria para la prueba de humedad
Tabla 4.6	Juego de mallas para análisis granulométrico
Tabla 4.7	Características de las variantes de la prueba AASHTO
Tabla 4.8	Tabla de penetraciones
Tabla 4.9	Mezcla 1A
Tabla 4.10	Mezcla 1B
Tabla 4.11	Mezcla 2A
Tabla 4.12	Mezcla 2B

Tabla 4.13	Mezcla 3
Tabla 4.14	Mezcla 4
Tabla 5.1	Valores de calidad para material de subbase y revestimiento
Tabla 5.2	Valores obtenidos en la prueba de humedad. Muestreo 2
Tabla 5.3	Clasificación SUCS del material fino. Muestreo 1
Tabla 5.4	Clasificación SUCS del material fino. Muestreo 2
Tabla 5.5	Resultados de Pruebas Índice y de Calidad. Muestreo 1
Tabla 5.6	Resultados de Pruebas Índice y de Calidad. Muestreo 2
Tabla 5.7	Resultados de pruebas para pavimentos. Muestreo 1
Tabla 5.8	Resultados de pruebas para pavimentos. Muestreo 2
Tabla 5.9	Tabla comparativa de resultados vs Normatividad IMT. Muestreo 1
Tabla 5.10	Tabla comparativa de resultados vs Normatividad IMT. Muestreo 2
Tabla 5.11	Contenido de agua de los agregados reciclados
Tabla 5.12	Clasificación SUCS del material fino. Mezclas
Tabla 5.13	Tabla comparativa de resultados vs Normatividad IMT. Segunda Etapa

NDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Ciclo de vida de los materiales de construcción
Figura 1.2	Residuos de la construcción y demolición dispuestos sobre la vía pública
Figura 2.1	Propuesta para el reciclaje de concreto en Alemania
Figura 2.2	Composición de los RS en los años 80', E.U.A.
Figura 2.3	Volumen de producción de RESIDUOS C&D en países de la CCE.
Figura 2.4	Composición física de los RESIDUOS C&D en España
Figura 2.5	Planta de Tratamiento y valorización de RESIDUOS C&D. Esquema de Proceso
Figura 2.6	Composición física de los RESIDUOS C&D en México
Figura 2.7	Ubicación de la planta "Concretos Reciclados".
Figura 2.8	Acceso a la Planta
Figura 2.9	Riego del material almacenado
Figura 2.10	Alimentación del proceso por medios mecánicos
Figura 2.11	Cono de trituración
Figura 2.12	Bandas transportadoras
Figura 2.13	Producto final
Figura 2.14	Diagrama de flujo del proceso
Figura 3.1	Ciclo de Vida de los materiales de Construcción
Figura 3.2	Extracción de material en banco

Figura 3.3	Construcción de la presa “El Cajón” en Nayarit.
Figura 3.4	Escurrimiento de residuos líquidos
Figura 3.5	Construcción de Edificios
Figura 3.6	Construcción del 2º piso del periférico, D.F.
Figura 3.7	Remodelación a pequeña escala
Figura 3.8	Trabajos de demolición
Figura 3.9	Obras de mantenimiento
Figura 3.10	Disposición de residuos C&D y urbanos en la vía pública
Figura 3.11	Disposición de residuos C&D en barranca.
Figura 3.12	Disposición de residuos C&D en lotes baldíos
Figura 3.13	Disposición de Residuos C&D en el Distrito de Riego de Xochimilco
Figura 3.14	Agregados reciclados. Fuente: Baustoff-Recycling, 2006.
Figura 3.15	Municipio de Nezahualcóyotl
Figura 3.16	Avenida Bordo Xochiaca
Figura 3.17	Ubicación de los sitios de disposición inadecuada
Figura 3.18	Cárcamo de Bombeo
Figura 3.19	Cárcamo de bombeo, Calle Virgen de los Remedios
Figura 3.20	Calle Virgen Rosa de Lima
Figura 3.21	Calle Crisantemo
Figura 3.22	Frente a campos de fútbol, calle 25
Figura 3.23	Campos de fútbol, Calle 25
Figura 3.24	Calle Gladiola
Figura 3.25	Calle Pensamiento

Figura 3.26	Salida del Relleno Sanitario Bordo Poniente
Figura 3.27	Calle Nardo
Figura 3.28	Salida del Relleno Sanitario, Av. Bordo Xochiaca
Figura 3.29	Pepenador
Figura 3.30	Canchas de básquetbol usadas para viviendas de pepenadores
Figura 3.31	Tiradero clandestino. Santa Catarina, Del. Tláhuac
Figura 3.32	Disposición de Residuos C&D con trailer
Figura 3.33	Niños que recolectaron varillas y madera de entre los RC&D
Figura 3.34	Hombre recolectando madera, al fondo la Escuela Secundaria Oficial N° 974
Figura 3.35	Asentamientos irregulares
Figura 3.36	Disposición inadecuada de RC&D en Santa Catarina.
Figura 3.37	Carretera libre a Toluca, Barranca
Figura 3.38	Vertido de residuos C&D en barranca, vista en 3D
Figura 3.39	Disposición de residuos C&D en barranca
Figura 3.40	Habitante entrevistado
Figura 3.41	Carretera libre a Toluca km.9
Figura 3.42	Asentamiento humano irregular
Figura 3.43	Disposición de residuos C&D, urbanos y peligrosos
Figura 4.1	Estructura típica de un pavimento flexible
Figura 4.2	Estructura típica de un pavimento rígido
Figura 4.3	Metodología para el desarrollo del trabajo experimental
Figura 4.4	Zonas granulométricas recomendables

Figura 4.5	Muestreo 1
Figura 4.6	Cuarteo del material reciclado
Figura 4.7	Muestras obtenidas en planta
Figura 4.8	Cuarteo de material en el laboratorio
Figura 4.9	Muestras representativas
Figura 4.10	Muestreo 2
Figura 4.11	Cuarteo de material
Figura 4.12	Identificación de las muestras
Figura 4.13	Cuarteo de muestras representativas
Figura 4.14	Toma de muestras
Figura 4.15	Secado de material en el horno
Figura 4.16	Clasificación del material
Figura 4.17	Lavado de material que pasa la malla 4
Figura 4.18	Copa de Casagrande
Figura 4.19	Cápsulas de aluminio
Figura 4.20	Gravas de la muestra de 3" a finos
Figura 4.21	Pesaje de gravas
Figura 4.22	Determinación del peso seco suelto
Figura 4.23	Llenado del molde de volumen conocido
Figura 4.24	Compactación de espécimen
Figura 4.25	Preparación de las muestras
Figura 4.26	Vertido de solución en probetas con material
Figura 4.27	Lectura de arena

Figura 4.28	Engrasado de moldes
Figura 4.29	Colocación de permeámetros
Figura 4.30	Muestra saturada
Figura 4.31	Preparación del material
Figura 4.32	Compactación
Figura 4.33	Enrasado
Figura 4.34	Colocación del molde en la prensa
Figura 4.35	Aplicación de carga en el espécimen
Figura 4.36	Toma de lecturas
Figura 4.37	Material almacenado
Figura 4.38	Identificación de las muestras
Figura 4.39	Secado de muestras en el horno
Figura 4.40	Toma de sub-muestras
Figura 4.30	Cuarteo de material y fabricación de muestras
Gráfica 5.1	Zonas granulométricas recomendables
Gráfica 5.2	Contenido de agua muestreo 1
Gráfica 5.3	Contenido de agua muestreo 2
Gráfica 5.4	Granulometría de agregados. Muestreo 1
Gráfica 5.5	Curvas granulométricas. Muestreo 2
Gráfica 5.6	Carta de plasticidad. Muestreo 1
Gráfica 5.7	Carta de plasticidad. Muestreo 2
Gráfica 5.8	Peso Volumétrico Seco Suelto. Muestreo 1
Gráfica 5.9	Peso Volumétrico Seco Suelto. Muestreo 2

Gráfica 5.10	Equivalente de arena. Muestreo 1
Gráfica 5.11	Equivalente de arena. Muestreo 2
Gráfica 5.12	Resultados de ensayos de compactación y VRS modificado al 95% Muestreos 1 y 2. Material 3" a finos
Gráfica 5.13	Resultados de ensayos de compactación y VRS modificado al 95%. Muestreos 1 y 2. Material Base controlada
Gráfica 5.14	Resultados de ensayos de compactación y VRS modificado al 95%. Muestreos 1 y 2. Material ½" a finos
Gráfica 5.15	Contenido de agua de materiales antes de las mezclas
Gráfica 5.16	Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 1 y curvas teóricas
Gráfica 5.17	Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 2 y curvas teóricas
Gráfica 5.18	Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 3 y curvas teóricas.
Gráfica 5.19	Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 4 y curvas teóricas.
Gráfica 5.20	Granulometría de mezclas
Gráfica 5.21	Carta de plasticidad. Mezclas con agregados reciclados
Gráfica 5.22	Equivalente de arena en mezclas.
Gráfica 5.23	Curvas de compactación AASHTO Estándar. Mezclas
Gráfica 5.24	Curvas de compactación AASHTO Modificada. Mezclas
Gráfica 5.25	Resultados prueba CBR

R ESUMEN

En la actualidad, uno de los mayores problemas ambientales que enfrenta la Ciudad de México es la cantidad de residuos sólidos generados por su población. De estos destacan los Residuos de la Construcción y Demolición (RC&D), los cuales hasta el momento carecen de una gestión adecuada que promueva su reuso o reciclaje y cuya generación asciende a las 3,000 ton/día (JICA, 1999).

La creciente demanda de vivienda, las necesidades de infraestructura y la falta de gestión ambiental, son factores determinantes en la disposición inadecuada de los Residuos de la Construcción y Demolición (RC&D), lo que provoca impactos al ambiente.

La norma ambiental NADF-007-RNAT-2004, que entró en vigor en julio de 2006 tiene como objetivo establecer la clasificación y especificaciones de manejo de los residuos de la construcción en el territorio del Distrito Federal y establece que deberán sustituirse por lo menos un 25% de materiales vírgenes por materiales reciclados en la construcción de diferentes obras, salvo que se compruebe mediante estudios técnicos un porcentaje diferente; con lo cual dicha Norma Ambiental pretende contribuir al aprovechamiento de los RC&D y reducción de los problemas ambientales derivados de su inadecuada disposición.

Dado que actualmente no existen estudios que determinen los impactos ambientales producidos por la inadecuada disposición de los RC&D o que estudien su aplicación como agregados reciclados, y con el fin de contribuir a la aplicación de la Norma, en este trabajo se llevó a cabo la identificación de impactos ambientales en cinco sitios dentro del Valle de México.

Posteriormente como propuesta de solución a los impactos ambientales identificados se estudió la posibilidad de recomendar los agregados reciclados en la construcción de sub-bases de caminos secundarios usando como base la normatividad establecida por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) para este tipo de obras. Para lograr lo anterior, se llevó a cabo el trabajo experimental en dos etapas, a lo largo de las cuales se realizaron cuatro muestreos de materiales reciclados con diferentes curvas granulométricas provenientes de la planta “Concretos Reciclados S.A. de C.V.”.

Con el material muestreado mediante el “Método de Cuarteo” se realizaron pruebas físicas en el Laboratorio de la empresa GEOVISA S.A. de C.V. para determinar la viabilidad técnica del uso de los agregados reciclados en sub-bases de caminos.

En la primera etapa experimental, las pruebas se realizaron en cada tipo de material dependiendo de la curva granulométrica a la que pertenecían, con lo que se obtuvieron resultados importantes que condujeron a la realización de la segunda etapa experimental

En la segunda etapa experimental donde se realizaron los últimos dos muestreos, y a través de un primer análisis granulométrico se determinaron las curvas granulométricas teóricas que ayudarían a la realización de mezclas entre los agregados reciclados, con el fin de mejorar sus propiedades físicas.

Finalmente, mediante la comparación de los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio con la normatividad correspondiente es posible recomendar el uso de los materiales reciclados en la construcción de sub-bases de caminos secundarios, ya que cumplen con las especificaciones para el control de calidad de los materiales que marca el IMT.

ABSTRACT

One of the most serious environmental problems in Mexico City nowadays is the amount of solid wastes generated by its population. An important percentage of them are represented by Construction and Demolition (C&D) debries. Unfortunately, in Mexico there is a lack of management, since there is no Federal Legislation that establishes the re-use or recycling processes.

The increasing infrastructure necessities, the housing demand and moreover the lack of environmental policies are critical factors in the inappropriate disposal of C&D debries. Thus, Environmental impacts appear.

The NADF-007-RNAT-2004 is the first regulation in our country concerning C&D debries management; standing since July 2006, this standard establishes the classification and specifications that generators most follow in order to encourage the waste construction handling. This regulation bears out the substitution of 25% of virgin materials by recycled aggregates in construction, unless other percentage has been proven through scientific studies.

The purpose of this thesis is to present a broad perspective about the identified environmental impacts caused by the inaccurate disposal of C&D debries on different sites and to recommend the potential use of recycled aggregates in road construction as a mitigation step, rather than describe specific procedures for evaluating environmental impacts.

After identifying the environmental impacts, the recommendation of using recycled materials in road construction as a mitigation step was studied in two experimental parts. Based on Mexican Transport Institute regulations, recycled aggregates were subjected to physical quality tests, as it is established in the N CTR CAR-1-04-002/03 manual.

At the end of the experimental work it is possible to recommend the recycled materials on sub-bases and furthermore on different constructions such as embankments, sidewalks, bicycle roads, pipes bases, covering and filters construction.

Key Words: Environmental Impact, Construction and Demolition (C&D) debries, Recycling, NADF-007-RNAT-2004.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La industria de la construcción es un elemento fundamental en la economía de nuestro país. En ella convergen treinta y siete de las setenta y tres ramas productivas y genera alrededor del cinco por ciento del Producto Interno Bruto. (CIMC, 2006). Sin embargo, también utiliza una gran cantidad de recursos naturales y al mismo tiempo es un gran generador de residuos debido a los procesos de construcción, demolición y remodelación.

Dentro del ciclo de vida de los materiales de construcción, se generan numerosos impactos negativos al ambiente como la emisión de polvos a la atmósfera durante las etapas de extracción y transformación, la generación de residuos sólidos y líquidos en las etapas de construcción, uso y demolición, por mencionar sólo algunos. Sin embargo, la disposición final es una etapa de particular importancia para esta tesis, ya que al llevarse a cabo de forma inadecuada puede provocar otros impactos como el deterioro de la calidad del agua superficial y/o subterránea, deterioro del suelo por erosión, proliferación de fauna nociva, impacto visual, formación de asentamientos humanos irregulares, cambios de uso de suelo, se convierten en focos de atracción para el vertido de residuos peligrosos, lo cual se traduce en el detrimento de la salud pública.

En México se entiende por residuos de la industria de la construcción a los materiales, productos o subproductos generados durante las actividades de excavación, demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada. (NADF-007-RNAT-2004, 2006). La composición de estos residuos está afectada por diversos factores entre los que se encuentran: la estación del año, la situación económica del país, la región y el tipo de obra que los genera.

Las construcciones modificaciones o remodelaciones realizadas en pequeña escala pero con mayor frecuencia, son las actividades que presentan mayor grado de dificultad en su control, ya que generalmente se realizan sin dar aviso a la autoridad y en la mayoría de los casos los residuos son dispuestos en tiraderos clandestinos como lotes baldíos, vía pública, barrancas, márgenes de ríos y otras áreas del suelo de conservación, y en el mejor de los casos se utilizan como relleno, teniendo como resultado mala imagen urbana y contaminación (Minimización y manejo de los residuos de la industria de la construcción, Diagnóstico. México, 2002).

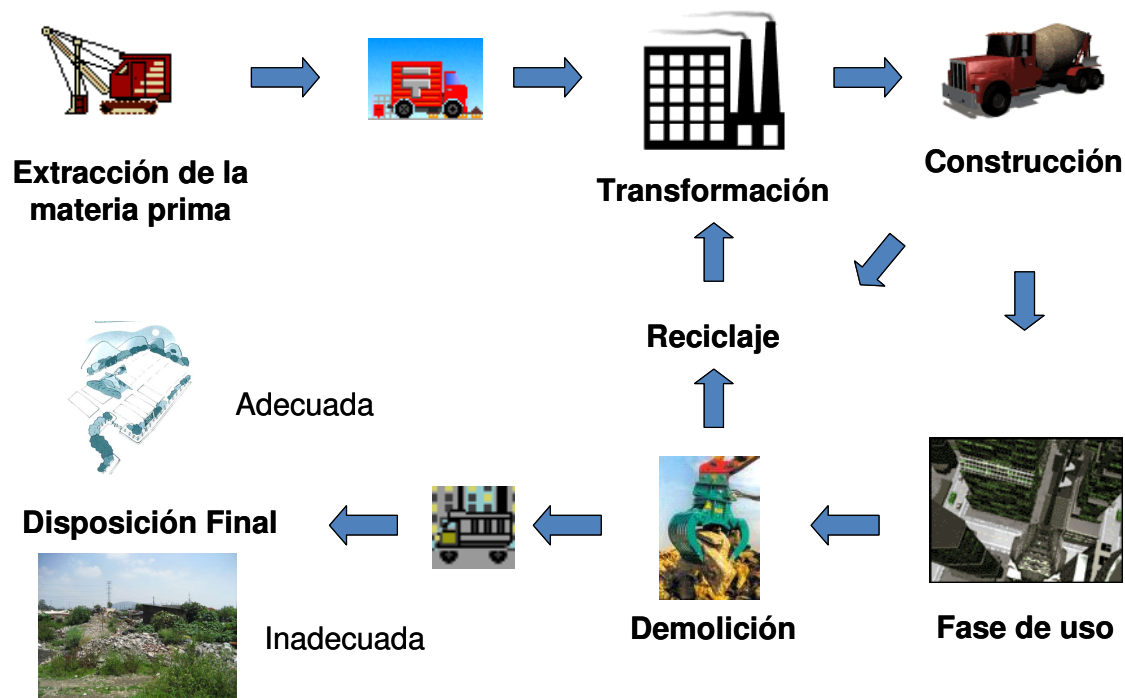


Figura 1.1 Ciclo de vida de los materiales de construcción

Por lo anterior, la recopilación de información referente a la generación de residuos de la construcción y demolición (C&D), representa una gran dificultad debido a que no existen mecanismos de control claros y definidos que permitan a las autoridades correspondientes su cuantificación; además de la diversidad de actores que intervienen en el sector de la construcción (Minimización y manejo de los residuos de la industria de la construcción, Diagnóstico. México, 2002).

El esfuerzo más reciente para determinar la generación de los residuos sólidos municipales en la Ciudad de México, fue el realizado en 1999 por la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal en conjunto con la Agencia de Cooperación Técnica de Japón (JICA) en el trabajo denominado “Manejo de Residuos Sólidos en la Ciudad de México”. El estudio permitió obtener datos muy importantes en cuanto a la generación de RC&D, ya que hasta el momento no se contaba con información al respecto.

1.1 PROBLEMÁTICA

En la actualidad, uno de los problemas ambientales que enfrenta la Ciudad de México es el inadecuado manejo de la cantidad de residuos generados por la población; una de las causas es la creciente demanda de vivienda y las necesidades de infraestructura, que traen como consecuencia la construcción, demolición y remodelación de edificaciones utilizadas para diferentes propósitos.

De acuerdo al Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) aproximadamente el 35% de los residuos sólidos recolectados en el D.F. son dispuestos en rellenos sanitarios controlados. Por otro lado, los tiraderos en los cuales son depositados los residuos a cielo abierto reciben otro porcentaje, a lo que se debe agregar el creciente número de tiros clandestinos.

Según la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal, la generación de residuos sólidos urbanos es del orden de 12,000 ton/día que actualmente son depositados en el Relleno Sanitario de Bordo Poniente Etapa IV, mientras que la generación de residuos de la construcción alcanza valores cercanos a las 3,000 ton/día.

Las Delegaciones y los Municipios que cuentan con suelo de conservación se ven presionados por un sector de la población que pretende emplear esos espacios para la construcción de casas habitación; esa misma presión por conformar asentamientos humanos irregulares implica también su dispersión, lo que dificulta aún más la recolección y transporte de los residuos de la construcción hasta sitios apropiados para su tratamiento o disposición final.



Figura 1.2 Residuos de la construcción y demolición dispuestos sobre la vía pública

Los residuos de construcción y demolición (C&D), por su naturaleza ocupan grandes volúmenes dentro de los vehículos recolectores, por lo que pasan a segundo término y en ocasiones no son recibidos dentro de las estaciones de transferencia y por lo tanto enviados directamente a Bordo Poniente, con el consecuente aumento en el costo del transporte, así como en el tiempo utilizado para llevarlo hasta el sitio de disposición final. Dado que los RC&D ocupan espacio útil y que no se cuenta con operaciones apropiadas para su disposición por la falta de equipo que permita su homogeneización, principalmente en cuanto a tamaño, se propicia la reducción en la vida útil del relleno sanitario la cual estaba considerada sólo hasta el año 2003.

Un rubro que debe destacarse por la imagen negativa y los impactos que genera es la disposición inadecuada de los Residuos de la Construcción y Demolición (RESIDUOS C&D) en sitios no autorizados para ello, tales como barrancas, cauces de agua o predios particulares, lo cual implica efectos que van desde la atracción de dichos sitios para el vertido de otros tipos de residuos (que en el mejor de los casos, son residuos sólidos municipales y en el peor de ellos, son residuos peligrosos) hasta la ocupación del terreno "ganado" a las barrancas o cauces de agua, a través del relleno con cascajo. Esta circunstancia provoca que la mancha urbana continúe su crecimiento, aún en sitios en que de acuerdo a la Ley Ambiental y programas de ordenamiento ecológicos se encuentra prohibida cualquier actividad de este tipo. Aunado a los efectos anteriores, existen los riesgos a la salud de la población circundante, ya que estos sitios son propicios para la proliferación de fauna nociva.

Al darse cuenta de que una gran cantidad de estos residuos podían ser aprovechados, algunos países, como Alemania, Estados Unidos, Australia y Holanda ya han desarrollado tecnologías y maquinaria para el aprovechamiento de los residuos de la construcción, por lo que puede contarse con antecedentes de efectividad, eficiencia de operación y datos técnicos operativos que permitan determinar la factibilidad de desarrollar esquemas similares en el ámbito nacional y de manera particular, en el Valle de México.

En el caso del D.F. ya se están tomando las primeras medidas a este respecto mediante la promulgación de la Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004, primera en el tema, que establece la clasificación y especificaciones de manejo de los residuos para optimizar su control, fomentar su aprovechamiento y minimizar su disposición final inadecuada. Sin embargo, se carece de bases técnicas en cuanto a la resistencia de los materiales que permitan recomendar su uso en diferentes obras.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La realización de este trabajo responde a la necesidad de analizar y evaluar los impactos ambientales provocados por la inadecuada disposición de los RESIDUOS C&D, en virtud de que en nuestro país no se cuenta con estudios específicos de impacto ambiental en la materia.

Respecto al aprovechamiento de los RESIDUOS C&D es necesario realizar estudios de resistencia de materiales obtenidos del reciclaje de estos residuos. Aún son pocos los estudios realizados en el ámbito nacional, sobre las propiedades físicas de algunos materiales; no obstante, con la entrada en vigor de la NADF-007-RNAT-2004 en el Distrito Federal, se obliga a sustituir al menos un 25 % de los materiales vírgenes por materiales reciclados en algunas obras que se especifican en la misma norma o en un porcentaje diferente que garantice las especificaciones técnicas del proyecto de acuerdo a, entre otras condiciones, que demuestre mediante estudios y pruebas en laboratorios acreditados la aplicación de ese porcentaje.

1.3 HIPÓTESIS

El reciclaje de residuos de la construcción y demolición es una medida que puede contribuir a mitigar los impactos ambientales que se generan por la inadecuada disposición de los residuos derivados de las actividades de construcción y demolición en el Valle de México.

Es factible técnica y económicamente recomendar la aplicación de estos residuos reciclándolos una vez que han sido procesados, en la construcción de obras de ingeniería civil como las sub-bases de caminos secundarios, cumpliendo con la normatividad correspondiente en cuanto a la resistencia y calidad requeridas de los materiales.

1.4 OBJETIVOS GENERALES

Proponer alternativas de medidas de mitigación de los impactos ambientales ocasionados por la inadecuada disposición de los RESIDUOS C&D considerando aspectos técnicos y económicos que conlleven a la mejor solución para reducir las afectaciones ambientales y a la salud humana, en el Valle de México.

Realizar pruebas físicas en los residuos de la construcción y demolición (RESIDUOS C&D) como agregados reciclados, que permitan recomendar su aprovechamiento en la construcción

de sub-bases de caminos secundarios.

1.5 OBJETIVOS PARTICULARES

- Identificar los impactos ambientales ocasionados por la inadecuada disposición de los residuos derivados de las actividades de construcción y demolición (RESIDUOS C&D)
- Analizar el alcance de la legislación y normatividad ambiental específica en materia de residuos de la construcción y demolición.
- Proponer medidas para remediar los impactos ambientales identificados
- Analizar alternativas de manejo de los RESIDUOS C&D
- Realizar muestreos de los materiales reciclados en la planta “Concretos Reciclados S.A.”
- Realizar las pruebas de resistencia a los materiales reciclados muestreados, en el laboratorio de la empresa GEOVISA, dedicada a la realización de estudios de mecánica de suelos. Analizar los resultados y comparar la resistencia con respecto a materiales vírgenes.
- Recomendar el uso de los materiales reciclados en obras que satisfagan sus requerimientos técnicos.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

Con la elaboración de este trabajo se pretende proponer alternativas de remediación a los impactos ambientales producidos por los residuos de la construcción y demolición (RESIDUOS C&D), y recomendar su uso en sub-bases de caminos secundarios, y de esta manera contribuir a apoyar técnicamente la aplicación de la Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004, reduciendo así los problemas ambientales en el Valle de México.

LIMITACIONES

- El trabajo se realizará exclusivamente en el Valle de México.
- Se identificarán en forma general los impactos y sus efectos, al ambiente y a la salud pública provocados por el inadecuado manejo de los residuos de la construcción y demolición (RESIDUOS C&D), sin llevar a cabo una manifestación de impacto ambiental, debido a que no se trata de un proyecto específico sino de un tema de estudio general.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

En el presente capítulo se mencionan los conceptos y términos más relevantes del Manejo Integral de los residuos de la Construcción y Demolición (RESIDUOS C&D) haciendo una revisión de las experiencias internacionales en materia de reciclaje, con lo que se pretende establecer un marco comparativo entre los avances en otros países y la situación actual en México.

Con el objeto de contar con un panorama legal en cuanto al manejo de los RESIDUOS C&D y su gestión ambiental, se realiza una síntesis de la normatividad mexicana en materia de residuos e impacto ambiental.

2.1 ETAPAS DEL MANEJO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RESIDUOS C&D)

Los Residuos de la Construcción y Demolición (RESIDUOS C&D) están constituidos generalmente por un conjunto de fragmentos o restos de tabiques, piedras, tierra, concreto, morteros, madera, alambre, resina, plásticos, yeso, cal, cerámica, tejados, pisos y varillas, entre otros, cuya composición puede variar ampliamente dependiendo del tipo de proyecto, la obra y etapa de construcción (NADF-007-RNAT-2004, 2006).

Para que exista un manejo integral de los residuos debe haber una gestión adecuada de ellos, lo cual involucra: normas y acciones: operativas; financieras; de planeación; administrativas; sociales; educativas; de monitoreo; de supervisión y evaluación, desde su generación hasta la disposición final (LRSDF, 2003).

De acuerdo a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, el *manejo integral de los residuos* es el “conjunto de acciones que involucran la identificación, caracterización, clasificación, etiquetado, marcado, envasado, empaque, selección, acopio, almacenamiento, transporte, transferencia, tratamiento y, en su caso, disposición final de los residuos sólidos”.

Sin embargo, dentro del manejo integral de los RESIDUOS C&D se pueden identificar al menos las siguientes etapas:

- Generación
 - Almacenamiento
 - Recolección y transporte
 - Reúso y reciclaje
 - Tratamiento
 - Disposición final
-
- *Generación*: se refiere a la acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo (LRSDF, 2003).

- *Almacenamiento:* El depósito temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición final (LRSDF, 2003).
- *Recolección:* La acción de recibir los residuos sólidos de sus generadores y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final (LRSDF, 2003).
- *Transporte:* El transporte es la etapa del sistema de manejo integral de residuos sólidos en la cual, los residuos que han sido recolectados previamente, son conducidos a un destino específico (Gutiérrez, 2005).
- *Reutilización:* El empleo de un residuo sólido sin que medie un proceso de transformación (LRSDF, 2003).
- *Reciclaje:* Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos (LGPGIR, 2003).
- *Tratamiento:* Los procedimientos: físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se modifican las características de los residuos sólidos y se reduce su volumen o peligrosidad.
- *Disposición Final:* La acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

De acuerdo a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, uno de los instrumentos para la gestión adecuada de los residuos es el Plan de Manejo, ya que contiene el conjunto de acciones, procedimientos y medios que facilitarán la minimización y valorización de los residuos.

Ante la falta de una gestión adecuada, los RESIDUOS C&D son dispuestos de forma inadecuada en la vía pública, lotes baldíos, zonas de reserva ecológica, cuerpos de agua, entre otros sitios; provocando daños al ambiente y a la salud pública. Tal fue el caso de la calle Doce Metros en la Colonia Primera Ampliación Santiago Acahualtepec, Delegación Iztapalapa en el año 2004 con expediente número: PAOT-2004/CAJRD-086/SPA-53. En este caso la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (PAOT) gestionó las denuncias debidas a la disposición inadecuada de residuos sólidos, de manejo especial e incluso de animales muertos, ya que se presentaron impactos al ambiente como la proliferación de fauna nociva y emanación de olores putrefactos. Dicho caso fue gestionado y se retiraron finalmente los residuos del lugar.

Por lo anterior, cada vez se hace más evidente la necesidad de aplicar medidas tanto ambientales como sociales que permitan minimizar los problemas relacionados con los RESIDUOS C&D. A este respecto y bajo el marco de la sustentabilidad algunos países de los denominados desarrollados han aplicado medidas para llevar a cabo la *construcción sostenible*, es decir, aquella que teniendo especial respeto y compromiso con el ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el ambiente y enfocado a la reducción de los impactos ambientales (Construcción Verde España, 2006).

A continuación se muestran algunas experiencias en el reciclaje de RESIDUOS C&D a nivel internacional.

2.2 EXPERIENCIAS EN EL RECICLAJE DE RESIDUOS C&D

2.2.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

La idea de reciclar residuos de la construcción no es nueva. En Estados Unidos, y particularmente en Europa, que después de la Segunda Guerra Mundial se enfrentó al problema de atender sus ciudades destruidas con un grave problema de acumulación de escombros, se ha comprendido la importancia ecológica y económica del reciclaje, lo que ha motivado la creación de comités como el RILEM (Reunión Internacional de Laboratorios de Ensayos e Investigación sobre los Materiales y las Construcciones) y el EDA (European Demolition Association), con la intención de crear y promover normas para la utilización de este tipo de residuos. (Bolumburu, 2004).

Estados Unidos, Alemania, Dinamarca, Holanda, Gran Bretaña y Japón poseen programas para reciclar materiales de construcción con la creación de plantas de tratamiento, para lo cual existe una legislación específica que regula y grava el vertido de los RESIDUOS C&D (Natalini, 2000). A continuación se describen algunos casos particulares de reciclaje comenzando por los internacionales para concluir con los nacionales.

ALEMANIA

En 1980, de acuerdo a las estadísticas de ambiente, en la República Federal de Alemania (Alemania Occidental) se generaron aproximadamente 15 millones de toneladas de escombros, 13 millones de toneladas de residuos provenientes del fresado de carpeta asfáltica y alrededor de 105 millones de toneladas de material producto de excavación. Lo que significa una

generación promedio de 2.16 toneladas por habitante por año (Wilbertz, 1984).

En 1982 había sitios para la disposición final de los RESIDUOS C&D dentro de los rellenos sanitarios en Düsseldorf, sin embargo, debido al incremento en los costos de disposición y a la situación política que vivía el país, los residuos fueron tratados en plantas móviles, semi-móviles y fijas.

Para el año de 1983, ya se estudiaban en Alemania del Este las posibilidades de reciclaje de los RESIDUOS C&D en la construcción de caminos. Las condiciones eran muy favorables dadas las grandes cantidades de residuos generados durante los procesos constructivos y su potencial para ser reincorporados al sistema mediante su reciclaje.

La escasez de materiales convencionales, los altos costos de transporte y la falta de sitios de disposición, fueron factores muy importantes en la toma de decisiones. Fue entonces cuando se abrieron las puertas a nuevos tipos de materiales de construcción.

De acuerdo a la Asociación para la Investigación de Caminos y Sistemas de Tráfico (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen), una de las condiciones para el reúso ó reciclaje de los residuos de la construcción consistía en que debían cumplir con los mismos estándares y especificaciones que los materiales convencionales. Sin embargo, las especificaciones técnicas y recomendaciones existentes eran principalmente para la utilización de materiales vírgenes.

Por lo cual, se realizaron modificaciones a los estándares alemanes, DIN, como el ZTVE-StB 76, que en su sección 3.14.2.3 listaba de manera explícita a los residuos de construcción, entre otras cosas, como materiales que incrementaban las propiedades mecánicas de los suelos y las cimentaciones y cuya aplicación como material de relleno o en capas era absolutamente posible siempre que se cubrieran los requerimientos técnicos según fuera el caso¹.

Con la aplicación de los nuevos materiales se pasó de los procedimientos constructivos bien establecidos a la búsqueda de nuevos conocimientos para el desarrollo de procesos constructivos innovadores cuya materia prima fueran los materiales reciclados.

A finales de 1983 fue fundado el Comité de Calidad para el “Reciclaje de materiales de construcción”, cuyo objetivo era asegurar la calidad de los materiales reciclados y marcar con

¹ Hafemeister, D. 1984. Recycling Internacional, Building Industry.

su sello de calidad aquellos que cumplieran con los estándares correspondientes. Particularmente, ya habían sido establecidos los criterios de calidad y las pruebas requeridas para ser aplicados en la construcción de caminos.

El uso de los RESIDUOS C&D tomó tal importancia que se creó la “Asociación de empresas alemanas para el reciclaje de materiales de construcción”, un grupo de empresas dedicadas a la producción de materiales de construcción reciclados y cuyos objetivos eran, entre otros, promover la calidad de los productos de este nuevo sector, representar los intereses de sus miembros ante las autoridades, agencias, instituciones de investigación, así como ante los niveles de competencia federal, estatal o municipal.

En 1984, dadas las condiciones geográficas y políticas imperantes en Berlín se hizo necesaria la aplicación de nuevas medidas para el aprovechamiento de los RESIDUOS C&D. Alemania se encontraba dividida políticamente y la Ciudad de Berlín carecía casi completamente de bancos de materiales convencionales cercanos por lo que los precios eran altos. Dada la falta de espacio para la ubicación de sitios de disposición final, Berlín mantenía un convenio con Alemania del Este a través del cual, se enviaban a disposición determinadas cantidades de RESIDUOS C&D pagando 25 Marcos por metro cúbico.

El acuerdo tenía un periodo de validez de 20 años, sin embargo, al pasar el primer periodo de 10 años se hicieron revisiones al convenio y se encontró que las cantidades de RESIDUOS C&D generados se incrementaron considerablemente dadas las remodelaciones y demoliciones a las construcciones existentes del siglo XIX. Las condiciones anteriores aunadas a la protección al ambiente recayeron en medidas que impulsaron el reciclaje de los RESIDUOS C&D.

La solución fue la instalación de una planta de aprovechamiento compacta que satisfacía los requerimientos y operaba de manera continua con el siguiente equipo:

- Triturador primario de alto impacto Klöckner-Becorit
 - Tipo SB-12-65-L,
 - Apertura de 1200 mm a la entrada.
 - Rendimiento: 350 toneladas por hora.
 - Tamaño de partículas obtenidas: 0 a 200 mm de diámetro
 - Separador magnético (por cada tonelada de RESIDUOS C&D se separaban en promedio 80 kg de acero).
- Triturador secundario Orenstein & Koppel,
 - Particularmente deseable para asfalto.

- Tamaño de partículas obtenidas: 0 a 45 mm de diámetro.
- Cribas para llevar a cabo la separación por tamaños de partícula
- Bandas transportadoras.

USO DEL MATERIAL RECICLADO

El uso del material reciclado incluía asfalto y concreto, así como ladrillos rotos, que resultaba en una mezcla variada en tamaño de partícula y composición. El material reciclado fue utilizado en la construcción de caminos tipo III-V, caminos no clasificados y como agregado para las superficies de áreas pavimentadas. Se desarrollaron materiales estandarizados que fueron ofrecidos en el mercado.

Su uso era regido por las especificaciones técnicas para la construcción de caminos TVT72/28, las de uso de materiales minerales en la construcción de caminos TL Min. 78 y otras complementarias como ZTVE-StB 76-78 para la construcción de terraplenes. Las normas resultaron en requerimientos técnicos como tamaño de partículas y composición de los productos.

Pruebas de laboratorio y experiencias demostraron que en capas donde existían proporciones del 50% de concreto y de 25-30% de asfalto, se obtenía mejor rendimiento en la construcción de superficies de caminos; y para bases la proporción de concreto debía reducirse.

Se realizaron numerosas pruebas como la de resistencia al impacto, compactación Proctor, permeabilidad, estabilidad CBR, etc., y se confirmó que la calidad de los materiales reciclados era comparable a la de los materiales naturales. Con ello se comprobó que este método era mucho menos caro comparado con los costos de disposición, salvando una cantidad considerable de material natural. Sin embargo, aún no se aprobaba el uso de estos materiales en los catálogos aun cuando en Alemania del Este y países vecinos ya se había hecho.

OBRAS REALIZADAS

Uno de los casos en los que se utilizaron agregados reciclados fue el ocurrido en 1999, para la construcción de grandes bloques de concreto como elementos decorativos en el Centro de Exposiciones de Magdeburg. Estos bloques se encuentran en el exterior. En este caso sólo se

empleó agregado grueso reciclado (CONAMA, 2006).

En 1993-1994 se construyó la sede de la Fundación Alemana para el Medioambiente (Deutsche Bundesstiftung Umwelt). Se empleó agregado reciclado en la construcción de los elementos estructurales de concreto, realizándose una estricta selección y exhaustivo control de calidad. Se utilizaron 290 kg/m³ de cemento Pórtland CEM 1 42,5 R; el agregado grueso reciclado (con tamaños comprendidos entre 4 y 32 mm) y el agregado fino: arena natural. La mezcla contenía además 70 kg/m³ de cenizas volantes y un plastificante. Con un contenido de agua de 201 kg/m³ se consiguió 357 kg/cm² de resistencia de (CONAMA, 2006).

INVESTIGACIÓN

En junio de 2003, el Instituto Federal para la Investigación y Prueba de Materiales BAM (Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung) desarrolló un programa de investigación donde se estudió la viabilidad de sustitución del clinker natural por clinker obtenido de RESIDUOS C&D.

Los componentes de un concreto convencional son: cemento, agua y agregados pétreos (arena y grava). Sin embargo, se fabricaron nuevos concretos que incluían la utilización de cemento obtenido del nuevo proceso de sustitución del clinker, agua, agregados, mezclas y aditivos.

Se fabricaron concretos de cuatro tipos en los que, además, se variaron los tipos de agregados:

- Utilizando arena y grava naturales
- Sin utilizar agregados finos y utilizando un 100% de agregados gruesos reciclados
- Utilizando 50% de agregados finos reciclados y 50% de agregados gruesos reciclados
- Utilizando el 100% de agregados finos reciclados sin utilizar agregados gruesos.

RESULTADOS

- El estudio dio como resultado la innovación de los procesos de fabricación del cemento mediante el uso de clinker hecho con RESIDUOS C&D.
- Al utilizar el nuevo cemento y variar los porcentajes de agregados reciclados, se obtuvo

mejor comportamiento en los concretos.

- El módulo de elasticidad, la absorción de agua, la resistencia al congelamiento y la resistencia del concreto fueron propiedades que se mejoraron mediante el uso de los agregados reciclados, obteniendo así concretos de buena calidad.
- A través del análisis de los resultados se realizaron algunas propuestas para el reúso del concreto que se muestran en la Figura 2.1.

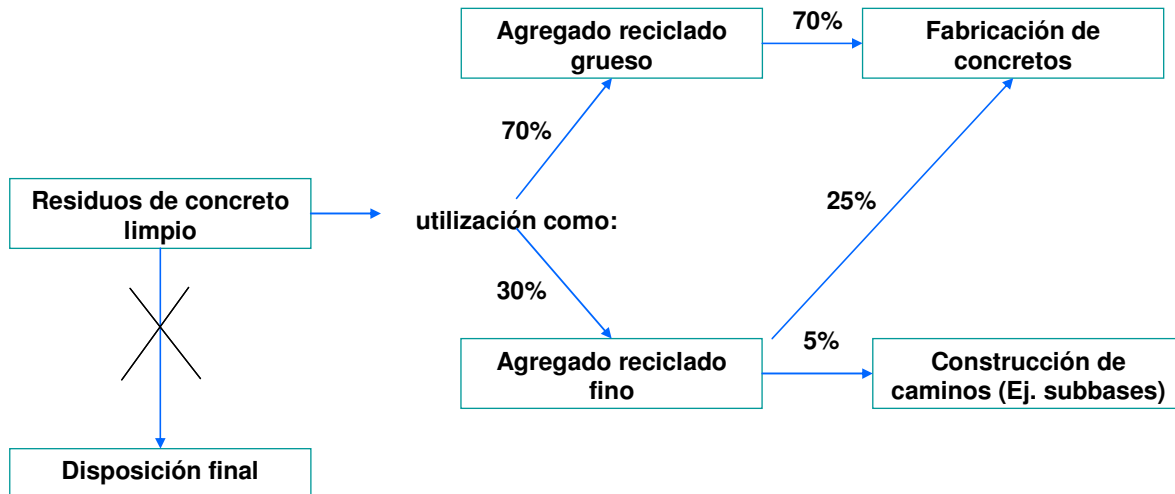


Figura 2.1. Propuesta para el reciclaje de concreto en Alemania

Fuente: BAM, Junio de 2003. Introducción general y aspectos especiales de los materiales de construcción. Alemania

Actualmente el Instituto Federal de Investigaciones para Caminos, BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen), juega un papel muy importante en la formulación de especificaciones y estándares técnicos a nivel nacional e internacional.

BAST es un Instituto Técnico y Científico que depende del Ministerio Federal del Transporte, Construcción y Asuntos Urbanos, BMVBS (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung), labora conjuntamente con el Instituto Alemán para Estandarización DIN (Deutsches Institut für Normung), el Instituto Alemán de Tecnología de la Construcción (Deutsches Institut für Bautechnik), la Asociación para la Investigación de Caminos y Transporte (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen).

Una de sus principales actividades consiste en la formulación de estándares técnicos en cooperación con la Organización Internacional para Estandarización (ISO) y con el Comité Europeo de Normalización (CEN).

A nivel científico, BAST es un miembro activo en los comités de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), la Asociación Mundial para Caminos (PIARC) y la Comisión Económica para las Naciones Unidas de Europa. (UNECE). Cooperamos además con una gran variedad de instituciones en 36 países entre los cuales se encuentra el nuestro.

Dentro de las áreas de investigación se encuentra la de Terraplenes, Agregados minerales y Superestructuras sin confinamiento. En ésta se han desarrollado numerosos proyectos encaminados al uso de materiales de construcción reciclados, entre los que se encuentra la medida de la eficiencia de las medidas técnicas de seguridad al utilizar RESIDUOS C&D en el movimiento de tierras, sub-proyecto: Planificación y periodo de prueba de los procedimientos de laboratorio a gran escala, así como la instalación de un lisímetro para calibración al aire libre (BAST, octubre de 2006).

LEGISLACIÓN

En la Tabla 2.1 se muestra la normatividad aplicable en la construcción de caminos mediante el uso de agregados reciclados.

Tabla 2.1. Legislación alemana en materia de uso de los RESIDUOS C&D en la construcción de caminos

LEGISLACIÓN	ALCANCES
FStrG "Bundesfernstraßengesetz"	„Bundesfernstraßengesetz” Leyes alemanas para Caminos Ley para Caminos.
LAGA	• Establece los lineamientos para la construcción de caminos cumpliendo con las leyes ambientales así como el estado del arte de la tecnología. • De ésta se deriva el TL Gestein-StB.
TL Gestein-StB	„Länderarbeitsgemeinschaft Abfall” Grupo de Trabajo de Residuos de los Estados de la Federación. • Establece las normas para el re-uso de los residuos.
	„Technische Lieferbedingungen für Gesteinskörnungen im

Straßenbau“

“Términos técnicos para el uso de agregados en la construcción de caminos”. Brandemburgo. Guías Técnicas para el reciclaje de materiales de construcción en la construcción de caminos. BTR RC-StB

- Su objetivo es el de regular la manufactura y uso de los agregados minerales reciclados de acuerdo a los requerimientos técnicos y ambientales.
- En el Anexo D se encuentran las propiedades de relevancia ambiental.

Las leyes más importantes en cuanto al re-uso de agregados son:

BbodSchG

„Bundesbodenschutzgesetz”

Ley para la Protección del Suelo.

- Protección de las multifacéticas funciones del suelo

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz/ KrW-/AbfG

Ley para el Flujo circular de la economía y los residuos (Law of circular flow economy and waste)

- Establece la protección de los recursos naturales,
- y que los materiales alternativos para la construcción no deben ser dispuestos sino reciclados.

Wasserhaushaltsgesetz/ WHG.

Ley para la Protección del Agua

- Establece la protección del recurso hídrico como parte importante de los ecosistemas.

Fuente: Ing. Dipl. Tanja Marks, Abril de 2006 (Contacto vía electrónica). Miembro de BAST, Área de Tecnología de Construcción de Caminos.

ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA

Creada en 1970, La Agencia de Protección al Ambiente (EPA) tiene como objetivos: implementar leyes ambientales, establecer estándares nacionales, programas ambientales y llevar a cabo investigaciones en el área ambiental en los Estados Unidos de América.

Dentro del manejo integral de los RESIDUOS C&D en Estados Unidos se encuentran el reúso, reciclaje, la disposición final (en rellenos sanitarios municipales o privados, en sitios para depósito de residuos inertes que no requieren permiso) y el procesamiento en plantas incineradoras; sin que exista en la mayoría de los estados un sistema de reportes o informes

sobre este tipo de actividades y con base en la Ley de Conservación y Recuperación de los Residuos (RCRA), que rige la prevención y la gestión integral de los residuos en este país (USEPA, 1998).

Los RESIDUOS C&D son regulados a nivel Federal bajo la Ley RCRA, aún cuando la mayoría de los Estados cuentan con definiciones y normas propias para su manejo integral. Cada Estado determina qué tipo de residuos deben ir a disposición en rellenos sanitarios para residuos sólidos, cuáles a rellenos para RESIDUOS C&D y cuáles deben ser enviados a incineradores.

De acuerdo a la EPA, los RESIDUOS C&D pueden contener residuos peligrosos por lo que son clasificados principalmente en tres tipos: 1) no peligrosos o inertes, 2) peligrosos regulados por la EPA bajo la Ley de Conservación y Recuperación de los Recursos (RCRA) y 3) objetos que contuvieron residuos peligrosos o componentes de ellos, que puedan estar regulados en algunos estados (EPA, 2004).

La Ley de Conservación y Recuperación de los Recursos (RCRA) es de aplicación federal para las compañías que generen, transporten, traten, almacenen o dispongan residuos peligrosos (R.P.). Por lo cual, esta Ley rige la prevención y la gestión integral de los residuos.

De acuerdo a la RCRA, los generadores de R.P. se clasifican como se muestra en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Tipos de generadores de R.P. según la RCRA.

Tipo de generador	Cantidad de R.P generada mensualmente
LQGs (<i>Large quantity generators</i>) Grandes Generadores	> 1,000 kg
SQGs (<i>Small quantity generators</i>) Pequeños generadores	100> x<1,000 kg
CESQGs (<i>Conditionally Exempt Small Quantity Generators</i>) Pequeños generadores condicionalmente exentos.	<100 kg

Fuente: EPA, 2004. RCRA in Focus.

Dentro del universo de residuos no peligrosos sujetos a la Regulación del subtítulo D de RCRA se encuentran los RESIDUOS C&D divididos en las siguientes categorías (USEPA, 1998):

- Residuos relacionados con edificios
 - Construcción
 - Demolición
 - Renovación
- Residuos relacionados con carreteras
- Residuos relacionados con puentes
- Residuos inertes de limpieza de terrenos.

GENERACIÓN DE RESIDUOS C&D

A continuación se muestran algunos datos históricos en cuanto a la generación de RESIDUOS C&D en el año 1996 (USEPA, 1998):

- Se estima que en 1996 se generaron alrededor de 136 millones de toneladas de RESIDUOS C&D en los Estados Unidos de América. La mayoría de los residuos provenían de actividades de demolición y renovación, y el resto venía de nuevas construcciones.
- De acuerdo al censo publicado en el año 2000, la población era de 281,421, 906 habitantes², por lo tanto, la generación per-cápita de RESIDUOS C&D fue de 1.32 kg/hab/día
- El 43% de los residuos generados, es decir, 58 millones de toneladas por año proceden de fuentes residenciales y el 57% (78 millones de toneladas por año) proviene de fuentes no residenciales.
- Los residuos provenientes de la demolición conforman el 48% de la corriente de los residuos, es decir, 65 millones de toneladas por año; las remodelaciones representan el 44% (60 millones de toneladas por año) y el 8% (11 millones de toneladas por año) proviene de nuevas construcciones.

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

De acuerdo a un estudio realizado por Rathje & Murphy (1992), la corriente de los residuos

² US Census Bureau, 2000.

sólidos depositados en los rellenos sanitarios en la década de los 80' estaba constituida como se muestra en la Figura 2.2.

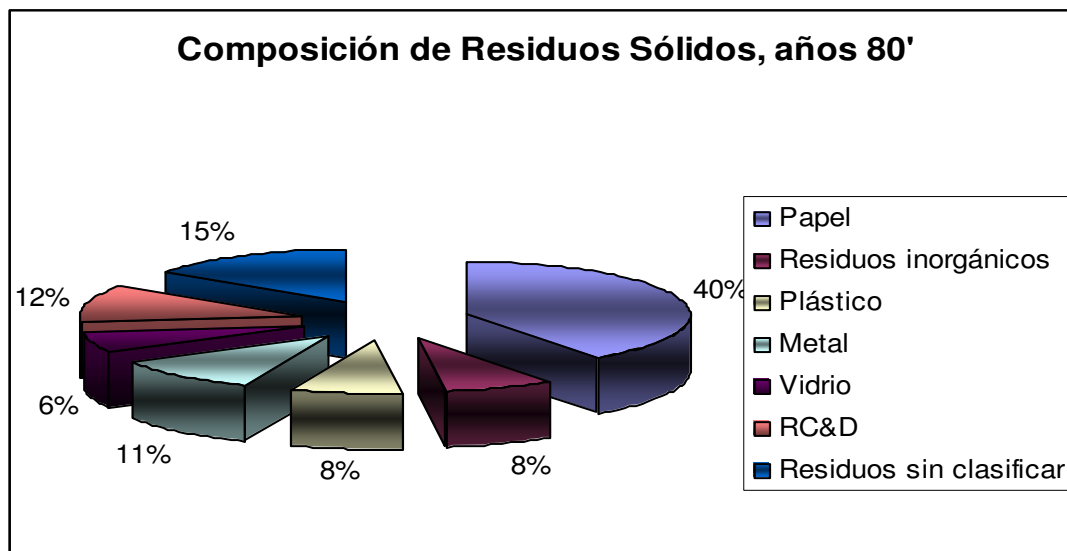


Figura 2.2 Composición de los RS en los años 80', E.U.A.

En 1998, la EPA llevó a cabo la primer caracterización de RESIDUOS C&D en los Estados Unidos. Debido a la carencia de encuestas, la metodología aplicada fue a través de la extrapolación de cifras estimadas de RESIDUOS C&D multiplicando el número de edificaciones construidas o demolidas (mediante los permisos otorgados) por la cantidad estimada de residuos que se generaron por metro cuadrado.

Esta metodología permitió observar un panorama general acerca de la generación de los RESIDUOS C&D, sin embargo, no permitía saber qué tipo de materiales los constituían ni en qué porcentajes estaban presentes; lo que impedía que se estimara el potencial de reciclaje de los residuos (Biocycle, 2003).

No obstante, para noviembre de 2003 se dio a conocer un estudio de caracterización de los RESIDUOS C&D en el cual se observó que el mayor porcentaje actualmente lo constituye el concreto con un 40%, mientras que los plásticos están en el rango del 1 al 5% (Ver Tabla 2.3).

Tabla 2.3 Composición de RESIDUOS C&D. Porcentajes estimados por tipo de material. EPA.

Material	Porcentaje estimado de RESIDUOS C&D generados anualmente.
Concreto	40 - 50
Madera	20 - 30
Yeso	5 - 15
Asfalto	1 - 10
Metales	1 - 5
Cerámicos	1 - 5
Plásticos	1 - 5

Fuente: Biocycle, 2003

RECUPERACIÓN DE RESIDUOS C&D

La recuperación de los RESIDUOS C&D es de gran importancia económica y ambiental debido a que ofrece beneficios tales como: la reducción en la demanda de recursos naturales; el ahorro de energía y la reducción de la necesidad de sitios de disposición final. Dicha recuperación depende de factores económicos locales como los sitios de disposición final con que se cuenta, gastos de operación, costos de selección de los materiales y valor de mercado de los materiales recuperados.

Una de las formas de recuperación de los RESIDUOS C&D usado en Estados Unidos es la demolición selectiva o “deconstrucción”, que es el proceso de desmantelamiento o remoción selectiva de materiales de edificios destinados a su demolición. Mediante la aplicación de este método es posible prevenir la contaminación de los materiales valorizables que se pueden recuperar y aún cuando es una práctica que requiere mayor tiempo y capacitación del personal, es posible recuperar cerca del 76% en peso y 70% en volumen de materiales (Cortinas, 2007).

Algunas de las ventajas observadas en los procesos de demolición selectiva son (WRRRC,2005):

- La demolición selectiva provoca menos impactos que la demolición típica.
- Cuando la demolición selectiva sustituye a los procesos de incineración, la contaminación del aire se reduce notablemente.
- La deconstrucción puede estimular el crecimiento económico de una localidad mediante la creación de un mercado para los materiales recuperados.

Aun cuando los costos debidos a la demolición selectiva son mayores que los procedimientos convencionales, éstos pueden reducirse mediante la capacitación del personal a través de un programa de entrenamiento.

En cuanto al reciclaje de residuos sólidos, los programas se han incrementado en los últimos 15 años. Hace 20 años sólo existía un programa de reciclaje en los Estados Unidos, en 1998 ya se contaba con 9,000 programas de manejo y 12,000 plantas de aprovechamiento de residuos sólidos.

Para 1999 las actividades de reciclaje y composteo evitaron que alrededor de 64 millones de toneladas de materiales fueran enviados a incineración o puestos a disposición final en rellenos sanitarios. Actualmente Estados Unidos recicla alrededor del 28% de sus residuos, cantidad que casi dobla la registrada durante los últimos 15 años (EPA, 2003).

PRÁCTICAS EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS C&D (USEPA, 1998)

- La práctica más comúnmente utilizada para la disposición de los residuos sólidos en Estados Unidos es la utilización de rellenos para RESIDUOS C&D, rellenos sanitarios para residuos sólidos municipales y la disposición inadecuada en diversos sitios.
- En 1994, según un estudio realizado por la EPA, se identificaron alrededor de 1900 rellenos para RESIDUOS C&D.
- En 1996, alrededor del 30% de los residuos generados fueron recuperados y del 35% al 45% fue dispuesto en rellenos. Dentro de los residuos con mayor índice de recuperación y reciclaje se encontraron: concreto, asfalto, metales y madera.
- C&D Recycling estimó que para 1998 existían alrededor de 3,500 plantas de recuperación de RESIDUOS C&D.

RECICLAJE

El número de plantas dedicadas al reciclaje de los RESIDUOS C&D se ha incrementado considerablemente en los últimos años. En 1985, la Asociación Federal de Carreteras, recicló los pavimentos de concreto durante la ampliación de 7,000 carreteras en Wyoming; el agregado fue una mezcla de materiales naturales y reciclados; con lo que se ahorró el 16% del costo total (Natalini, 2000).

Para 1996, se contaba con 1800 plantas, de las cuales, más de 1,000 eran usadas en la trituración de asfalto y concreto, 500 para el procesamiento de madera y 300 más para el procesamiento de residuos mezclados (USEPA, 1998).

En los estados del Este se encuentra ubicado el mayor número de plantas de reciclaje, ya que representan alrededor del 28%, el Atlántico Medio cuenta con un 27%, en contraste, el Suroeste y los estados de las Montañas Rocosas sólo cuentan con el 3%, mientras que el Sureste, la parte media superior del lado Oriente y Nueva Inglaterra cuentan con el 12% 13% y 14% de plantas de reciclaje respectivamente (USEPA, 1996).

Dado que se han hecho grandes esfuerzos para el desarrollo de un mercado para los materiales recuperados, la cantidad de plantas dedicadas al reciclaje de RESIDUOS C&D sigue en aumento.

ESPAÑA

La Constitución española atribuye a las Comunidades Autónomas la competencia de gestión en materia de protección del ambiente, por lo que éstas pueden promulgar la legislación que crean conveniente siempre y cuando cumplan con los preceptos mínimos de la legislación básica, tales son los casos de Andalucía, Madrid y Cataluña (CONAMA, 2006).

De acuerdo a la Ley Básica Estatal de Residuos aprobada en octubre de 1998, los RESIDUOS C&D son considerados como residuos urbanos siempre y cuando procedan de obras menores de construcción y reparación domiciliaria (Ambientum, 2001).

A través del “Consejo de la Construcción Verde” se ha introducido ya el concepto de construcción sostenible, la cual ha sido definida como: “aquella que teniendo especial respeto y compromiso por el ambiente, implica el uso eficiente de la energía y del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medioambiente, resulta más saludable y se dirige hacia una reducción de los impactos ambientales”.

Lo anterior implica un cambio en la mentalidad de la industria y las estrategias económicas, con el fin de priorizar el reciclaje, reúso y recuperación de materiales naturales (Construcción Verde, 2006).

Con el fin de alcanzar la gestión racional de los RESIDUOS C&D, el Gobierno de España

elaboró un Plan estratégico para el periodo 2001-2006. Los objetivos fueron la valorización para este tipo de residuos así como el desarrollo de la inversión en infraestructura necesaria para llevarlo a cabo.

El llamado Plan Nacional de Residuos de la Construcción y la Demolición (PNRCD, 2001-2006) surgió ante la necesidad de planificar y gestionar específicamente los RESIDUOS C&D con el fin de establecer un marco para su correcto reciclaje y valorización; así como dar cumplimiento a las legislaciones europea y española.

El Plan Nacional contemplaba la recolección controlada y gestión ambiental de al menos el 90% de los RESIDUOS C&D generados y un 60% de reciclaje y reutilización de éstos para el año 2006, además de la adaptación de vertederos de escombros a las exigencias de la Directiva comunitaria de vertederos antes del año 2005, así como la clausura y restauración ambiental de aquellos que no sean adaptables.

GENERACIÓN

De acuerdo al Ministerio de Medio Ambiente, la generación de RESIDUOS C&D en el año 2001 fue de entre 450 y 1,000 kg/hab/año y se tuvieron los consumos que se muestran en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4 Consumo de agregados en el año 2001 en España.

Consumo total de agregados	430 millones de ton/año
Consumo de agregados para la construcción	379 millones de ton/año
Monto de agregados reciclados	2% del total

Fuente: CNC, 2004. Jornada sobre residuos de construcción y demolición.

Las estadísticas respecto a la producción real de los RESIDUOS C&D arrojan resultados muy heterogéneos, lo que dificulta su gestión. (CONAMA 2006, España). En la Tabla 2.5 se presentan algunos datos procedentes de diversas fuentes.

Tabla 2.5. Niveles de Producción de RESIDUOS C&Ds según diversas fuentes

Fuente	Ámbito	Producción (ton/año)	Año	Observaciones
Plan Nacional de RESIDUOS C&D	Estado	39.699.394	1999	Extremo superior ¹
Symonds Report (1999)	Estado	17.851.227	1999	Extremo inferior
GERD (2002) ²	Estado	12.800.000	1997	Estimado 350 Kg/hab/año
		37.000.000	1999	Estimado 900 Kg/hab/año
Plan Regional RESIDUOS C&D (2002)	Comunidad Madrid	5.231.966	2001	Estimado 2001-2011
PROGROC (2001)	Cataluña	4.000.000	2001	Estimado 2001-2006
Plan Residuos (1997)	Comunidad Valencia	3.867.657	1996	Prev 2002: 4.399.000
Plan Director RU	Málaga	485 kg/hab/año	¿?	

¹ Debido a la falta de información fiable, el PNRC lo utiliza como hipótesis para el cálculo de una horquilla situada entre 450 y 1000 kg/hab/año. ² GERD. Gremio de Entidades de Reciclaje y Derribo. Fuente: Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) 2006, España.

En la Figura 2.3 se muestra una gráfica en la cual se observa la producción de RESIDUOS C&D en el contexto europeo.

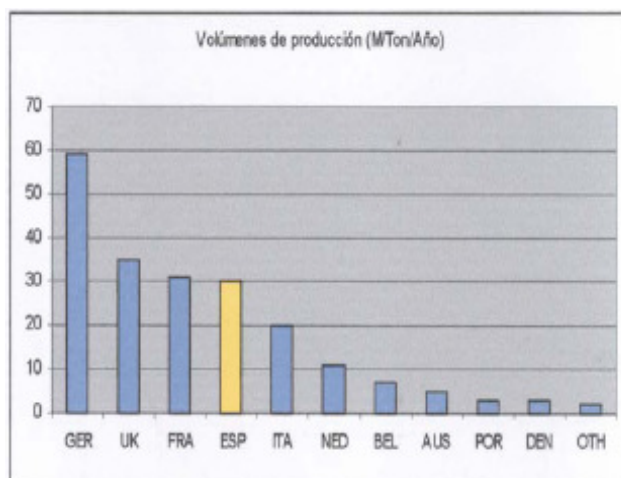


Figura 2.3 Volumen de producción de RESIDUOS C&D en países de la CCE.

Fuente: (TEC REC) CNC, 2004. Jornada sobre residuos de construcción y demolición.

De acuerdo al Plan Nacional de Residuos C&D (PNRCD, 2001-2006) la composición física de los RESIDUOS C&D en España es la siguiente:

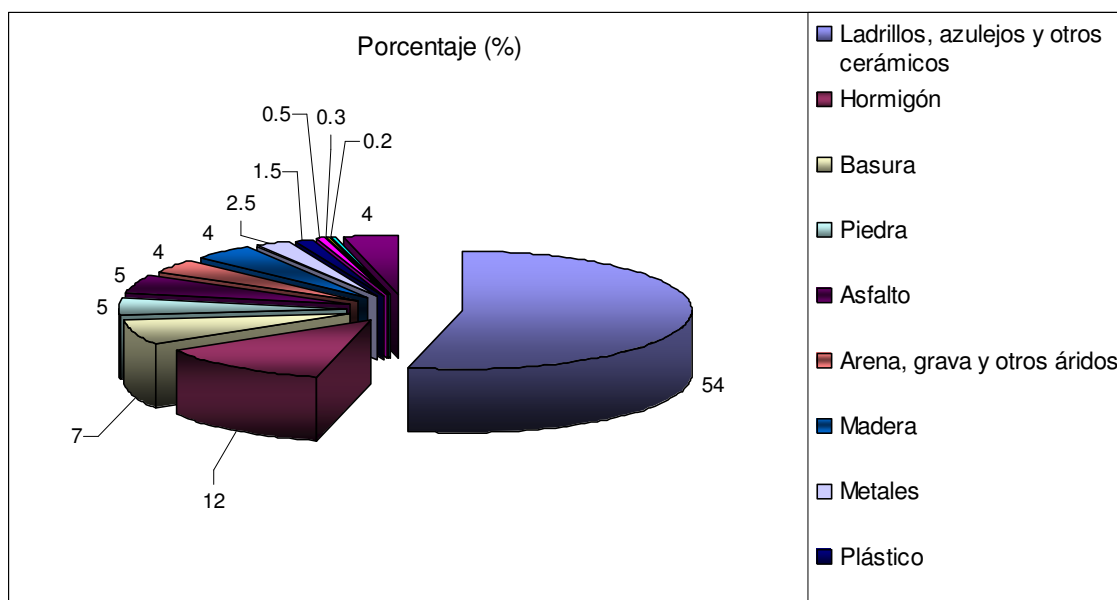


Figura 2.4 Composición física de los RESIDUOS C&D en España

ALMACENAMIENTO Y RECOLECCIÓN

Para llevar a cabo la recolección de los RESIDUOS C&D, los residuos se depositan en contenedores metálicos los cuales se cubren una vez que se han llenado y posteriormente son recogidos por las empresas de recolección. En algunas ciudades las empresas reparten pequeños sacos con capacidad de 1 o 2 m³ entre sus usuarios, para recoger pequeñas cantidades procedentes de construcciones domiciliarias o remodelaciones. Sin embargo, en ocasiones los contenedores permanecen llenos durante días en el lugar, con lo cual, llega a ser un depósito de residuos de todo tipo.

TRANSPORTE

Una vez que se recogen los contenedores, se llevan a vertederos controlados, no obstante en ocasiones son llevados a lugares marginales, vertederos mínimamente gestionados y permitidos por entes locales. (Ambientum, 2001).

REÚSO Y RECICLAJE

España, aunque cuenta con una gran cantidad de yacimientos útiles para la extracción de agregados, al pertenecer a la Unión Europea debe seguir las directrices de ésta en cuanto a

reciclaje se refiere.

Una de las comunidades más adelantadas en el reciclaje de los RESIDUOS C&D es la catalana, ya que su principal prioridad es, por un lado, producir el menor volumen posible de escombros en las obras y separar los tipos de residuo desde el origen, con el objetivo de mejorar la calidad del posterior proceso de reciclado.

Actualmente existen seis plantas de reciclaje de RESIDUOS C&D en España, tres en Cataluña, dos en el País Vasco y una en Madrid (esta última dedicada a la producción de agregados para el relleno de zanjas, subbases y bases de carreteras). (CONAMA 2006, España).

Las plantas son de tres tipos (CNC, 2004):

- Fijas
- Móviles y
- Semimóviles

Los niveles tecnológicos de éstas son:

- Nivel 1 o Tipo A: Asimilables a plantas móviles, trituradoras con criba.
- Nivel 2 o Tipo B: Nivel A + separación magnética y cribas más complejas.
- Nivel 3 o Tipo C: Nivel B + separación manual + equipos de limpieza de impurezas.

Los agregados reciclados se clasifican en 5 tipos:

- Tipo 1: RESIDUOS C&D con contenido en productos “Cerámicos” >90% en peso
- Tipo 2: RESIDUOS C&D con contenido en productos “Concreto” > 90% en peso
- Tipo 3: RESIDUOS C&D con contenido en productos “Pétreos” > 90% en peso
- Tipo 4:
 - 4A. Mezclas de cerámicos, hormigón y pétreos
 - 4B. Mezclas de los tipos anteriores con agregados naturales
 - 4C. Mezclas de los tipos anteriores con agregados artificiales
- Tipo 5:
 - 5A. Mezclas tipos 1,2, 3 y 4 con proporciones >10% en peso de materiales bituminosos
 - 5A. Mezclas tipos 1,2, 3 y 4 con proporciones <10% en peso de materiales bituminosos

En la Figura 2.5 se muestra el diagrama del proceso en una planta de valorización de RESIDUOS C&D y los residuos admitidos a tratamiento se muestran en la Tabla 2.6.

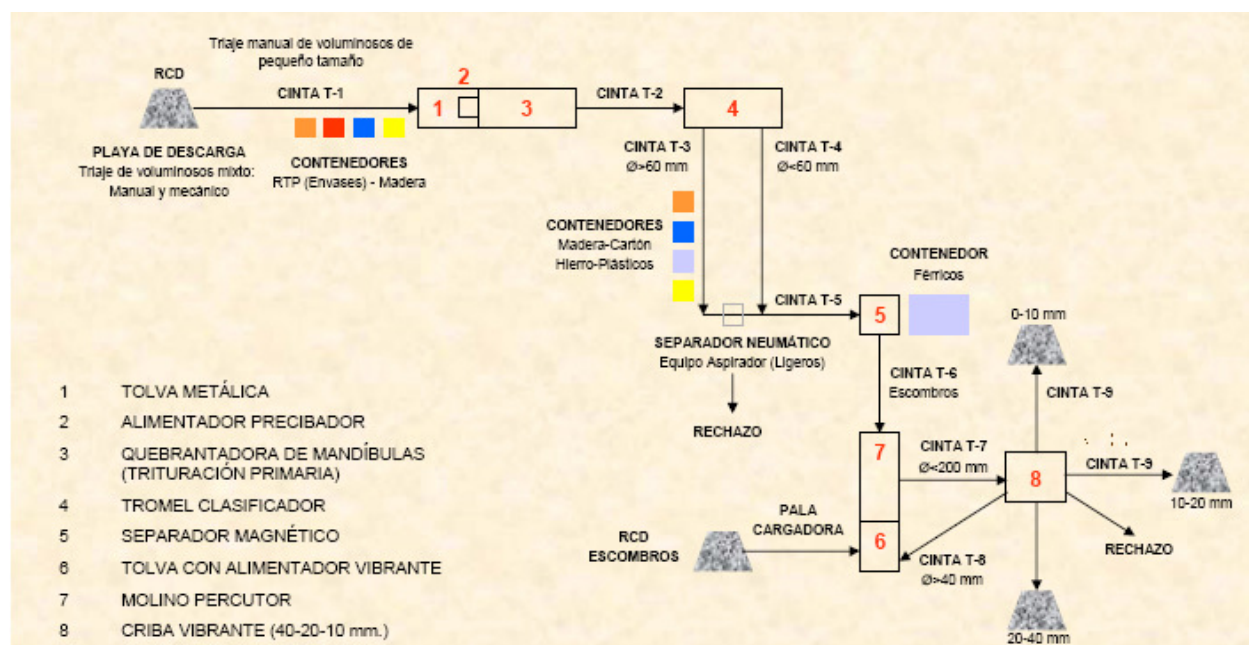


Figura 2.5 Planta de Tratamiento y valorización de RESIDUOS C&D. Esquema de Proceso

Fuente: CNC, 2004. Jornadas sobre residuos de construcción y demolición.

Tabla 2.6 Residuos admitidos para tratamiento.

CONCRETO	SUELOS Y PIEDRAS
• Concreto en masa • Concreto armado • Prefabricados: – Baldosas y bordillos, ladrillos de concreto y tuberías de concreto	• Azulejos • Solados de gres • Solados de terrazo • Piedras ornamentales
CERÁMICOS	ASFÁLTICOS
• Ladrillos • Tejas • Rasillones • Bloques	• Capas de rodadura (fresado de carpeta asfáltica)

Fuente: CNC, 2004. Jornadas sobre residuos de construcción y demolición.

TRATAMIENTO

Una opción de tratamiento mixto de los RESIDUOS C&D es emplear el escombros triturado y clasificado previamente, como material de sellado diario de los vertederos, así como en la construcción de vialidades y plataformas de vertido. (Ambientum, 2001).

Para concretar las posibilidades de reciclaje, el Ministerio de Medio Ambiente encargó al CEDEX en el 2001 un estudio para identificar las fracciones de materiales procedentes de los RESIDUOS C&D que podrían ser utilizados en ingeniería civil y obras públicas, en sustitución de materiales vírgenes.

Lo anterior resultó en la elaboración de un “Catálogo de residuos utilizables en la construcción”; este catálogo proporciona información acerca del volumen de producción, propiedades del residuo, posibles alternativas para su utilización en diferentes campos, obras realizadas, normativa técnica de aplicación y entidades que pueden facilitar información y experiencias sobre cada uno de los residuos.

Según estudios realizados recientemente en España, las aplicaciones de los agregados reciclados son las mostradas en la Tabla 2.7.

Tabla 2.7 Aplicaciones de los agregados reciclados

TIPOS DE MATERIALES	APLICACIONES
Tipo 1.- Cerámicos >90%	Material de relleno, pistas forestales, jardinería, cubiertas ecológicas, aplicaciones deportivas (tenis).
Tipo 2.- Concreto >90%	Materiales de relleno y recubrimiento, pistas forestales, zahorras para bases y subbases, agregados para morteros, agregados para concretos no estructurales, agregados para concretos estructurales.
Tipo 3.- Pétreos >90%	Material de relleno, materiales para muros y aplicaciones acústicas.

Fuente: CNC, 2004. Jornadas sobre residuos de construcción y demolición.

DISPOSICIÓN FINAL

En general, en España se vierten millones de toneladas de RESIDUOS C&D que en su mayoría, se componen de materiales inertes (80%) y, aunque la cantidad de productos tóxicos

es pequeña, lo que es alto es el poder de contaminación que tienen éstas sustancias, generalmente formadas por amiantos (asbestos), fibras, resinas, pinturas, compuestos halogenados de equipos para la protección del fuego, etc. (Ambientum, 2001)

En el manejo de los RESIDUOS C&D destacan dos comunidades, la catalana y la del País Vasco. En la comunidad catalana la licencia de obras debe indicar el volumen de residuos que se originará, el método de recogida y el lugar de tratamiento previsto. El País Vasco destaca en la gestión de estos residuos, señalando la necesidad de redactar un proyecto para la instalación de un vertedero de residuos inertes, así como la obligación de contratar un seguro de responsabilidad civil y el pago de una fianza.

El resto de las comunidades autónomas tienen una posición bastante pasiva en cuanto a la formación de un plan de gestión para regular el vertido de escombros, ya que aún es habitual el abandono ilegal de residuos de la construcción en vertederos ilegales y la gestión de estos es muy cuestionable dado que no existe control sobre la cantidad ni de la calidad de los residuos vertidos. No se realizan separaciones de RESIDUOS C&D con lo que se pierden materiales muy aprovechables y, además, se produce un amontonamiento de residuos que llega a ser muy voluminoso y sirve de refugio para ratas y otros tipos de vectores, atraídos por la existencia de materia orgánica.

La deficiencia en la gestión de estas escombreras da lugar a la emisión de humos debido a que normalmente se prende fuego en ellos para recuperar los metales, y ésto, junto con los olores desagradables y la acumulación de desechos, conlleva a una degradación del paisaje (Ambientum, 2001).

En la Tabla 2.8, se presentan los porcentajes de reutilización ó reciclaje y vertido ó incineración de los RESIDUOS C&D correspondientes a los países integrantes de la Unión Europea.

Tabla 2.8 Porcentajes de reciclaje, vertido e incineración en países miembros de la Unión Europea.

Estado miembro	Porcentaje reutilizado ó reciclado	Porcentaje vertido ó incinerado
Alemania	17	83
Reino Unido	45	55
Francia	15	85
Italia	9	91

España	<5	>95
Holanda	90	10
Bélgica	87	13
Austria	41	59
Portugal	<5	>95
Dinamarca	81	19
Grecia	<5	>95
Suecia	21	79
Finlandia	45	55
Irlanda	<5	>95
Luxemburgo	n/a	n/a
Total EU-15	28	72

Fuente: Construction and Demolition Waste management practices and their economic impacts. CE. Symonds & Ass. Febrero, 1999. (Obtenido de CNC, 2004. Jornadas sobre residuos de construcción y demolición.).

Lo anterior muestra que España se encuentra en una posición de desventaja comparado con otros países de la CEE y aún hace falta tomar medidas para que la gestión final de los RESIDUOS C&D sea más rentable económicamente. El bajo interés por el reciclaje de este tipo de residuos se debe en gran medida a que las actividades de valorización no son rentables “*per se*”, sino que el producto debe resultar competitivo en el mercado, de no ser así, no se vende y la actividad de reciclaje no es económicamente atractiva.

Otros factores que dificultan el reciclaje de los RESIDUOS C&D en España son los bajos costos de disposición de los residuos en tiraderos clandestinos, la alta disponibilidad de materiales naturales, el fuerte crecimiento económico y las recientes políticas públicas que no han incentivado a un cambio de actuación en el origen de la construcción.

UNIÓN EUROPEA

La Unión Europea surgió como respuesta a la necesidad de una unión política y económica para recuperarse de la Segunda Guerra Mundial que dejó a Europa en ruinas y a merced de Estados Unidos y la ex URSS, los dos grandes bloques que en 1946 iniciaron una guerra fría por el control de Europa, y el mundo. Sin embargo, no fue sino hasta 1957 que se firmó el Tratado de Roma que puso en marcha el Mercado Común.

Los países miembros de la Unión Europea son: Grecia, Gran Bretaña, Dinamarca, Suecia, Alemania, Francia, Bélgica, Holanda, Luxemburgo, Italia, Finlandia, España, Portugal, Irlanda y Austria. Una de sus instituciones es la Comisión Europea (CE), órgano independiente que vela por el interés general de la comunidad. La CE se ocupa de tomar decisiones y ejecutarlas en el marco del tratado de Maastricht.

La Unión Europea lleva una política común en diferentes sectores como el económico, agrario, de transporte, social, comercial y monetario. De la misma forma en lo referente a la investigación y el desarrollo tecnológico. En 1990, dada la incidencia en la generación de los RESIDUOS C&D, la Comisión Europea los consignó como un flujo preferente para estudiar su gestión y recabar la máxima minimización de los mismos así como su valorización.

La Comisión Europea ha desarrollado políticas de prevención, reutilización y valorización de residuos, a través de normas, para llevar a cabo una gestión respetuosa con la salud de las personas y el medioambiente, así como con un objetivo de la sostenibilidad. Los países miembros han adaptado dichas normas a través de trasposiciones por lo que actualmente se encuentran diferentes grados de evolución y de resultados.

Los criterios para la gestión de residuos son (CONAMA,2006):

- Evitar la producción
- Minimizar o reducir la cantidad producida
- Reutilizar
- Reciclar
- Valorizar
- Eliminar en los vertederos

Dentro de los países integrantes de la Unión Europea destacan Holanda, Bélgica y Dinamarca, debido a que han llevado a cabo una buena gestión de los RESIDUOS C&D. A continuación se muestra en la Tabla 2.9 las cantidades de producción de RESIDUOS C&D, los porcentajes correspondientes a la producción de concreto, los porcentajes de reciclaje y el número de plantas de que disponen algunos de los países miembros de la Unión Europea.

Tabla 2.9 Porcentajes de reciclaje de RESIDUOS C&D en países miembros de la CEE.

Países miembros	Producción RESIDUOS C&D (x10 ³ t)	% de residuos de concreto	% reciclado como agregado para concreto (sobre el total de RESIDUOS C&D)	Nº de plantas
Holanda	15,400	45	40	60
España	7,200	20	0	6
Alemania	74,000	34	45	440
Dinamarca	4,600	40	12.5	30
Reino Unido	60,000	50	2.5	190
Bélgica	9,500	42	16	65
Francia	28,000	40	4	80
Italia	14,100	50	4	170

Fuente: European Demolition Association (EDA). Demolition and Construction Debries: Questionnaire about an EC Priority Waste Stream. The Hague, 1992.

En la Tabla 2.10, se muestran las directivas más relevantes en cuanto a los efectos de los residuos que habitualmente se generan en las actividades de construcción y demolición.

Tabla 2.10. Legislación aplicable en materia de RESIDUOS C&D en la Unión Europea.

LEGISLACIÓN	ALCANCES
Directiva 75/442/CE	Sobre residuos, modificada por la D 91/156/CE. • Considera que la gestión de los residuos ha de tener como objetivo esencial la protección de la salud del hombre y el ambiente contra los efectos perjudiciales ocasionados por la recogida, transporte, tratamiento, almacenaje y depósito de residuos. Además de establecer como prioridades de gestión la prevención y la valorización de los residuos.
Directiva 99/31/CE	Relativa al vertido de residuos • Solicitud de autorización, • Resolución de autorización • Informe periódico de la entidad explotadora

91/689/CCE	• Informe sobre el Control de vertederos cerrados • Lista de poblaciones aisladas que no aplican la norma Relativa a los residuos peligrosos. • Tiene por objeto aproximar las legislaciones de los Estados miembros en materia de gestión controlada de residuos peligrosos, contemplando las condiciones de eliminación y gestión de los residuos peligrosos, la eficacia de la gestión de residuos teniendo en cuenta las características especiales de dichos residuos, la garantía del control de la eliminación y recuperación de los residuos peligrosos.
------------	--

Fuente: CONAMA. Gestión de Residuos de Construcción.

Actualmente la Unión Europea cuenta con un “Catálogo de Residuos”, en el cual los RESIDUOS C&D se ubican como tal en el capítulo 17, en el cual se divide a los RESIDUOS C&D en ocho sub-corrientes a nivel de cuatro dígitos:

Tabla 2.11 Catálogo Europeo de Residuos (CER), División de Residuos C&D.

17 01: concreto, ladrillos, tejas y materiales cerámicos
17 02: madera, vidrio y plástico
17 03: mezclas bituminosas, alquitrán y otros productos alquitranados
17 04: metales (incluidas sus aleaciones)
17 05: tierra (incluida la excavada de zonas contaminadas), piedras y lodos de drenaje
17 06: materiales de aislamiento y materiales de construcción que contienen asbesto
17 07: materiales de construcción a base de yeso
17 08: otros residuos de construcción y demolición

Fuente: IHOBE, 2004.

Sin embargo, también se identifican 34 corrientes que corresponden tanto a materiales específicos como a mezclas o denominaciones de carácter genérico. A estas 34 hay que añadir 16 corrientes de residuos peligrosos, los cuales se enlistan en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Corrientes de residuos peligrosos dentro de los residuos C&D, CER.

17 01 06:	Mezclas de o fracciones separadas de concreto, ladrillos, tejas y material cerámico que contienen sustancias peligrosas.
17 02 04:	Vidrio, plástico y madera que contienen sustancias peligrosas o están contaminadas por ellas
17 03 01:	Mezclas bituminosas que contienen alquitrán de hulla
17 03 03:	Alquitrán de hulla y productos alquitranados
17 04 09:	Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas
17 04 10:	Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán y/o sustancias peligrosas
17 05 03:	Tierras y piedras que contienen sustancias peligrosas
17 05 05:	Lodos de drenaje que contienen sustancias peligrosas
17 05 07:	Balasto de vías férreas que contienen sustancias peligrosas
17 06 01:	Materiales de aislamiento que contienen asbesto
17 06 03:	Otros materiales aislantes que consisten en o contienen sustancias peligrosas
17 06 05:	Materiales de construcción que contienen asbesto
17 08 01:	Materiales de construcción a base de yeso contaminado con sustancias peligrosas
17 09 01:	Residuos de construcción y demolición que contienen mercurio
17 09 02:	Residuos de construcción y demolición que contienen PCB (por ejemplo: selladores que contienen PCB, revestimientos de suelo a base de resinas que contienen PCB, acristalamientos dobles que contienen PCB, condensadores con PCB).
17 09 03:	Otros residuos de construcción y demolición mezclados que contienen sustancias peligrosas.

Fuente: IHOBE, 2004.

En lo que respecta a la Unión Europea, ésta cuenta con diversas medidas legislativas para la gestión de los RESIDUOS C&D como son:

- la restricción o prohibición sobre la disposición, obligando al generador a llevar a separar y reciclar estos residuos.
- El establecimiento de impuestos sobre la disposición, tratándose de un costo adicional al costo de recepción de los residuos en los rellenos sanitarios.
- Particularmente Alemania, que no cuenta con impuestos sobre la disposición de los RESIDUOS C&D prohíbe el vertido de aquellos que son reciclables
- La redacción de planes de gestión de residuos incluyendo objetivos de reciclaje

creciente y vertido decreciente.

- Establecimiento de “Acuerdos Voluntarios”

Para el caso concreto de Alemania, aún cuando no ha establecido un impuesto a la disposición final de los residuos, prohíbe la disposición de aquellos que sean reciclables, entre los que se incluyen los RESIDUOS C&D, de conformidad con el mandato contenido en la “Ley de Ciclos”. A continuación se muestran los impuestos con que se grava la disposición final de los RESIDUOS C&D (ver Tabla 2.13).

Tabla 2.13 Impuestos al vertido de RESIDUOS C&D en los Estados miembros de la Unión Europea

ESTADO MIEMBRO	IMPUESTOS Y COMENTARIOS
Dinamarca	45,2 €/ton, con carácter general para todos los residuos. Impuesto no finalista establecido en 1987 e incrementado en 1997. Además se grava la extracción de gravas con un impuesto a recursos naturales con 1,35 €/ton aprox.
Holanda	En Holanda se introdujo un impuesto general de carácter disuasivo para la disposición de residuos de 13,8 €/ton. A partir de aquí los impuestos sobre disposición varían de Provincia desde 13,8 €/ton a 22,8 €/ton. Desde 1997 hay una prohibición total de disponer RESIDUOS C&D
Suecia	Suecia ha introducido un impuesto general a la disposición de residuos de 30,12 €/ton
Finlandia	15 €/ton desde el 1 de enero de 1997
Bélgica	16,1 €/ton impuesto federal por declaración para importación/exportación
• Flandes	3,6 - 22,2 €/ton como carga asignada para temas especiales para residuos que van a disposición o incineración
• Valonia	9,6 - 74,45 €/ton sobre residuos peligrosos (el destino de estos impuestos son gastos ambientales)
Austria	El gravamen de la disposición está ligado a la Ley de Limpieza de Suelos Contaminados y distingue entre rellenos sanitarios conformes con el “estado del arte” de la tecnología y los no conformes, siendo además

progresiva su aplicación en el tiempo. El impuesto también difiere según de qué tipo se trate. Las cifras que se dan a continuación corresponden a los RESIDUOS C&D:

Fecha de aplicación	Relleno no conforme	Relleno conforme
1 de enero de 1997	4,3 €/ton	4,3 €/ton
1 de enero de 1998	5,7 €/ton	5,7 €/ton
1 de enero de 2001		5,7 €/ton
1 de enero de 2004		7,2 €/ton

Alemania	Propuesta de impuesto: • Residuos peligrosos: 96,3 €/ton • Residuos industriales voluminosos: 75 €/ton
Reino Unido	10 €/ton para residuos activos. Se prevé un incremento hasta los 14,5 €/ton 2,9 €/ton para residuos inactivos El impuesto entró en vigor en 1996 La recaudación se emplea para mejorar la gestión de los residuos El gobierno está considerando imponer un impuesto sobre los agregados extraídos de canteras
Italia	1 €/ton para residuos inertes que van al relleno sanitario. Para otro tipo de residuos el impuesto puede llegar hasta los 10 €/ton.
Francia	Hay un impuesto general de 6 €/ton para residuos que va a Rellenos Sanitarios Clase I y Clase II. No hay impuesto para residuos que van a Rellenos Clase III (inertes) 12 €/ton para los residuos industriales tratados.
España, Irlanda, Portugal y Grecia	No hay impuestos por disposición de residuos
Luxemburgo	No se tiene información al respecto.

Fuente: IHOBE, 2004 (Informe Symonds. The Ecotax Database of Forum for Future. DG. Environment.)

2.2.2 EXPERIENCIAS NACIONALES

GENERACIÓN (JICA, 1999)

De acuerdo al “Estudio de Manejo de Residuos Sólidos en la Ciudad de México” desarrollado en 1999 por la Agencia de Cooperación Técnica de Japón (JICA) en colaboración con la Dirección General de Servicios Urbanos de la Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal, los RESIDUOS C&D representaban para el año de 1999 el 2.14% de los residuos sólidos generados, es decir, 239.97 ton/día.

La población del D.F. en 1999, de acuerdo al censo de población y vivienda de INEGI era de 8,605,239 habitantes, es decir, corresponde una tasa de generación de RESIDUOS C&D de 10.17 kg/hab/año.

Se estima que 1 m³ de volumen de obra genera un volumen de RESIDUOS C&D de 0.068 m³, si se considera un peso volumétrico de 1.5 ton/m³, se obtiene un valor en peso de 102 kg. Por cada metro cuadrado de obra en las edificaciones, se generan 0.30 m³ de residuos; mientras que en la construcción de hoteles y hospitales, se generan hasta 50 m³ de materiales sueltos por cuarto o cama, respectivamente.

COMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS C&D

En la Figura 2.6 se indican los porcentajes aproximados de los componentes de los residuos de la construcción de acuerdo a la Secretaría de Medio Ambiente del D.F.

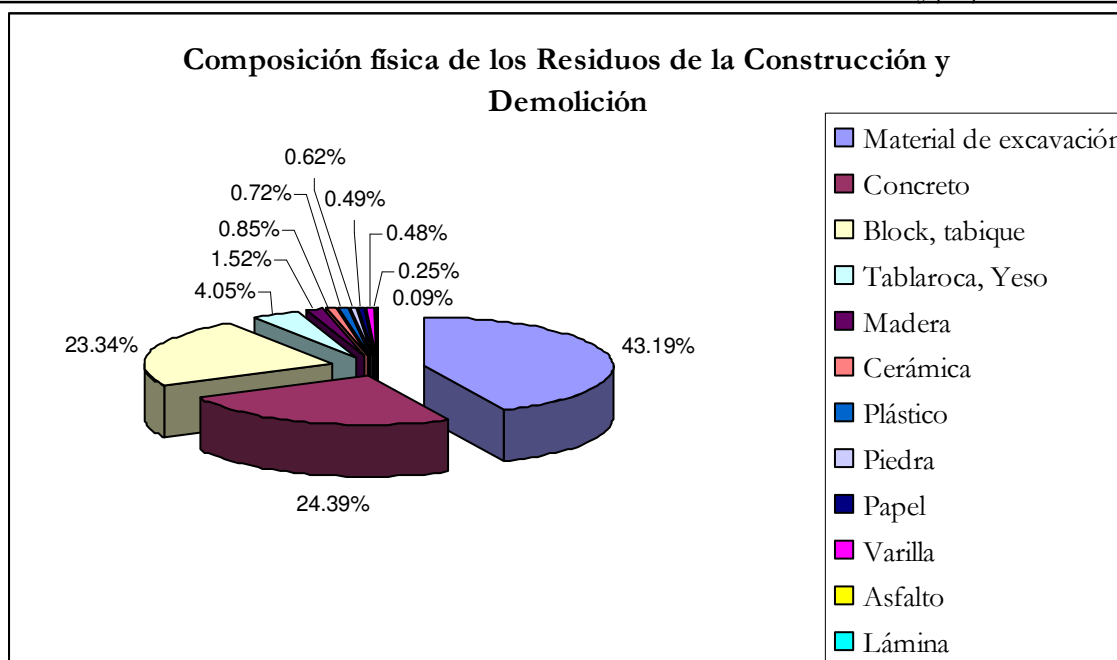


Figura 2.6 Composición física de los RESIDUOS C&D en México

Fuente: SMA, 2004. Planes de Manejo de Residuos Sólidos

ALMACENAMIENTO

Actualmente el almacenamiento temporal de los RESIDUOS C&D en el Valle de México se lleva a cabo en una determinada zona de la obra designada por el residente, en dicha zona se depositan de forma mezclada tanto residuos de la construcción como municipales, la mayoría de las veces sin el uso de contenedores.

Lo anterior debido a que generalmente no existe un plan de manejo para este tipo de residuos que contemple su valorización, de modo que la posibilidad de recuperación de materiales valorizables o con potencial de reciclaje se reduce considerablemente. Los residuos que se separan de la corriente de RESIDUOS C&D son únicamente aquellos susceptibles de ser comercializados como el cobre, el acero y la madera, mientras que materiales como los agregados van a sitios de disposición final sin haber sido aprovechados.

TRANSPORTE

El traslado de los RESIDUOS C&D corre a cargo del generador, que en ocasiones, cuando la cantidad de residuos es pequeña (producto de pequeñas demoliciones o remodelaciones en

casas habitación) espera que el servicio de limpia traslade sus residuos y cuando esto no ocurre simplemente dispone los residuos en el lugar.

Cuando se trata de cantidades considerables, el generador contrata los servicios de transportistas que llevan los residuos en vehículos tipo volteo de 7 y 14 m³ de capacidad hacia los sitios de tiro, ya sean rellenos sanitarios o tiraderos clandestinos.

El Distrito Federal cuenta con 13 estaciones de transferencia con asignaciones específicas para ciertas demarcaciones, sin embargo, no cubren en su totalidad la demanda para transferir RESIDUOS C&D.

TRATAMIENTO Y RECICLAJE

En la Ciudad de México se ha llevado a cabo empíricamente el reciclaje de los residuos de la construcción y demolición a falta de normatividad en la materia, de infraestructura necesaria para su manejo adecuado, de participación ciudadana y de un mercado para la comercialización de los subproductos susceptibles de ser valorizados.

El primer caso de reciclaje de RESIDUOS C&D en México es el de la empresa “Concretos Recicladados”; ésta se fundó en Noviembre del 2003 y pertenece a un grupo formado por cuatro empresas cuyas actividades giran en torno a la minería. Basados en la explotación de la mina “La Esperanza”, de la cual extraen arena y grava desde hace 35 años, se desarrolló una empresa de transportes, posteriormente una de concretos prefabricados y recientemente la dedicada al reciclaje de concreto.

La instalación, se encuentra ubicada en Av. del Árbol No. 106 Col. El Triángulo, al oriente de la ciudad a un costado del cerro Yehualique, en la delegación Iztapalapa (Figura 2.7). El monto de la inversión inicial fue de 2 millones de dólares, su superficie abarca diez hectáreas de las cuales cinco están destinadas al reciclaje de materiales de construcción y demolición. Cabe destacar que actualmente es la única empresa de este tipo en México.



Figura 2.7 Ubicación de la planta "Concretos Reciclados".

Fuente: Google Earth, 2007

Capacidad instalada y operativa

La planta cuenta con una capacidad de producción de 250 toneladas por hora, 4,000 ton/día en dos turnos de 8 horas; aún cuando actualmente sólo opera intermitentemente con 20-30 m³/día de escombros.³ Para que los residuos sean susceptibles de reciclaje en la planta, debe asegurarse que se encuentran libres de basura, madera, plástico, papel, textiles y materiales tóxicos; es decir, que no están contaminados.

Los materiales aceptados en la planta para su reciclaje son: concreto limpio, concreto armado, tabiques, ladrillos, adocretos, arcillas, cerámicos, mortero, block, mamposterías, algunos limos y fresado de carpeta asfáltica.

Zonas de la República Mexicana de donde se reciben materiales

La recepción de material proviene principalmente de las colonias cercanas a la planta y un poco más de la Zona Metropolitana pero realmente falta materia prima que cubra su capacidad

³ Concretos Reciclados S.A. de C.V., Datos obtenidos mediante entrevista personal con el Ing. Enrique Granel, el 26 de octubre de 2005.

instalada operativa. Se calcula que se generan 4,000 toneladas/día de escombros en la Zona Metropolitana, pero la cantidad que llega a la planta es insignificante.

Personal de Operación

El personal que participa en la operación del reciclado de los desechos sólidos está conformado por seis personas, un trabajador que opera la pala mecánica, un obrero que supervisa la operación de la trituradora, un operador del cono de trituración, dos obreros que realizan una limpieza manual al material triturado y un obrero que supervisa las descargas de los camiones de transporte de residuos; cabe mencionar que el reciclado de materiales de construcción es sólo una de las actividades de la planta y que principalmente desarrollan trabajos relacionados con la industria minera por lo que la planta cuenta con una plantilla de 35 empleados, entre los cuales se cuenta con personal administrativo, operadores y obreros. Una observación es que actualmente la planta no trabaja regularmente por la falta de materia prima, pero se contempla que cuando la planta trabaje a su capacidad normal el personal que operaría el proceso de reciclado aumentaría a 15 personas.

Equipo que opera regularmente

La trituradora que se tiene es conocida como TROMEL, de origen Inglés marca EXIN y se encuentra completamente automatizada, ésta reduce tritura los residuos de construcción a diámetros de 3" y $\frac{3}{4}$ " a finos. La capacidad de esta trituradora es de 46 ton/día. Por otra parte se cuenta con un cono de trituración para reducir el material de 3" y de $\frac{3}{4}$ " a un diámetro de $\frac{3}{4}$ " a finos.

Para hacer una separación por tamaño del material triturado se emplea una criba de marca Extec, la cual separa los triturados por diámetros de 3", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{3}{8}$ ", y $\frac{1}{4}$ "

Para alimentar de material a reciclar a la trituradora se utiliza una pala mecánica. Todas estas maquinarias están montadas en orugas mecánicas que les dan gran movilidad para trasladarse a distintos sitios de la planta.

Cuando la planta está en funcionamiento todos los equipos mencionados trabajan al mismo tiempo porque es un proceso acoplado; es decir que para que trabaje un equipo tiene que ser alimentado de un equipo anterior y la operación es continua.

Descripción del Proceso

La materia prima es recibida en camionetas de 3 toneladas y en camiones de 7 m³, al entrar a la planta se realiza una inspección visual de los materiales de construcción, esto con el fin de que no contengan residuos sólidos como madera, plásticos, vidrio, desperdicio de jardines, materiales orgánicos y basura en general. Se toman datos generales del vehículo, de la procedencia de los residuos, cantidad, etc.



Figura 2.8 Acceso a la planta

Una vez que se autoriza la entrada del vehículo, el material es transportado hasta el área de almacenamiento. Cabe destacar que esta área está ubicada en una depresión de 40 metros, resultado de la explotación de la mina; para tener acceso a ésta se baja por un camino de terracería con una pendiente aproximada de 20%.

En el área de almacenamiento, el transporte de carga vacía los residuos de construcción y abandona la planta. Una vez vaciados los residuos se agrupan según su composición. Es decir si los residuos son puramente de concreto, pedacearía de azulejo, tabique o una mezcla de los anteriores, se separan. El material almacenado es rociado con agua antes de su trituración para evitar la emisión de partículas de polvo (Figura 2.9).



Figura 2.9 Riego del material almacenado.

El siguiente paso consiste en alimentar los residuos, por medio de una pala mecánica, a la trituradora (Figura 2.10). Ésta, por medio de quijadas metálicas reduce los materiales de construcción a un diámetro de 3", 3/4" y finos. Estos materiales son transportados por medio de una banda mecánica a una criba. Antes de llegar a la criba se separan por medio de un electroimán los residuos metálicos que estén presentes en los desechos de construcción, que principalmente son varillas, clavos, alambón y alambre recocido. Los residuos metálicos separados son posteriormente enviados a un contenedor de residuos sólidos o son vendidos para su reciclaje.



Figura 2.10 Alimentación del proceso por medios mecánicos.

El material triturado de 3" y mayor a 3/4" es separado en la criba y enviado a un cono de trituración por medio de una banda mecánica (Figura 2.11). En el cono de trituración se separan los materiales de 3" de los mayores de 3/4". Los materiales reciclados de 3" se envían al almacenamiento y se realiza una limpieza manual, donde se les retira materiales como madera, plásticos y basura; después de esta limpieza manual el material se encuentra listo para su venta.

Los materiales mayores a 3/4” son triturados en el cono a un diámetro de 3/4” a finos y son nuevamente enviados a la criba, por medio de bandas transportadoras.



Figura 2.11 Cono de trituración

La criba separa el material triturado por tamaños, como son: 3/4” a finos, 1/4” a finos y de 3/8” a finos. El material triturado se envía por medio de bandas transportadoras al lugar de almacenamiento, donde se le hace una limpieza manual, retirando residuos de madera, plástico, vidrio y residuos sólidos remanentes (Figura 2.12). El material separado es enviado a un contenedor de desechos sólidos y posteriormente a un relleno sanitario. Al final del proceso, el material reciclado es puesto a la venta (Figura 2.13). En la figura 2.14 se puede observar el diagrama de flujo del proceso de reciclaje de la planta.



Figura 2.12 Bandas transportadoras



Figura 2.13 Producto final

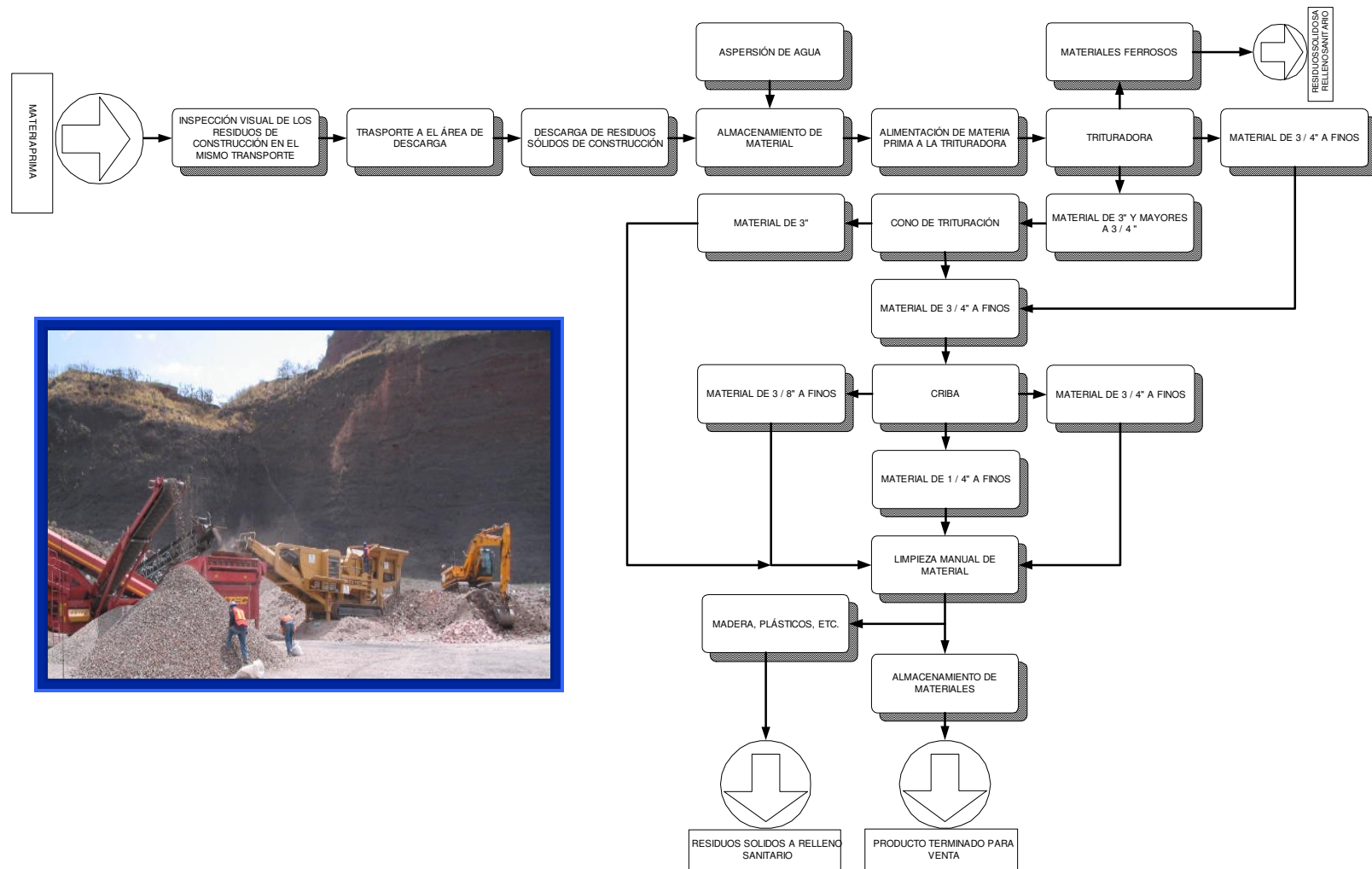


Figura 2.14 Diagrama de flujo del proceso

2.3 MARCO JURÍDICO

A continuación se presenta un esquema del marco legal aplicable en materia de residuos de la industria de la construcción, sin embargo, cabe señalar que son limitadas las disposiciones jurídicas que se aplican directamente a este rubro.

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE (LGEEPA)

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) tiene por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para la preservación, restauración y el mejoramiento del ambiente; la preservación y protección de la biodiversidad; el aprovechamiento sustentable, la preservación y en su caso la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales de manera que sean compatibles con la obtención de los beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas; la prevención y control de la contaminación del aire, agua y suelo (LGEEPA, 2003).

El Capítulo IV de Prevención y Control de la Contaminación del Suelo establece que los residuos son la principal fuente de contaminación de los suelos, por lo que es necesario prevenir y reducir su generación, incorporar técnicas y procedimientos para su uso y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficientes. En el Artículo 137 del mismo capítulo se establece que “queda sujeto a la autorización de los Municipios o del Distrito Federal, conforme a sus leyes locales en la materia y a las normas oficiales mexicanas que resulten aplicables, el funcionamiento de los sistemas de recolección, almacenamiento, transporte, alojamiento, reúso, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos municipales (LGEEPA, 2003). Con lo anterior, la LGEEPA delega la responsabilidad del manejo de los residuos sólidos, dentro de los que se encuentran los RC&D al gobierno local, haciendo énfasis en las medidas para la gestión integral de los residuos.

LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS (LGPGIR)

La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) entró en vigor el 5 de enero de 2004, sustituye y complementa disposiciones de la Ley General de

Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), así como del Reglamento de la LGEEPA en materia de residuos peligrosos (Martínez, 2004). Tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona a un ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable mediante la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, sólidos urbanos y de manejo especial.

La LGPGIR modifica la clasificación Federal de los residuos e introduce el concepto de Residuos de Manejo Especial, que de acuerdo al Artículo 5 “son aquellos generados en los procesos productivos, que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos”. El Artículo 9 establece que “son facultades de las Entidades Federativas autorizar el manejo integral de residuos de manejo especial; “promover la creación de infraestructura para el manejo integral de residuos sólidos urbanos, de manejo especial y residuos peligrosos”, “promover programas de prevención de la contaminación de sitios con tales residuos y su remediación”. Por lo anterior, de acuerdo a la LGPGIR los residuos de manejo especial son regulados por las entidades federativas y los sólidos urbanos por los gobiernos municipales, así mismo, modifica de manera importante los criterios de responsabilidad de los generadores sobre la base de volúmenes de generación y tipo de residuos.

El Artículo 19 clasifica a los residuos de manejo especial en nueve categorías, situando a los residuos de la construcción y demolición (RESIDUOS C&D) en la categoría VII y de acuerdo al Artículo 20 estos residuos deberán estar sujetos a planes de manejo diseñados bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral teniendo como objetivo la valorización de los residuos, debiendo ser aprobados por la Secretaría.

LEY DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL DISTRITO FEDERAL (LRSDF)

La Ley de Residuos sólidos tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia. Al igual que la LGPGIR clasifica a los RESIDUOS C&D como residuos que deben ser manejados de manera especial tanto por la cantidad de material involucrado y su impacto en el ambiente cuando son dispuestos de forma inadecuada, como por su potencial de reúso y reciclaje.

El Artículo 3º define a los *residuos de manejo especial* como aquellos “que requieran

sujetarse a planes de manejo específicos con el propósito de seleccionarlos, acopiarlos, transportarlos, aprovechar su valor o sujetarlos a tratamiento o disposición final de manera ambientalmente adecuada y controlada”.

De acuerdo al Título Tercero de la Prevención y minimización de la generación de los residuos sólidos, Artículo 21, “toda persona que genere residuos sólidos tiene la propiedad y responsabilidad de su manejo hasta el momento en que son entregados al servicio de recolección, o depositados en los contenedores o sitios autorizados para tal efecto por la autoridad competente”. En el mismo capítulo el Artículo 25 establece que “queda prohibido arrojar o abandonar en la vía pública, áreas comunes, parques, barrancas, y en general en sitios no autorizados, residuos sólidos de cualquier especie”. Por lo cual, de conformidad con el Artículo 26 “los propietarios, directores responsables de obra, contratistas y encargados de inmuebles en construcción o demolición, son responsables solidarios en caso de provocarse la diseminación de materiales, escombros y cualquier otra clase de residuos sólidos”; evitando además acumular los RESIDUOS C&D en la vía pública. Lo anterior implica que los generadores deberán transportar los RESIDUOS C&D en vehículos adecuados hasta los sitios de disposición final autorizados por la Secretaría de Obras y Servicios.

PROYECTO DE REGLAMENTO DE LA LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS (RLGPGIR)

De acuerdo al Reglamento de la LGPGIR, y con el fin de prevenir la generación de residuos, es de interés público “la ejecución de programas destinados a la promoción de actividades de reciclaje y reutilización de materiales”.

El Artículo 15 del Reglamento subdivide a los *residuos de manejo especial* en las siguientes categorías:

1. Por la fuente que los genera:

- a) Los generados en procesos productivos
- b) Los producidos por grandes generadores de residuos sólidos urbanos

2. Por sus propiedades y características inherentes:

- a) Los que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos
- b) Los que no reúnen las características para ser considerados como sólidos urbanos

El Artículo 22 menciona que las Normas que la Secretaría expida para la clasificación de los residuos sólidos y de manejo especial, deberán contener “los criterios que deberán tomarse en consideración para determinar a los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que estarán sujetos a plan de manejo”.

El Capítulo establece en el Artículo 41 la información básica necesaria que deberán contener los Planes de Manejo, los cuales deberán tener como objetivos “la minimización de la generación el reciclado, reutilización, tratamiento dejando como última opción su disposición final”.

El Título Sexto de la Prevención y Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial establece en su Artículo 208 que las Normas que la Secretaría expida “determinarán los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que puedan ser depositados en confinamientos controlados”, así mismo definirán “los términos a que deberán sujetarse la ubicación de dichos sitios, el diseño, la construcción y la operación”. No obstante, hasta el momento no se han expedido Normas Federales en cuanto al Manejo específico de los residuos de la construcción.

REGLAMENTO DE IMPACTO AMBIENTAL Y RIESGO, PARA EL DISTRITO FEDERAL

En materia de residuos, el Reglamento de Impacto Ambiental y Riesgo reconoce a los de la construcción y demolición RC&D y hace mención en su Capítulo III del manejo que debe llevar a cabo el generador en las diferentes etapas del ciclo de vida de estos residuos.

En el caso de la construcción de Conjuntos habitacionales que no se encuentran incluidos dentro de los supuestos del Apartado J Artículo 6, el manejo debe realizarse de la siguiente manera:

Disposición Final: En esta etapa se hace una distinción entre los residuos reciclables y los no reciclables, mencionando que los no reciclables deberán ser dispuestos en sitios autorizados conservando en el sitio de la obra un Plan de Manejo de Residuos Sólidos así como los comprobantes de ingreso de los transportistas que acrediten la cantidad de material recibida y la fecha de recepción.

Manejo, transporte y aprovechamiento: sólo establece que debe llevarse a cabo de acuerdo con las disposiciones que establece la legislación y reglamentación correspondiente para el Distrito Federal.

Y adicionalmente menciona que de generarse residuos catalogados como peligrosos, su manejo, transporte y aprovechamiento deberá realizarse conforme a lo dispuesto en la legislación federal correspondiente.

El Artículo 31 de este Reglamento establece que en las demoliciones hechas en suelo urbano realizadas por medios mecánicos y cuya superficie de construcción no rebasen los diez mil metros cuadrados, los escombros o residuos producto de dicha actividad podrán colocarse momentáneamente en las banquetas de la vía pública, sin invadir la superficie de rodamiento, durante el horario de las 8:00 a las 18:00 horas, y siempre deben estar vallados y no obstruir por completo el paso peatonal.

Dentro del Artículo 40 se establece que la modalidad general en las Manifestaciones de Impacto Ambiental deberá presentar en lo referente a residuos:

- I. Un programa de preparación del sitio, demolición y construcción, así como
- II. Plan de manejo de los residuos que se generan durante las diferentes etapas de ejecución de la obra o actividad.

Y que la Modalidad Específica deberá contener además de lo anterior, según el artículo 41, lo siguiente:

- I. Memoria técnica del proyecto
- II. Descripción detallada de las características biológicas del área del proyecto
- III. Descripción detallada de los ecosistemas y del paisaje existente en el área del proyecto
- IV. Descripción del escenario ambiental modificado

CON ESTUDIO DE RIESGO.

El artículo 42 establece que para esta modalidad la manifestación de impacto ambiental deberá contener la descripción de los residuos generados, incluyendo, en su caso, tecnologías y sistemas de manejo y descripción de emisiones atmosféricas; debiéndose observar los siguientes puntos:

- I. Se deberá minimizar la dispersión de polvos mediante riegos de agua tratada
- II. Los escombros o residuos producto de la demolición deberán retirarse en un plazo no mayor de treinta días hábiles a partir del término de la demolición.
- III. Los camiones transportistas que trasladen los residuos deberán circular en los horarios permitidos por la autoridad competente y por rutas debidamente programadas.
- IV. Dichos camiones deberán circular siempre cubiertos por lonas, incluso vacíos, para evitar la fuga de materiales y emisiones de polvo.
- V. La disposición final de los residuos de la construcción que no sean reciclables deberá realizarse en sitios autorizados debiendo conservar en el lugar de la obra el Plan de Manejo de Residuos Sólidos, así como los comprobantes de ingreso de los camiones transportistas que acrediten la fecha de recepción y la cantidad de material recibida.
- VI. El manejo, transporte y aprovechamiento de estos residuos se deberá realizar conforme a las disposiciones que establece la legislación y reglamentación correspondientes.
- VII. Los materiales susceptibles de reciclaje como: fierro estructural, tubular, cancelería y vidrio, concreto armado, concreto limpio, tabiques, ladrillos, adocretos, materiales cerámicos, mortero, block, mampostería, materiales arcillosos o tepetatosos, y fresado de carpeta asfáltica, entre otros, deben ser puestos a disposición de empresas autorizadas en el manejo y reciclaje de estos residuos.

NORMA AMBIENTAL DEL DISTRITO FEDERAL NADF-007-RNAT-2004

La Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2004 que entró en vigor en julio de 2006, es la única en su tipo en el territorio Nacional. Establece la clasificación y especificaciones de manejo de residuos de la construcción buscando fomentar su manejo adecuado, reúso y reciclaje. Regula las condiciones y requisitos para la generación, transporte y manejo de residuos de la construcción para optimizar su control, fomentar su aprovechamiento y minimizar su disposición final inadecuada.

Es de aplicación obligatoria en el territorio del Distrito Federal para los generadores de los residuos de la construcción y prestadores de servicio que intervengan en la generación, recolección, transporte, aprovechamiento o disposición final.

La Norma define a los residuos de la construcción como “los materiales, productos o subproductos generados en los procesos de las actividades de excavación, demolición, ampliación, remodelación, modificación o construcción tanto pública como privada”. Clasifica a los generadores de RESIDUOS C&D en dos categorías de acuerdo al volumen y establece los requerimientos ambientales que deben cumplir, como lo muestra la Tabla 2.14.

Tabla 2.14 Categoría y requerimientos ambientales de los generadores de RC&D

CATEGORIA	REQUERIMIENTOS
MAYOR O IGUAL A 3 m ³	Presentación del plan de manejo de residuos de acuerdo a lo establecido por las disposiciones jurídicas aplicables
MENOR DE 3 m ³	Recolección mediante la contratación de un prestadores servicios (transportista) o la Delegación correspondiente. Sin presentación de plan de manejo de residuos

Al igual que la LGPGIR, la NADF-007-RNAT-2004 establece la responsabilidad compartida, la cual se refiere a que el generador de residuos de la construcción y el prestador de servicios son responsables solidarios del manejo hasta el destino final de los residuos.

En cuanto al aprovechamiento de los RESIDUOS C&D establece que los generadores deberán “enviar a reciclaje por lo menos un 30% de los residuos clasificados en la sección A”...

Dentro de estas especificaciones establece que deberán sustituirse por lo menos un 25% de materiales vírgenes por materiales reciclados en la construcción de diferentes obras, salvo que se compruebe mediante estudios y pruebas de laboratorio un porcentaje diferente; teniendo como último recurso la disposición final de los residuos que no puedan ser aprovechados.

REGLAMENTO DE CONSTRUCCIONES DEL DISTRITO FEDERAL

De acuerdo al Reglamento de Construcciones en lo que compete a los RESIDUOS C&D

de la construcción, el Artículo 12 establece que “no se autoriza el uso de vías públicas para el depósito de basura y otros desechos”...Sin embargo, el Artículo 188 establece que “los materiales de construcción, escombros u otros residuos con excepción de los peligrosos, generados en las obras, podrán colocarse en las banquetas de vía pública por no más de 24 horas, sin invadir la superficie de rodamiento y sin impedir el paso de peatones y de personas con discapacidad”.

Por su parte, el Artículo 189 señala que “los vehículos que carguen o descarguen materiales para una obra podrán realizar sus maniobras en la vía pública durante los horarios que autorice la Delegación”.

En lo que respecta al manejo de los residuos, el Artículo 190 establece que “los escombros, excavaciones y cualquier otro obstáculo para el tránsito en la vía pública, originados por obras públicas o privadas, serán protegidos con barreras, cambio de textura o borde en piso a una distancia mínima de un metro para ser percibidos por los invidentes y señalados por los responsables de las obras con banderas y letreros durante el día y con señales luminosas claramente visibles durante la noche”.

Y el Artículo 243 señala que “los materiales, desechos y escombros provenientes de una demolición deben ser retirados en su totalidad en un plazo no mayor de 30 días hábiles contados a partir del término de la demolición y bajo las condiciones que establezcan las autoridades correspondientes en materia de vialidad, transporte y sitio de disposición final”.

2.4 COMENTARIOS

Dadas las experiencias internacionales en cuanto a la gestión de los RESIDUOS C&D, los principales enfoques ambientales empleados para la utilización de estos son la elaboración de estudios de impacto ambiental que determinen los efectos que los materiales puedan causar en cada proyecto y la determinación de las posibles aplicaciones para los agregados reciclados.

Es por ello que en el siguiente capítulo se hace una revisión de los impactos que provocan los materiales de construcción durante su ciclo de vida, en especial en la etapa de disposición final, ya que en ésta se han observado importantes cambios debido a la

falta de gestión de los RESIDUOS C&D en la Ciudad de México.

Por lo anterior, se presenta una propuesta de metodología para la identificación de impactos ambientales, que podría contribuir al manejo adecuado de los RESIDUOS C&D y la cual fue aplicada en cuatro sitios de disposición inadecuada en el Valle de México.

CAPÍTULO 3

IMPACTO AMBIENTAL

CAPÍTULO 3. IMPACTO AMBIENTAL

En México como en otras partes del mundo, la industria de la construcción se ha beneficiado durante años por la explotación de bancos de agregados naturales de calidad deseable. No obstante, la sobreexplotación de los recursos no renovables ha repercutido en su escasez y encarecimiento.

Actualmente, el reto para la construcción de caminos es implementar métodos para el aprovechamiento de los RESIDUOS C&D como agregados, lo que se traduciría en beneficios diversos como:

- La conservación de recursos naturales,
- Reducción del volumen de residuos enviados a disposición final
- Disminución en los costos de materiales de construcción
- Disminución en los costos de disposición final
- Reducción en la demanda de acarreo de RESIDUOS C&D
- Disminución de sitios de disposición inadecuada

Por lo tanto, el reto consiste no sólo en identificar aquellos materiales que reúnan las características físicas necesarias sino además, asegurar la calidad del ambiente; lo que requiere considerar los impactos ambientales que pueden provocar los RESIDUOS C&D cuando son dispuestos en sitios clandestinos. Para ello, en el presente capítulo se lleva a cabo la identificación de impactos ambientales en sitios de disposición inadecuada y la propuesta de medidas de mitigación a los impactos identificados.

De la misma forma se realiza una revisión de manifestaciones de impacto ambiental de diferentes obras construidas en la Ciudad de México con el objeto de comparar las acciones tomadas con respecto al manejo de los residuos de la construcción y demolición.

Y con el fin de obtener un panorama más amplio de este tipo de residuos, se hace una revisión de diversas obras de ingeniería para determinar los diversos tipos de residuos que se generan en ellas.

3.2 CICLO DE VIDA DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

Los impactos ambientales generados por las actividades de la industria de la construcción deben considerarse desde una perspectiva global y no sólo limitarse a desalojar los residuos que se producen durante la construcción, remodelación o ampliación de edificaciones e infraestructura urbana; por ello, en este trabajo se presenta un enfoque integral del manejo de los residuos, con base en el ciclo de vida de los productos de la industria de la construcción, desde su extracción hasta su disposición final, identificando los impactos producidos en cada una de esas etapas. En la Figura 3.2 se representa de manera esquemática y resumida el ciclo de vida de los materiales de construcción desde su extracción hasta su disposición final, los cuales se explican posteriormente.

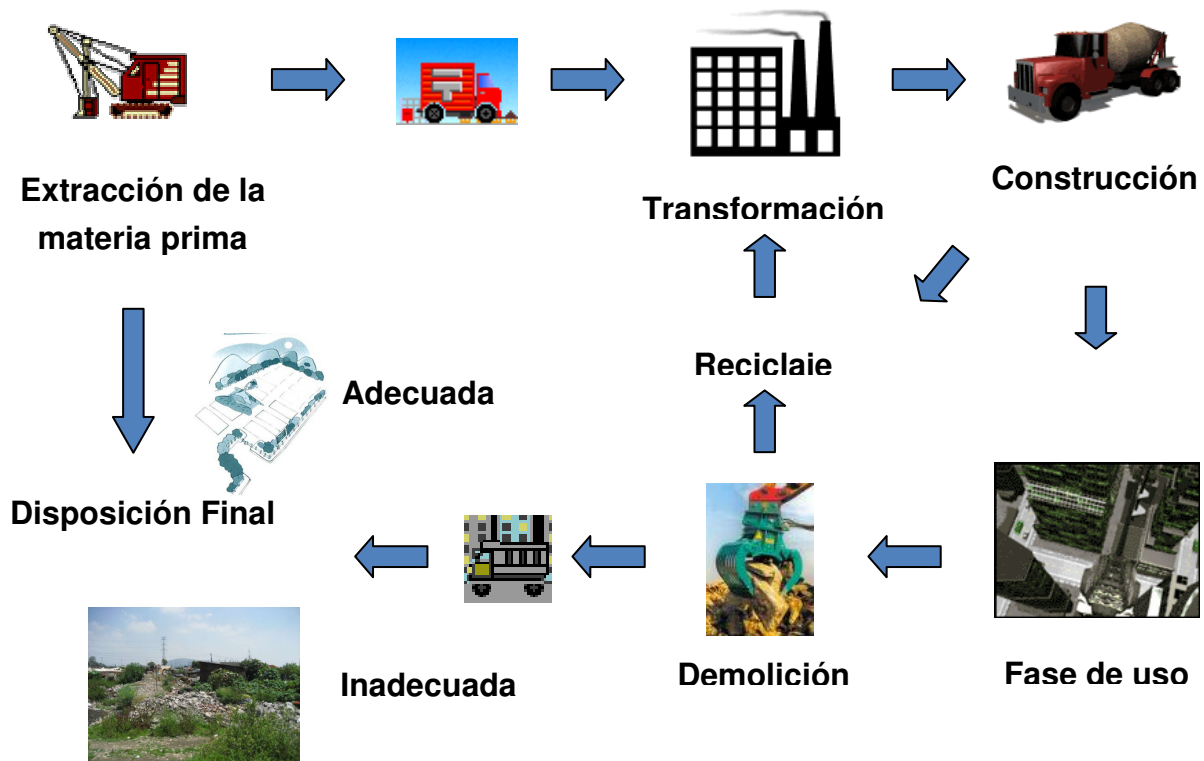


Figura 3.1 Ciclo de vida de los materiales de construcción

3.1.1 IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS QUE PROVOCAN LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN CADA ETAPA DE SU CICLO DE VIDA

El análisis del ciclo de vida de los materiales es un tipo de evaluación que ha ido creciendo en aplicación a nivel mundial, como método para determinar impactos ambientales. En este análisis se deben identificar las principales etapas del ciclo así como otros factores que provocan impactos, lo anterior requiere conocer los principios básicos del ciclo de vida y la actividad del producto en cuestión.

El desarrollo de nuevos métodos para el análisis de impacto ambiental de materiales y construcciones y para su comparación con principios ecológicos está tomando mayor importancia últimamente, especialmente en la industria de la construcción (Harpa, 2005).

A continuación se analiza el ciclo de vida de los materiales de construcción, para lo cual es necesario conocer primero los tipos de obras que los generan. En la Tabla 3.1 se muestra una clasificación general de las obras de ingeniería civil y los residuos generados en éstas y en la Tabla 3.2 se presentan los posibles impactos ambientales que provocan los materiales de la construcción de acuerdo a su ciclo de vida.

Tabla 3.1 Obras de ingeniería y residuos generados por las mismas

			RESIDUOS GENERADOS EN LAS OBRAS DE INGENIERÍA CIVIL																													
			Residuos aprovechables para reciclaje											Residuos de excavación					Residuos sólidos													
			Adoqueros	Concretos limpios	Concretos Armados	Concretos Asfálticos	Materiales cerámicos	Fresado Asfáltico	Mampostería	Tepetatosos	Tabiques	Ladrillos	Teja	Blocks	Mortero	Poltos	Suelo Orgánico	Suelos no contaminados y materiales arcillosos	Otros materiales minerales no cont. y no peligrosos	Rocas	Cartón	Madera	Metales	Metales no ferreos	Papel	Plástico	Residuos de podas, hojarasca y tala de	Tablaroca	Yeso	Vidrio	Prod. Bituminosos	Cal
Obras de Edificación	Urbanas	Viviendas	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Industriales	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Comerciales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Institucionales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
		Servicios Municipales	X	X	X	X		X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X
		Centros Recreativos y de Espectáculos	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Rurales	Monumentos y obras de ornato	X	X	X	X			X					X	X	X	X	X			X	X		X	X	X						
		Agrícolas		X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X
		Pecuarías		X	X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X		X	X	X	X	X
		Industriales	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Obras para el Manejo del Agua	Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable		X	X				X	X				X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X						
	Sistemas de Alcantarillado		X	X				X	X				X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X						
	Sistemas de Irrigación		X					X	X				X	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X						
	Obras de Generación de Energía Eléctrica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Obras de Protección Fluvial		X	X	X								X	X	X	X	X			X				X	X	X						
	Obras de Protección Marítima		X	X															X		X			X	X						X	
	Obras de Recreación	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Obras para sistemas de transportes	Carreteras			X	X		X								X	X	X	X	X				X	X	X						X	X
	Ferrocarriles			X											X	X	X	X	X		X	X		X	X	X						
	Aereopuertos			X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Transmisión de energía			X		X		X	X						X	X	X	X	X		X			X	X	X						
	Obras de Acondicionamiento para la navegación fluvial		X										X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X						
Obras de Acondicionamiento para la navegación marítima		X	X	X			X		X			X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X						

Fuente: Gutiérrez, 1980.

Tabla 3.2 Impactos Ambientales en el ciclo de vida de los materiales de construcción

		ETAPAS DEL CICLO DE VIDA DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN	E X T R A C C I Ó N	T R A N S F O R M A C I Ó N	C O N S T R U C C I Ó N	M A N T E N I M I E N T O	D E M O L I C I Ó N	D I S P · F I N A L
F · A M B I E N T A L E S		IMPACTOS AMBIENTALES						
	AGUA	Eventual deterioro de la calidad del agua subterránea	x	x	x	x	x	x
		Eventual deterioro de la calidad del agua superficial	x	x	x	x	x	x
		Modificación de las características de flujo del agua superficial	x					x
	SUELO	Cambio del uso de suelo	x		x			x
		Vertido de residuos líquidos	x	x	x	x	x	x
		Generación de residuos sólidos	x	x	x	x	x	x
	AIRE	Emisiones a la atmósfera	x	x	x	x	x	x
	FLORA	Modificación de la cubierta vegetal	x					x
	FAUNA	Proliferación de fauna nociva						x
	SOCIO ECONÓMICOS	Ruido	x	x	x	x	x	
		Impacto visual	x	x	x	x	x	x
		Disminución del valor económico del sitio						x
		Formación de asentamientos humanos irregulares						x
		Obstrucción de vías de comunicación						x
		Azolve del sistema de alcantarillado						x

A continuación se detallan los impactos observados a través del ciclo de vida de los materiales de construcción.

EXTRACCIÓN

Las industrias extractivas, como minas o canteras, así como de manufactura de los materiales extraídos (mármoles, granitos, carbón, cemento, etc.) almacenan los remanentes de sus actividades extractivas muchas veces de manera indiscriminada y desordenada, que acumulados a lo largo de varios años generan verdaderas colinas multiformes e irregulares que modifican las condiciones del paisaje, que afecta el entorno natural y en muchas ocasiones estos lugares son utilizados como tiraderos de otro tipo de residuos como los municipales, incrementando los impactos ya no sólo ambientales sino también en perjuicio de la salud de los habitantes y de los propios trabajadores. Los principales impactos negativos son:

- Deterioro del escenario natural al incorporar materiales irregulares, multiformes y deteriorados que no concuerdan con el paisaje predominante (Impacto Visual).
- Obstaculizan los escurrimientos de lluvia reduciendo humedad necesaria para la vegetación que crece aguas abajo.
- Reducen el área útil de crecimiento vegetal ya sea natural o agrícola.
- Al convertirse en tiraderos a cielo abierto donde se incorporan residuos municipales, se convierten en focos de infección e incendio que afectan a la salud humana.
- Se afecta a la fauna que vive en el entorno al cerrarse o modificarse sus caminos habituales.



Figura 3.2 Extracción de material en banco

TRANSFORMACIÓN

Las empresas que industrializan los productos extraídos de los bancos de materiales normalmente se preocupan por lograr las mayores eficiencias en la producción y frecuentemente desatienden la prevención y el control de la contaminación. La gran demanda de materiales pétreos que existe influye en gran medida a atender más el rendimiento de los productos que el resguardo ambiental. Los impactos ambientales negativos asociados en esta etapa son:

Emisiones a la Atmósfera; la utilización de maquinaria y vehículos de carga y transporte que utilizan combustibles como gasolina y diesel, emiten gases producto de la combustión como Óxidos de Nitrógeno y Azufre que incrementan la concentración de estos gases en la atmósfera. Con el movimiento de materiales térreos o particulados como el cemento, el yeso y la cal se emiten polvos que, por su ligereza, son transportados y depositados en el suelo o en la misma vegetación causando cambios en las características físicas y químicas del suelo absorbiendo su humedad y reduciendo su porosidad, convirtiéndolos en impropios para la agricultura.

Eventual deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea; En los procesos de transformación de la materia prima se hace uso del recurso hídrico. Un ejemplo de ello es la industria del cemento, en la cual el único efluente es el agua de enfriamiento, que puede ser eliminada con torres de enfriamiento o piscinas. Sin embargo, en algunos casos las plantas pueden lixiviar el polvo del horno que se ha recolectado, a fin de eliminar el álcali

soluble antes de volver a alimentarlo al horno, por lo que el líquido lixiviado de las áreas de almacenamiento de los materiales y de eliminación de los desechos puede ser una fuente de contaminantes para las aguas superficiales y subterráneas, cuando son vertidas sobre el terreno sin ningún tratamiento.

Vertido de Líquidos; Con la utilización de agua limpia en el proceso de transformación de materiales para la construcción se producen aguas residuales que contienen sólidos suspendidos y que vertidos al suelo o corrientes naturales afectan su calidad física y química así como a la fauna y flora silvestres. Cuando son vertidos a los drenajes municipales se producen azolves en los conductos, reduciéndose su capacidad hidráulica lo que puede ocasionar inundaciones en las calles en tiempo de lluvias, hecho que puede ocasionar afectaciones en las viviendas cercanas.

Residuos sólidos; Gran parte de los residuos sólidos que se generan están clasificados como de manejo especial, sin embargo, muchos de ellos se mezclan con los residuos urbanos que al ser entregados a los vehículos de recolección municipal, dañan los mecanismos hidráulicos de los vehículos, mismos que al quedar fuera de circulación dejan de atender a la población quien, al no contar con el servicio dispone clandestinamente sus residuos en las calles o en lotes baldíos, produciéndose focos de infección y riesgos de incendio que afectan a la misma población.

Ruido; como la mayoría de las industrias que utilizan maquinaria y herramientas pesadas, es inevitable la emisión de ruido. Cuando estos equipos cuentan con dispositivos de control, la intensidad del ruido resulta admisible para la población, sin embargo, cuando no se cuenta con esos dispositivos o la maquinaria es obsoleta para estos fines, la emisión de ruido rebasa los límites que están establecidos en la reglamentación ambiental y se producen afectaciones no sólo a la población sino a los mismos trabajadores.

CONSTRUCCIÓN

Durante la etapa de Construcción, generalmente no son vigilados ni controlados los lineamientos que se establecen en la Manifestación de Impacto Ambiental en el Distrito Federal. Algunos de los impactos ambientales que se generan son:

Uso de suelo; Durante la etapa de construcción una fracción del ecosistema que brindaba un “servicio ambiental” es desplazada, provocando un impacto al medio; dependiendo de la intervención y las características del ecosistema será posible determinar la magnitud del daño. En algunas ocasiones las construcciones se realizan dentro de áreas naturales protegidas en detrimento de los espacios naturales provocando el cambio del uso de suelo del lugar.

Emisiones a la Atmósfera; la utilización de maquinaria y vehículos de carga y transporte que utilizan combustibles como gasolina y diesel, emiten gases producto de la combustión como Óxidos de Nitrógeno y Azufre que incrementan la concentración de estos gases en la atmósfera. Asimismo, la combustión premeditada de residuos producto del desmonte así como de residuos combustibles como madera, papel y cartón, produce emisiones de Bióxido de Carbono que de igual manera se incorporan a la atmósfera. Durante la construcción también se emiten partículas suspendidas en la excavación y movimiento de tierra, así como en el vaciado de sacos de cemento. La utilización inadecuada de productos químicos como solventes y cementantes producen vapores que pueden ser tóxicos para los mismos trabajadores.



Figura 3.3 Construcción de la presa “El Cajón” en Nayarit.

Fuente: M.C. Constantino Gutiérrez, 2006.

Eventual deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea; En toda obra se tienen requerimientos de agua, agua dulce y dura. La primera de uso doméstico normalmente transportada en auto tanques y almacenada en el campamento de la obra. La segunda de uso exclusivo para trabajos de compactación de terraplenes y pavimentos. Por lo que en ocasiones el agua que se aprovecha es la de los ríos y lagos cercanos, alterando su calidad.

Vertido de residuos líquidos; Con la utilización de agua limpia en el proceso de construcción se producen aguas residuales que contienen sólidos suspendidos en forma de lechadas, por ejemplo de cemento y cal, así como mezclas de solventes, aceites y otros productos químicos que muchas veces se drenan en terrenos naturales, afectando la calidad del suelo y a la vegetación. Cuando se escurren a corrientes de agua naturales afectan la calidad del agua y a la fauna y flora acuáticas. Cuando se descargan a los sistemas de drenajes sanitarios o pluviales aportan sedimentos que reducen el área hidráulica de las tuberías, llegando en ocasiones a azolvarlas produciéndose afloramientos de aguas residuales hacia las calles por falta de capacidad de los conductos. En la figura 3.3 se muestra un ejemplo de cómo se forman los escurrimientos arrastrando sólidos hacia el drenaje municipal.



Figura 3.4 Escurrimiento de residuos líquidos

Fuente: M.C. Constantino Gutiérrez, 2006.

Residuos sólidos; En la construcción de obras se generan diversos tipos de residuos sólidos que manejados inadecuadamente pueden producir afectaciones ambientales. Como en el caso de las actividades de

transformación, parte de los residuos sólidos que se generan están clasificados como peligrosos y de manejo especial y que al mezclarse con los residuos urbanos pueden causar problemas ambientales como los anteriormente descritos. En particular cuando son dispuestos en rellenos sanitarios afectan la actividad microbiana encargada de biodegradar la materia orgánica presente en los residuos municipales afectando con ello su pronta estabilización.

Ruido; La producción de ruido durante la fase de construcción es inevitable. Esto se produce tanto por el tráfico que se genera para el transporte de material, nivelación y limpieza de los terrenos, así como por el uso de equipo y maquinaria pesada como tractores y compactadores o especial como vibradores y taladros para excavar terreno rocoso a romper pavimento de calles y banquetas. En muchas ocasiones la intensidad del ruido que se produce rebasa los límites permisibles afectando, como ya se comentó con anterioridad a la población y a los trabajadores.



Figura 3.5 Construcción de edificios

Fuente: M.C. Constantino Gutiérrez, 2006.



Figura 3.6 Construcción del 2º piso del periférico, D.F.

Fuente: M.C. Constantino Gutiérrez, 2006.

DEMOLICION, RESTAURACION Y MANTENIMIENTO.

Estas actividades son un punto importante que nos permite visualizar algunas acciones futuras para la solución del problema de los impactos al ambiente que a continuación se muestran:

Emisiones a la atmósfera;

Los procesos de demolición pueden llevarse en tres métodos diferentes:

- 1.-Demolición manual: la cual se realiza con personal y herramientas manuales (marros, cuñas, barretas, taladros, rota martillos, etc).
- 2.-Demolición con maquinaria: en la cual se utilizan excavadoras, grúas simples, grúas con pilón de acero, bulldozer, trascabos, etc.
- 3.-Demolición con explosivos: se utilizan taladros, pistolas de perforación, dinamita, estopines, conectores, retardadores, redes, etc.

en cada caso se elabora un plan de trabajo, en base a un proyecto de demolición y es muy común combinar 2 ó los 3 métodos en una demolición.

El polvo no es únicamente una molestia o un irritante ocular. Durante las obras de demolición, restauración o mantenimiento, se emiten cantidades importantes de polvo y/o subproductos de la explosión, que pueden esparcirse más allá de los límites de la obra. Las partículas de polvo pueden estar

constituidas por asbesto, (material cancerígeno) y también por partículas de sílice cristalina (presente en ladrillos, productos de concreto, piedras, rocas y materiales abrasivos), entre otros.

Las partículas de sílice cristalina son liberadas durante las actividades de corte en seco, esmerilado, picado o barrido. La exposición laboral puede ocasionar dificultad para respirar, aumentar el riesgo de contraer tuberculosis o cáncer en los pulmones, o bien, puede causar silicosis, enfermedad mortal.

Aunado a lo anterior, las grúas, trascabos, tractores y motores estacionarios contribuyen con dióxido de azufre, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados y partículas.

Eventual deterioro de la calidad del agua superficial y subterránea;

En los procesos de demolición, restauración y mantenimiento, el uso del agua es fundamental, ya sea para evitar la emanación de polvos o para el proceso en sí. Por lo que la calidad del agua superficial se ve deteriorada a través del uso. Cuando las aguas residuales producidas son vertidas sobre el terreno puede darse el caso de que los contaminantes se infiltren en el suelo contaminando los mantos freáticos.

Vertido de residuos líquidos;

Durante las actividades de demolición, restauración y mantenimiento (y el uso del agua) se producen aguas residuales que contienen sólidos suspendidos y que vertidos al suelo o corrientes naturales afectan su calidad física y química así como a la fauna y flora silvestres.

Cuando son vertidos a los drenajes municipales se producen azolves en los conductos, reduciéndose su capacidad hidráulica lo que puede ocasionar inundaciones en las calles en tiempo de lluvias, hecho que puede ocasionar afectaciones en las viviendas cercanas.

Generación de residuos sólidos;

En la etapa de demolición se generan grandes volúmenes de residuos en períodos breves de tiempo; sin embargo, mediante esquemas apropiados de demolición, los residuos generados pueden separarse de forma selectiva para propiciar su recuperación.

La disposición final inadecuada de los residuos es la actividad que produce mayor impacto ambiental, ya que los sitios utilizados para su vertimiento suelen ser focos de atracción para el desecho de otro tipo de residuos, incluidos los peligrosos, así como para la proliferación de fauna nociva.

Los residuos provenientes de las demoliciones de las estructuras podrían contener materiales inflamables, residuos de asbesto y de pinturas con contenido de plomo, así como otros materiales peligrosos, que pueden provocar la contaminación del suelo por la lixiviación de metales pesados, así como contaminación de los mantos acuíferos.

En las actividades de restauración y mantenimiento, la cuantificación y el control se hacen más difíciles debido a que la generación se realiza en pequeña escala pero mayor frecuencia y los residuos son incorporados a los domiciliarios.



Figura 3.8 Remodelación a pequeña escala



Figura 3.7 Trabajos de demolición



Figura 3.9 Obras de mantenimiento

Ruido; El ruido es otra forma importante de contaminación del ambiente. La contaminación por ruido en las etapas de demolición, mantenimiento y restauración se debe al uso de maquinaria pesada y herramientas, así como el tráfico de vehículos.

La intensidad del ruido emitido por este tipo de maquinaria puede llegar hasta los 120 dB (decibeles) lo cual produce afectaciones no sólo a la población sino a los mismos trabajadores.

DISPOSICIÓN FINAL

En su etapa final del ciclo de vida, los residuos de la industria de la construcción presentan numerosas dificultades para su control así como múltiples impactos, para lo cual, posteriormente se determinarán los impactos ambientales asociados a la disposición inadecuada de los RESIDUOS C&D mediante la aplicación de matrices. Sin embargo, se visualizan los siguientes problemas:

Se dan los casos de recolección clandestina por camiones tipo volteo que depositan los residuos en lugares no autorizados y sin ningún mecanismo de regulación. En este punto es donde se incide en el ambiente y la salud pública, ya que los residuos son vertidos en suelo de conservación o barrancas del Distrito Federal, provocando acciones de degradación del suelo o contaminación de los cuerpos superficiales de agua. Estos depósitos clandestinos propician además el vertido de residuos sólidos municipales y residuos peligrosos.

Cabe mencionar que dentro de la corriente de RESIDUOS C&D se encuentran

residuos peligrosos como: restos de pinturas, solventes, asbestos, etc; lo cual puede contribuir a la contaminación del agua superficial y subterránea a través de la infiltración de lixiviados en el suelo.



Figura 3.10 Disposición de RESIDUOS C&D y sólidos urbanos en la vía pública.

Asociados a estos problemas tenemos las afectaciones al suelo, subsuelo y acuíferos por la lixiviación de sustancias tóxicas o metales pesados, aumentando las afectaciones a la salud de la población tanto circundante como la que hace uso de los cuerpos de agua superficiales y profundos. Otros impactos asociados con la disposición inadecuada de estos residuos, son los de representar un lugar muy propicio para la reproducción de fauna nociva, tales como: roedores, cucarachas e insectos diversos, con los consecuentes problemas sanitarios que acarrearán.

El vertido de los residuos en las barrancas provoca que se formen represas y que en tiempos de lluvia puedan representar un peligro para las comunidades asentadas en los alrededores, por el desborde de los cauces y posibles inundaciones.



Figura 3.11 Disposición de residuos C&D en barranca.

Las Delegaciones de Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras y en menor proporción Tlalpan, Xochimilco, Milpa Alta e Iztapalapa, presentan dentro de sus características topográficas barrancas, por lo que en estas delegaciones es común encontrar depósitos de residuos de la industria de la construcción (Minimización y Manejo de Residuos de la Industria de la Construcción. Diagnóstico, 2002)

Parte de los residuos de la construcción generados en el Distrito Federal son llevados al relleno sanitario de Bordo Poniente, el cual se encuentra en su cuarta etapa y cuya capacidad está siendo rebasada por las grandes cantidades dispuestas diariamente de residuos sólidos municipales, por lo que este tipo de residuos merman aún más su vida útil por los grandes volúmenes que ocupan.



Figura 3.12 Disposición de residuos C&D en lotes baldíos

De acuerdo a lo planteado anteriormente, los materiales de construcción provocan impactos a lo largo de su ciclo de vida, los cuales deben ser evaluados. Por lo cual, a continuación se realiza la revisión de Manifestaciones de Impacto Ambiental para visualizar el panorama que existe actualmente en el manejo de los RESIDUOS C&D, para posteriormente realizar la identificación de impactos ambientales en los sitios de disposición inadecuada.

3.2 REVISIÓN DE MANIFESTACIONES DE IMPACTO AMBIENTAL

En la Tabla 3.3 se muestra la revisión hecha a diferentes manifestaciones de impacto ambiental con objeto de observar las medidas que se han tomado en cada una de ellas en lo que respecta al manejo de los residuos de la construcción y demolición (RESIDUOS C&D).

Tabla 3.3 Manifestaciones de Impacto Ambiental

MIA MODALIDAD	TIPO DE OBRA	SE SEÑALAN LOS RESIDUOS C&D?	MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS
Local Fecha: Diciembre de 1998	Construcción de una Unidad Habitacional	Si, como casajo	✎ Etapa de construcción: Únicamente se menciona como medida de mitigación a la generación de polvos el mantener húmedos los residuos mediante la aspersión de agua. No se señala ninguna medida de mitigación para la generación de RESIDUOS C&D durante la etapa de construcción ni en etapas posteriores.
General Año: Agosto de 1998	Desarrollo turístico residencial	No se mencionan como tal, sino como parte de los residuos	Se menciona que los desperdicios resultantes del aprovechamiento, dado que son residuos de madera, serán picados y esparcidos en el terreno a fin de evitar procesos de erosión. Que el material

		sólidos urbanos	leñoso de desperdicio, como son puntas y ramas se dejarán en el monte para que sirvan como retenedor de escurrimientos y favorezca la infiltración Y que la emisión de desechos sólidos contaminantes como: (envases, plásticos, aceites, etc) en el bosque: durante el aprovechamiento se evitará la dispersión de residuos contaminantes en el suelo, y en todo caso, éstos serán extraídos del bosque. No se plantean medidas de mitigación concretas para el manejo y disposición de los residuos C&D.
General Año: 1994	Desarrollo inmobiliario de tipo residencial “Rancho San Diego”	Si, se mencionan propiamente como residuos de la construcción	Se consideró una generación de residuos de la construcción de entre el 1 a 2% de los materiales utilizados. Sin embargo, se contemplan los impactos en el recurso suelo debido solamente a la pérdida de terreno, y en cuanto al manejo de residuos se hace la diferenciación en cuanto a los residuos de la construcción, sin embargo, se establece que no podrán ser reciclados y deberán ser dispuestos en el sitio controlado por la Municipalidad.

OBSERVACIONES:

- ♦ Sólo en una de las manifestaciones se hizo la diferenciación entre residuos de la construcción y residuos sólidos, sin embargo, fue posible observar que en ninguno de los casos se plantean medidas de mitigación específicas para los RESIDUOS C&D.

- ◆ En las Manifestaciones de Impacto ambiental pudo notarse la carencia de bases jurídicas que orienten las acciones para el manejo ambientalmente adecuado de los residuos de la construcción; por lo cual, aun cuando se hace mención sobre cantidades que podrían ser generadas no se definen medidas para la prevención y mitigación de los impactos.
- ◆ La responsabilidad del manejo de los residuos está a cargo de los residentes de obra civil, los cuales, a falta de normatividad específica en la materia, simplemente los retiran de la obra mediante camiones de volteo y son transportados a los sitios de disposición final. Cabe señalar que tampoco se cuenta con registros que acrediten las cantidades de residuos enviadas a disposición ni los datos de los sitios a donde serán transportados.
- ◆ Se observa una carencia en cuanto a *programas de manejo integral* de los residuos que incluya la separación, valorización y reciclaje de los mismos.
- ◆ En el caso de obras de demolición, no se hace diferenciación para efectuar las actividades con lo cual se hace menos factible el aprovechamiento de los residuos con potencial de reciclaje
- ◆ Se establece de forma natural la disposición inadecuada de los residuos, justificando el hecho de que se trata de un terreno perteneciente a la misma compañía que construye, pero no se determina de qué forma se dispondrán ni el tiempo que permanecerán ahí, de igual manera no se especifican las condiciones en las que permanecerán.
- ◆ Por lo que sólo se hace referencia a que los residuos serán manejados conforme a la normatividad aplicable y a las medidas que la empresa establezca, sin que esto garantice el manejo adecuado de los residuos.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES EN SITIOS DE DISPOSICIÓN INADECUADA

Frecuentemente los impactos ambientales son difíciles de percibir y medir o incluso cuantificar. Las relaciones causa-efecto entre prácticas específicas e impactos específicos son difíciles de demostrar. Existen dos factores que deben estar presentes para causar impactos al ambiente; el primero es que el residuo contenga propiedades que lo hagan peligroso para el hombre o el ambiente y el segundo, que existan medios que pongan en contacto a los residuos con el hombre o el medio de manera perjudicial. Por lo que para evaluar medir o predecir los impactos ambientales se debe responder a tres preguntas (ASCE, 1983):

- ¿Poseen los residuos propiedades que los hagan potencialmente dañinos?
- ¿Poseen propiedades que pudieran hacerlos móviles en el ambiente?
- ¿El sitio de disposición o uso posee características que incrementen o reduzcan la probabilidad de daño por exposición a los residuos?

Con el objeto de evaluar los peligros asociados a un material es necesario medir algunas de las propiedades del material y después decidir tanto si esa propiedad está presente o no en un grado suficiente para constituir un riesgo significativo para la salud humana o para el ambiente.

Para poder valorar el impacto de los residuos de la construcción, RESIDUOS C&D, es necesario conocer primeramente qué tipo de materiales los integran, ya que estos incluyen desde materiales básicos como la arena y el cemento hasta pavimentos con emulsiones asfálticas.

3.3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS C&D

Para incrementar el aprovechamiento de estos residuos, la Norma Ambiental del Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004 los ha clasificado en los siguientes tipos: (Ver Tabla 3.4).

A: Residuos aprovechables para reciclaje

B: Residuos de excavación y

C: Residuos sólidos

Tabla 3.4 Clasificación de los RC&D para su manejo y aprovechamiento

A. Residuos aprovechables para reciclaje
1. Adcretos
2. Concretos limpios
3. Concreto armado
4. Cerámicos
5. Concretos asfálticos
6. Fresado asfáltico
7. Mampostería
8. Tepetatosos
9. Tabiques
10. Ladrillos
11. Blocks
12. Mortero
B. Residuos de excavación
1. Suelo orgánico
2. Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.
3. Otros materiales minerales no contaminados y no peligros contenidos en el suelo
C. Residuos sólidos
1. Cartón
2. Madera
3. Metales
4. Papel
5. Plástico
6. Residuos de podas, hojarasca y derribo de árboles.
7. Tabla roca
8. Vidrio
9. Otros

La corriente de RC&D es muy amplia y la mayoría de los materiales de construcción son llamados “inertes”, sin embargo, existen materiales que por su composición físico-química pueden afectar al ser humano y al ambiente cuando son dispuestos de forma inadecuada.

Un ejemplo de ello es el asbesto, (conocido también como “amianto”) nombre asignado a un grupo de seis materiales fibrosos diferentes (amosita, crisolita, crocidolita y las formas fibrosas de tremolita, actinolita, y antofilita) que ocurren en forma natural en el ambiente (ATSDR, 2001).

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia de Protección Ambiental de los EUA (Environmental Protection Agency - EPA) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) han determinado que el asbesto es carcinogénico en seres humanos (ATSDR, 2001). No obstante, debido a la gran gama de aplicaciones que posee (más de 3,000 usos y productos)¹ y por tratarse de un material económico usado a nivel mundial, aún no ha sido retirado del mercado.

Los asbestos se encuentran presentes en elementos como:

- Techos y tejas (los populares techos ondulados de asbesto cemento).
- Recubrimiento de paredes.
- Baldosas o azulejos para pisos.
- Hornos, calderas y estufas de leña o de carbón y sus cañerías y conductos.
- Material de decoración aplicado con rociador en paredes y techos.
- Pinturas con textura, rellenos y empalmes de paredes y techos.
- Aislante en paredes, techos y puertas cortafuegos.
- Tuberías de agua de alta presión.
- Placas acústicas, para aislamiento sonoro.
- Tuberías de agua y como aislante de tuberías.

Algunos de los peligros que implica la inhalación de fibras de asbesto por deterioro, desgaste, inundaciones, entre otros, son: (ATSDR, 2001).

- Las partículas pequeñas pueden permanecer suspendidas en el aire por largo tiempo y así ser transportadas largas distancias antes de depositarse.
- Las fibras de asbesto no son degradadas a otros compuestos, por lo que permanecerán virtualmente inalteradas por periodos largos de tiempo.
- El asbesto afecta principalmente a los pulmones y a la membrana que envuelve a los pulmones (pleura), provocando dos tipos de cáncer: cáncer de pulmón y mesotelioma.
- El cáncer producido por el asbesto no aparece inmediatamente, sino

¹ <http://www.educar.org/comun/articulos/asbestos.asp#Peligros>

que se manifiesta después de varios años.

Al respecto, la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA) de los Estados Unidos de Norteamérica, ha establecido normas que cubren a trabajadores expuestos al asbesto y niveles permisibles de exposición, sin embargo, sólo en algunos países como España se ha prohibido su uso. Una vez que el asbesto ha sufrido algún tipo de deterioro como en el caso de las demoliciones, su poder contaminante se incrementa afectando la salud pública. A continuación se muestra un listado de materiales usados en la industria de la construcción que al igual que el asbesto representan un problema ambiental si son dispuestos de forma inadecuada (Ver Tabla 3.5).

Tabla 3.5 Materiales de construcción contaminantes

MATERIAL / SUSTANCIA	PROBLEMA
Aglomerado de madera, hardboard	Emanaciones de formaldehído de las resinas ureicas y fenólicas. El formaldehído puede causar irritación a la piel, los ojos, la nariz y la garganta. La exposición a altos niveles puede producir ciertos tipos de cáncer.
Aislamiento de espuma plástica (poliuretano o PVC)	Emanaciones de componentes orgánicos volátiles. Humo muy tóxico al inflamarse.
Aislamiento de fibra de vidrio	El polvo de lana de vidrio es un carcinógeno, la resina plástica ligante contiene fenol formaldehído.
Alfombras sintéticas	Acumulan polvo, hongos y producen emanaciones de componentes volátiles. Los adhesivos aplicados también emiten gases nocivos. Se cargan fácilmente de estática.
Tubería de cobre para agua (que requiera soldadura de plomo)	La soldadura de plomo (ya prohibida en muchos países) desprende partículas de este metal.
Tubería de plástico (PVC) para agua	Los solventes de los plásticos y adhesivos e hidrocarburos clorados se disuelven en el agua.

Ladrillos refractarios	Contienen distintos porcentajes de aluminio tóxico.
Pinturas sintéticas de interior	Emanan componentes orgánicos volátiles y gases de mercurio.
Pisos vinílicos o plastificados	Producen emanaciones tóxicas del material y de los adhesivos.
Sistemas de acondicionamiento de aire	Los filtros mal mantenidos desarrollan hongos, las parrillas de condensación albergan gérmenes aeropatógenos, el sistema distribuye contaminantes.

Adaptado de Agostini, Arelys., 2007.

Una vez conociendo los materiales de la construcción potencialmente contaminantes, es posible vislumbrar un panorama preocupante en los sitios donde estos residuos son depositados de forma clandestina debido a que resulta difícil establecer un número aproximado de sitios de este tipo en la Ciudad de México y peor aún cuántos de ellos se encuentran en zonas de valor ambiental, como el caso del Distrito de Riego de Xochimilco, (Ver Figura 3.13)



Figura 3.13 Disposición de RC&D en el Distrito de Riego de Xochimilco

Internacionalmente, ya se cuenta con leyes y estándares técnicos que regulan el uso de agregados reciclados provenientes de los RESIDUOS C&D como es el caso del TL Gestein-StB 2004 ("Technical Terms of Delivery for aggregates in road construction") de Alemania, el cual contiene los requerimientos que deben cumplir los agregados naturales, manufacturados y reciclados usados en la

construcción de caminos, además de las características de relevancia ambiental con que deben cumplir los agregados manufacturados y reciclados; para evitar en la medida de lo posible los impactos al medio ambiente.

Los agregados reciclados utilizados en la construcción de caminos deben ser lo suficientemente resistentes a las condiciones climáticas y no contener componentes que puedan expandirse, desintegrarse, disolverse o reaccionar químicamente (TL Gestein-StB 2004).

La Tabla 3.6 muestra las características que deben cumplir los agregados reciclados provenientes de RESIDUOS C&D para ser utilizados en la construcción de subbases de caminos de acuerdo al TL Gestein-StB 2004.

Tabla 3.6 Propiedades de agregados reciclados. Límites permisibles

MATERIAL	Unidad	RC-1	RC-2	RC-3
PROPIEDAD				
pH ①		7 – 12.5	7 – 12.5	7 – 12.5
Conductividad eléctrica	µS/cm	1500	2500	3000
Solubilidad de iones Cloruro	mg/l	20	40	150
Solubilidad en ácido de Sulfatos	mg/l	150	300	600
Fenol (índice)	mg/l	10	50	100
Arsénico	mg/l	10	40	50
Plomo	mg/l	40	100	100
Cadmio	mg/l	2	5	5
Cromo total	mg/l	30	75	100
Cobre	mg/l	50	150	200
Níquel	mg/l	50	100	100
Mercurio	mg/l	0.2	1	2
Zinc	mg/l	100	300	400
Compuestos Aromáticos Policíclicos (PAC)(EPA)	mg/kg	20	50	100
Descomposición de silicato dicálcico		Sin descomposición		
EOX (Extracción de haluros orgánicos)	mg/	3	5	10

Adaptado de: Table D.1 Hydrological properties to be complied with within the framework of the initial

type testing and quality control – eluate values. TL Gestein-StB 2004. ① No hay un valor límite, solo un rango típico. RC-1: Concreto limpio; RC-2: Asfalto; RC-3: Mezcla de agregados (concreto, asfalto, tabique, etc).



Figura 3.14 Agregados reciclados. Fuente: Baustoff-Recycling, 2006.

A continuación se detalla la Metodología seguida para llevar a cabo la identificación de impactos ambientales en los sitios de disposición inadecuada.

3.3.2 METODOLOGÍA

- ◆ **Descripción del sitio:** Los sitios donde se llevó a cabo el estudio fueron los siguientes:

- Avenida Bordo Xochiaca
- Avenida Toluca, Santa Catarina
- Carretera Libre a Toluca Km. 9 (Barranca)

En esta etapa se realiza una descripción detallada de las condiciones actuales en cada uno de los lugares propuestos, así como las condiciones originales en las que se encontraban antes de ser afectados.

- Ubicación geográfica del sitio afectado
 - Condiciones anteriores (fotos 10 años antes y actual)
 - Superficie afectada
- ◆ **Manejo actual de los residuos:** En esta etapa se realizará una descripción detallada del sistema de manejo de los residuos que se lleva a cabo en la zona.
- ◆ **Identificación de los posibles impactos:** Se realizará una ponderación de los impactos observados mediante una matriz con cuatro niveles de calidad (Ver Tabla 3.7)
- ◆ **Predicción de los posibles efectos:** Una vez determinados los impactos ambientales es posible realizar la predicción de los posibles efectos.

- ♦ **Medidas de mitigación:** una vez hecho el análisis anterior se determinarán las medidas adecuadas de prevención y mitigación aplicables a cada uno de los casos de estudio.
- ♦ **Criterio para el manejo de RESIDUOS C&D aplicado actualmente:** existe, no existe manejo de los residuos.
- ♦ **Escenario esperado sin toma de acciones**
- ♦ **Escenario esperado aplicando medidas de mitigación**

En la Tabla 3.7 se muestra la lista de verificación utilizada para determinar los impactos ambientales en los sitios de estudio.

Tabla 3.7 Lista de Verificación de Impactos ambientales

			IMPACTOS
COMPONENTES AMBIENTALES	FÍSICO-QUÍMICOS	Agua	Eventual deterioro en la calidad del agua subterránea
			Eventual deterioro en la calidad del agua superficial
			Modificación de las características de flujo del agua superficial
		Suelo	Cambio del uso de suelo
		Aire	Emisión de polvos
	BIOL.	Fauna	Proliferación de fauna nociva
		Flora	Modificación de la cubierta vegetal
	SOCIOECONÓMICOS		Impacto visual
			Disminución del valor económico del sitio
			Formación de asentamientos humanos irregulares
			Obstrucción de vías de comunicación
			Azolve del sistema de alcantarillado

AGUA

a) Eventual deterioro de la calidad del agua superficial

De acuerdo a las cantidades acumuladas de residuos y el tipo de residuos encontrados, podría suponerse el probable deterioro de la calidad de los recursos hídricos del sitio.

b) Eventual deterioro de la calidad del agua subterránea

En caso de que se observen acumulaciones de metales pesados o recipientes que contuvieron hidrocarburos como la gasolina y el diesel. Para llevar a cabo un estudio más detallado de ésta condición sería necesaria la aplicación de métodos para conocer el transporte de contaminantes en el subsuelo, sin embargo, en este caso sólo se recurre a la inspección visual.

c) Modificación de las características de flujo del agua superficial

En el caso de barrancas, la acumulación de RESIDUOS C&D y otro tipo de residuos puede provocar que los escurrimientos desvíen su curso natural.

SUELO

a) Cambio de uso de suelo

Una vez que se han depositado cantidades importantes de RESIDUOS C&D en un determinado sitio, las autoridades municipales autorizan el cambio de uso de suelo de la zona. Por ejemplo, se permite que áreas consideradas como de reserva ecológica sean utilizadas para la construcción de diferentes tipos de obras.

AIRE

a) Emisión de polvos

Dispersión de partículas debido a la acción del viento y a la acumulación de agregados pétreos contenidos en los RESIDUOS C&D.

FAUNA

a) Proliferación de fauna nociva

Se detecta la presencia de vectores como las moscas, roedores, cucarachas, transmisores de enfermedades.

FLORA

a) Modificación de la cubierta vegetal

Mediante inspección visual se detecta la presencia de residuos peligrosos como: restos de soldadura, recipientes con solventes y otras sustancias tóxicas, lo que provoca una disminución de la cubierta vegetal.

FACTORES SOCIO-ECONÓMICOS

a) Impacto visual

Afectación de la imagen y amenidad de una determinada zona por la acumulación de residuos.

b) Disminución del valor económico del sitio

En zonas donde se han formado asentamientos irregulares y no es posible recuperar los terrenos, el valor económico del sitio decrece ya que seguirán siendo habitadas por personas de bajos recursos económicos.

c) Formación de asentamientos irregulares

Se crean zonas de inseguridad debido a la formación de asentamientos irregulares.

d) Obstrucción de vías de comunicación

La acumulación de importantes cantidades de residuos obstruyen el paso de vehículos o peatones

e) Azolve del sistema de alcantarillado

La acumulación de residuos cerca de coladeras o colectores provoca que el sistema de drenaje se azolve.

Los indicadores de impacto señalados anteriormente se califican con los criterios y escalas que se indican a continuación (Tabla 3.8):

Tabla 3.8 Criterios de evaluación de los impactos ambientales

CRITERIO	VALOR	ESCALAS
MAGNITUD: (M)	1	Baja: afectación mínima en relación con la disponibilidad o calidad del recurso
	2	Media: afectación del 50% de la disponibilidad o calidad del recurso
	3	Alta: afectación del 75% de la disponibilidad o calidad del recurso
	4	Total: afectación del 100% de la disponibilidad o calidad del recurso

VALOR: (V)	+4	Positivo +
	-4	Negativo -
	0	Neutro 0
EXTENSIÓN: (E)	1	Puntual: dentro del perímetro del sitio de disposición
	2	Parcial: en un radio de 5 km del perímetro del sitio de disposición
	3	Local: abarca uno o más Municipios sin ser de alcance estatal
	4	Estatat: con alcance a todo el Estado
PERMANENCIA: (P)	1	Temporal: en el momento de la disposición y hasta 5 años
	2	Persistente: por más de 5 años y hasta 20 años
	3	Permanente: por más de 20 años
	4	Intermitente: estacional o con cierta frecuencia durante más de 10 años
CERTIDUMBRE: (C)	4	Alta: con probabilidad de ocurrencia superior a 0.9
	2	Media: con propabilidad de ocurrencia de 0.5
	1	Baja: con probabilidad de ocurrencia menor a 0.1
	0	Nula: sin probabilidad de ocurrencia
REVERSIBILIDAD: (R)	0	Total: autorecuperable en un plazo de 5 años
	1	Parcial: con autorecuperación entre 5 y 20 años
	4	Irreversible: sin posibilidad de autorecuperación
VIABILIDAD DE MITIGACIÓN (V.M.)	0	Mitigable: con posibilidad de reducción y compensación >75%
	2	Media: mitigable entre 50% y 75%
	3	Parcial mitigable de 25% a 50%
	4	No mitigable sin posibilidad de restitución o

compensación

Fuente: BID, 2001. Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental.

Bajo la ponderación propuesta, los impactos negativos pueden alcanzar valores de -28 si cumplen las condiciones máximas adversas de impacto. No obstante, para evaluar la importancia del impacto, es necesario comparar los valores obtenidos en la ponderación, con la tabla del Anexo A.6.

A continuación se describen los sitios de disposición inadecuada estudiados.

SITIO: AVENIDA BORDO XOCHIACA

- ◆ Ubicación geográfica del sitio afectado:

La Avenida Bordo Xochiaca se encuentra ubicada en el Municipio de Nezahualcóyotl, el cual se asienta en la porción oriental del Valle de México, en lo que fuera el Lago de Texcoco.

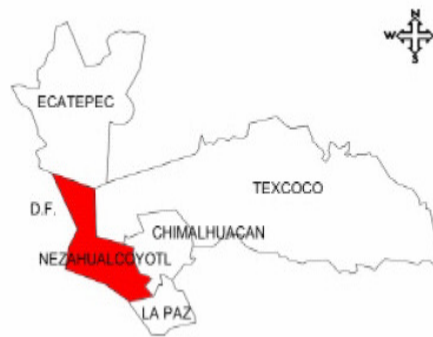


Figura 3.15 Municipio de Nezahualcóyotl

- La Avenida Bordo Xochiaca se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas:
- Norte: $19^{\circ}25'$
- Oeste: $99^{\circ}03'$
- Elevación: 7328 ft.



Figura 3.16 Avenida Bordo Xochiaca

Fuente: Google Earth. Fecha de actualización: 11 agosto de 2006

◆ **Descripción del sitio:**

La Avenida Bordo Xochiaca fue construida en el año de 1945 como una vialidad principal que comunicara al Estado de México con el D.F., sin embargo, actualmente a lo largo de esta importante vía se presenta una gran acumulación de residuos en ambos sentidos del flujo vehicular, estos residuos van desde los sólidos municipales, residuos de la construcción y demolición hasta los industriales y peligrosos.

Fueron localizados sitios puntuales con importantes acumulaciones de estos residuos a lo largo de la Avenida en ambos sentidos de la circulación vehicular, así como dentro camellones destinados a campos de fútbol y parques recreativos.

◆ **Condiciones anteriores:**

En el año de 1985, se clausura el tiradero del Vaso de Texcoco e inicia operaciones el relleno sanitario de Bordo Poniente en su 1a. Etapa, el cual se ubica sobre esta avenida.

El relleno sanitario de Bordo Poniente, ha venido funcionando, mediante diferentes etapas operativas que han ido creciendo en superficie, de acuerdo con el incremento de las tasas de recepción diaria de basura, la cual ha variado de 1,000 ton/día en sus inicios, hasta más de 11,000 ton/día actualmente. Es posible afirmar que en el Relleno sanitario Bordo Poniente, se depositan anualmente 3.29 millones de toneladas de residuos.

De lo anterior es posible deducir que el relleno sanitario es un factor determinante en la inadecuada disposición de los residuos a lo largo de la Avenida Bordo Poniente, ya que constituye un foco de atracción para esta actividad.

♦ **Superficie afectada:**

Longitud de la Avenida: aproximadamente 6.87 km

Superficie afectada observada: alrededor de 1,640m²

♦ **Ubicación y volumen de residuos observados:**

A lo largo de la Avenida Bordo Xochiaca, en ambos sentidos de la circulación se localizaron sitios puntuales como²:

Tabla 3.9 Ubicación y volumen de residuos observados

UBICACIÓN	VOLUMEN (m ³)
Campos de fútbol a la altura de la Calle 25	33.75
Calle Virgen de los Remedios	30.00
Calle Virgen Rosa de Lima	7.00
Calle Crisantemo	6.00
Calles Gladiola	7.00
Calle Nardo	3.00
Calle Pensamiento	6.00
A la salida del relleno sanitario (se observó en una distancia de 500 m una acumulación de residuos en una franja de 3 m con una altura de 1m aproximadamente)	1500 m ³

² Visita de reconocimiento el 4 de febrero de 2005.

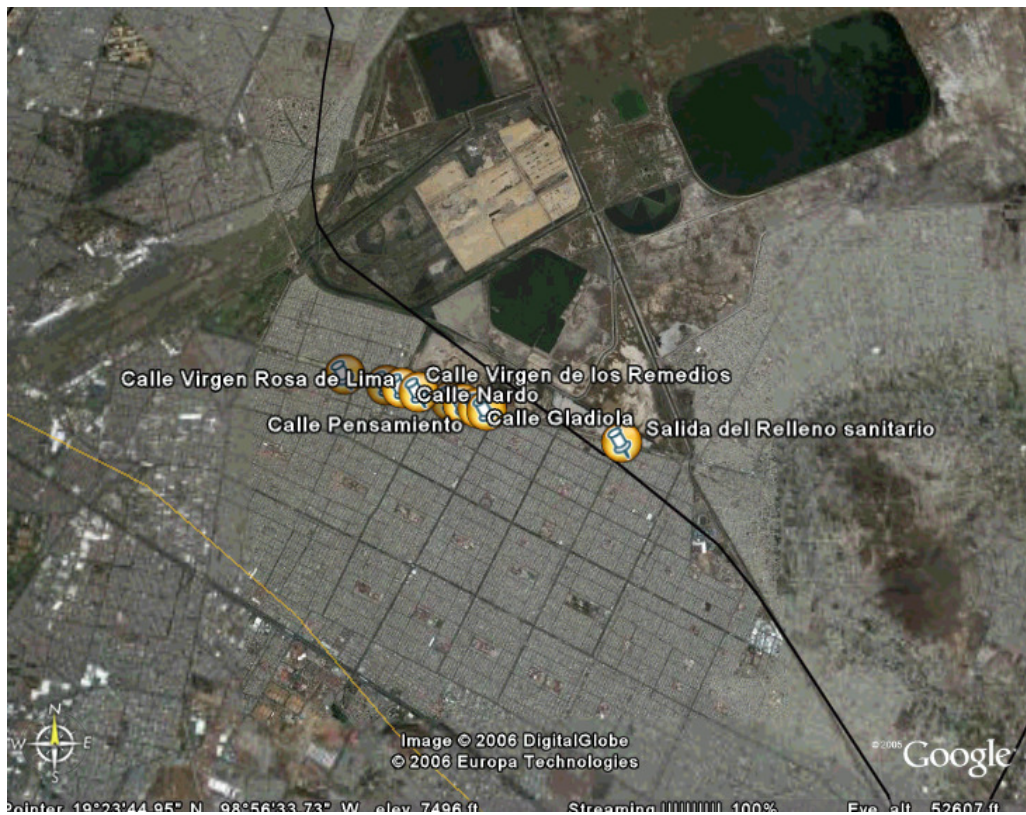


Figura 3.17 Ubicación de los sitios de disposición inadecuada



Figura 3.19 Cárcamo de Bombeo



**Figura 3.18 Cárcamo de bombeo,
Calle Virgen de los Remedios**



Figura 3.20 Calle Virgen Rosa de Lima



Figura 3.21 Calle Crisantemo



Figura 3.22 Frente a campos de fútbol, calle 25



Figura 3.23 Campos de fútbol, Calle 25



Figura 3.24 Calle Pensamiento



Figura 3.25 Calle Gladiola



Figura 3.27 Salida del Relleno Sanitario



Figura 3.26 Calle Nardo

Bordo Poniente



**Figura 3.28 Salida del Relleno Sanitario,
Av. Bordo Xochiaca**

♦ Manejo actual de los residuos:

Actualmente, las Delegaciones tienen a su cargo la recolección de los residuos y su transporte a las estaciones de transferencia fundamentalmente, plantas de selección o directamente a los sitios de disposición final, siendo de particular importancia el relleno sanitario Bordo Poniente, que justamente se encuentra sobre la Avenida Bordo Xochiaca.

En el caso de los RESIDUOS C&D son los generadores (personas físicas o morales responsables de la producción de residuos sólidos en alto volumen)

quienes deben instrumentar planes de manejo para promover la reducción desde la fuente, valorización o disposición final. Los residuos deberán ser transportados en vehículos adecuados que eviten su dispersión durante el transporte a los sitios que determine la Secretaría de Obras y Servicios.³ Sin embargo, en muchos casos, ésto no sucede, por lo que se encuentran sitios como lotes baldíos, calles, cuerpos de agua, etc, donde han sido dispuestos de forma inadecuada. Al respecto, cabe señalar que las acumulaciones de RESIDUOS C&D se encuentran sólo a unos cuantos metros del Relleno sanitario.

Al traducir los criterios aplicados a los valores propuestos para calificar los impactos, la matriz resultante muestra el valor obtenido para cada indicador de impacto. (Ver Tabla 3.10).

³ Ley de Residuos Sólidos del D.F., Art. 26. Gaceta Oficial del Distrito Federal, 22 de abril de 2003.

Tabla 3.10 Identificación de los posibles impactos

			IMPACTOS	M	V	E	P	C	R	VM	CALIFICACION
COMPONENTES AMBIENTALES	FÍSICO-QUÍMICOS	Agua	Eventual deterioro en la calidad del agua subterránea	1	-4	1	2	2	1	2	-8
			Eventual deterioro en la calidad del agua superficial	1	-4	1	2	2	1	2	-8
			Modificación de las características de flujo del agua superficial	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a.
		Suelo	Cambio del uso de suelo	4	-4	2	3	4	4	3	-23
			Emisión de polvos	3	-4	2	1	4	4	2	-18
		Aire	Emisión de polvos	3	-4	2	1	4	4	2	-18
	BIOL.	Fauna	Proliferación de fauna nociva	4	-4	2	2	4	4	3	-22
		Flora	Modificación de la cubierta vegetal	3	-4	1	2	4	4	2	-17
	SOCIOECONÓMICOS		Impacto visual	4	-4	3	3	4	4	2	-25
			Disminución del valor económico del sitio	4	-4	3	3	4	4	3	-25
			Formación de asentamientos humanos irregulares	4	-4	2	3	2	4	4	-23
			Obstrucción de vías de comunicación	4	-4	1	2	4	4	2	-20
			Azolve del sistema de alcantarillado	3	-4	2	2	2	4	2	-19

n.a. No aplica

Dadas las calificaciones obtenidas es posible categorizar la importancia de los impactos como severos, moderados o compatibles, de acuerdo al Anexo A.6. De tal modo que los impactos al recurso agua cuya calificación es -8 corresponden impactos compatibles, mientras que los demás impactos (≥ -15) resultan ser severos en su importancia.

El valor económico de los sitios observados resulta ser el impacto más significativo debido a que se propicia la formación de asentamientos humanos irregulares y que población de bajos recursos económicos (como los pepenadores) se ubiquen cerca del Relleno Sanitario Bordo Poniente para llevar a cabo su labor. Tal es el caso del pepenador que se muestra en la Figura 3.29, quien junto con un grupo considerable ha improvisado viviendas en el camellón de la avenida.



Figura 3.29 Pepenador

El cambio de uso de suelo es otro impacto ambiental que junto con el impacto visual adquieren singular importancia, ya que en el caso de los campos deportivos ubicados sobre el camellón de la Avenida Bordo Xochiaca, sólo una parte de ellos son usados para ese fin y la otra parte han sido invadidos afectándose la imagen visual del lugar.



Figura 3.30 Canchas de básquetbol usadas para viviendas de pepenadores.

Por otra parte, la obstrucción de vías de comunicación debido a la acumulación de residuos representa un peligro para los peatones que tienen que transitar por debajo de

las banquetas (Ver Figuras 3.25 a la 3.28), por lo que se traduce en un impacto negativo de extensión parcial.

♦ **Predicción de los posibles efectos:**

Debido a la acumulación de importantes cantidades de RESIDUOS C&D en la vía pública y el consecuente azolve del sistema de alcantarillado debido a la reducción del diámetro efectivo de las tuberías, se podrían agravar los problemas de inundaciones en calles y avenidas.

Es posible que debido a la disminución en el valor económico de la zona, la población se vea cada vez más marginada y se siga propiciando la formación de zonas de inseguridad.

♦ **Medidas de mitigación:**

Establecer programas de reciclaje de los residuos para evitar que estos sean dispuestos en el relleno sanitario, a través de la participación ciudadana y del Municipio de Nezahualcóyotl.

Establecer un programa de recuperación de las áreas deportivas en la que se reubique a los pepenadores, se retiren los RESIDUOS C&D y sean enviados a reciclaje para su aprovechamiento.

♦ **CRITERIO:**

○ **Escenario esperado sin toma de acciones**

Las acumulaciones de residuos pueden llegar a ser tan importantes que se obstruyan completamente las vías de comunicación y que dadas las condiciones del sistema de drenaje (azolve) muchas familias sean afectadas en la época de lluvias por inundaciones.

○ **Escenario aplicando medidas de mitigación**

En dado caso de que se aplique un programa de reciclaje para los RESIDUOS C&D que se encuentran a lo largo de los casi 7 km de longitud que tiene la Avenida Bordo Xochiaca, se espera recuperar una superficie de 1,640 m² conformado por vías de comunicación y áreas de recreación disminuyendo así los impactos visuales.

SITIO: AVENIDA TOLUCA, SANTA CATARINA

♦ Ubicación geográfica del sitio afectado:

Al igual que el caso anterior, no se trata de un sólo punto en el cual se hayan detectado acumulaciones importantes de RESIDUOS C&D, sino que se trata de toda un área cercana al extradero de Santa Catarina localizada entre el Antiguo ferrocarril a Cuautla (Col. Ampliación San Miguel Tláhuac), la Colonia Santa Catarina, ambos en la Delegación Tláhuac y la Avenida Toluca en el Municipio de Chalco. Por lo cual, compete a dos entidades gubernamentales.

Las coordenadas del área son las siguientes:

- 19°18'14.78" N
- 98°57'27.73" O
- elev. 2237 m



Figura 3.31 Tiradero clandestino. Santa Catarina, Del. Tláhuac

Fuente: Google Earth. Fecha de actualización: 11 agosto de 2006

♦ Condiciones anteriores:

En el año de 1950, existían 8 tiraderos en la Ciudad de México: la Magdalena Mixhuca, Santa Catarina, Bramaderos, la Col. Modelo, Dos Ríos, Nativitas, Independencia y el Pedregal. Entre 1985 y 1990, se clausuraron los tiraderos de Santa Fé, San Lorenzo

Tezonco, Ajusco, Tláhuac y Milpa Alta, quedando únicamente en operación el de Santa Catarina (que sustituyó al de Santa Cruz Meyehualco). En el año de 1985, se clausura el tiradero del Vaso de Texcoco e inicia operaciones el Relleno Sanitario de Bordo Poniente en su 1a. Etapa.

♦ **Descripción del sitio:**

El área afectada se encuentra delimitada por la Avenida Toluca, el antiguo ferrocarril a Cuautla y el Canal de la Compañía (Ver Figura 3.31). Actualmente el tiradero de Santa Catarina se encuentra clausurado, no obstante en predios de los alrededores se siguen depositando importantes cantidades de residuos municipales y de manejo especial.

Fue posible observar durante la visita técnica que los propios ejidatarios permiten el vertido de los residuos y cobran una determinada cuota a los transportistas, sin tomar en cuenta las repercusiones al medio y a su propia salud (Figura 3.32).



Figura 3.32 Disposición de RESIDUOS C&D con trailer

Así mismo se encontraron zonas en las cuales personas de todas las edades realizan la separación de materiales con potencial de comercialización como el acero, la madera, plásticos, etc.; sin embargo, esta separación la realizan con sus propias manos hurgando entre los diferentes tipos de residuos, sin protección alguna (Figuras 3.33 y 3.34).



Figura 3.33 Niños que recolectaron varillas y madera de entre los RESIDUOS C&D



Figura 3.34 Hombre recolectando madera, al fondo la Escuela Secundaria Oficial N° 974.

Se encontraron diversos asentamientos humanos irregulares, donde las personas simplemente construyen sus viviendas sobre los escombros sin ningún proceso mecánico previo de compactación e incluso utilizan los mismos residuos para construir pequeñas bardas. (Ver Figura 3.35).



Figura 3.35 Asentamientos humanos irregulares

♦ **Superficie afectada:**

El área afectada se estimó a través de la descomposición de la zona en áreas determinando las dimensiones con el uso de la herramienta de posicionamiento global “Google earth”. Obteniéndose las siguientes áreas:

Superficie afectada: $7,200 \text{ m}^2 + 302,281.90 \text{ m}^2 + 7100.04 \text{ m}^2$

De tal manera que se estima que la zona afectada cuenta con una superficie de aproximadamente **309,381.94 m²**.

Volumen aproximado de residuos = 464,072.91 m³.



Figura 3.36 Disposición inadecuada de RESIDUOS C&D en Santa Catarina.

♦ **Manejo actual de los residuos:**

La Delegación Tláhuac al igual que las otras 12 Delegaciones que conforman el Distrito Federal, tienen a su cargo la recolección de los residuos y su transporte a las estaciones de transferencia y sitios de disposición final autorizados.

Sin embargo, dadas las condiciones anteriores de Santa Catarina como tiradero y las del relleno sanitario Bordo Poniente en el cual no reciben más que pequeñas cantidades de RESIDUOS C&D que utilizan como cobertura, las empresas constructoras prefieren contratar los servicios de transportistas que simplemente los siguen depositando en el antiguo tiradero y gradualmente van invadiendo otras zonas como Chalco.

A continuación se muestra la matriz de impactos ambientales (Ver Tabla 3.11) donde después de traducir los criterios aplicados, se han calificado los impactos con la escala de valores mostrados en la Tabla 3.8

Tabla 3.11 Matriz de Ponderación de impactos, Santa Catarina.

			IMPACTOS	M	V	E	P	C	R	VM	CALIFICACIÓN
COMPONENTES AMBIENTALES	FÍSICO-QUÍMICOS	Agua	Eventual deterioro en la calidad del agua subterránea	2	-4	3	2	2	1	2	-15
			Eventual deterioro en la calidad del agua superficial	3	-4	3	2	2	1	2	-18
			Modificación de las características de flujo del agua superficial	3	-4	3	4	4	4	2	-23
		Suelo	Cambio del uso de suelo	4	-4	3	3	4	4	2	-25
		Aire	Emisión de polvos	3	-4	3	1	4	4	2	-20
	BIOL.	Fauna	Proliferación de fauna nociva	3	-4	3	2	4	4	2	-21
		Flora	Modificación de la cubierta vegetal	4	-4	3	2	4	4	0	-24
	SOCIOECONÓMICOS		Impacto visual	4	-4	3	3	4	4	0	-25
			Disminución del valor económico del sitio	2	-4	3	3	4	4	4	-19
			Formación de asentamientos humanos irregulares	2	-4	3	3	4	4	4	-19
			Obstrucción de vías de comunicación	2	-4	2	2	4	4	2	-16
			Azolve del sistema de alcantarillado	3	-4	3	2	4	1	2	-18

Una vez determinado el valor del impacto, es posible ubicarlos como compatibles, severos o críticos, de acuerdo al Anexo A.6. De tal manera que los valores por encima de -15 corresponden a impactos severos, por lo tanto, de acuerdo a las calificaciones obtenidas en la Tabla 3.11, todos los impactos son considerados como severos.

Dado que en la zona afectada se encuentran importantes cantidades de RESIDUOS C&D y de otros tipos de residuos de manejo especial como productos electrónicos, además de residuos municipales, se considera que puede haber afectaciones en la calidad del agua subterránea, calificando este impacto como negativo de magnitud media, cuya extensión es local ya que la zona pertenece a dos entidades.

La certidumbre de que se esté afectando la calidad de los mantos acuíferos se ha considerado media, ya que sería necesario llevar a cabo estudios de calidad del agua en el sitio para asegurar la afectación al recurso hídrico con una confiabilidad del 100%. De tal modo que la reversibilidad se ha considerado como parcial y viabilidad de mitigación media.

En lo referente a la calidad del agua superficial, se observaron RC&D en la corriente del Canal de la Compañía, la cual se encontraba muy contaminada ya que se podían apreciar manchas de aceite (Ver Figura 3.36), por lo que el impacto a la calidad del recurso se consideró negativo de magnitud alta, de extensión local, dado que el canal de la Compañía pasa por parte del territorio de la Delegación Tláhuac y de los Municipios de Chalco e Ixtapaluca. Se considera una afectación persistente, con una certidumbre media, reversibilidad parcial y viabilidad de mitigación de media.

La disminución del valor económico de la zona y la formación de asentamientos humanos irregulares son los impactos más desfavorables, debido a las características observadas. Los asentamientos irregulares son propicios para crear zonas de inseguridad, por lo cual, al llevar a cabo la ponderación del impacto, su valor fue de 19.

El impacto visual es considerado negativo de magnitud alta debido a que toda la zona se encontraba afectada de manera importante, el carácter de extensión se

considera local por las condiciones de ubicación de la zona. Se considera que el impacto es persistente por las cantidades de residuos encontradas.

Los impactos referentes al azolve del sistema de drenaje y a la modificación de las características de flujo del agua superficial, se consideraron negativos de magnitud alta, ya que se pudo observar que en el Canal de la Compañía se presentan serios problemas de inundaciones en los cuales los RESIDUOS C&D contribuyen de manera importante. Se trata de un impacto de extensión local, persistente, con una certidumbre alta, sin posibilidad de auto recuperación, con viabilidad de mitigación media.

♦ **Predicción de los posibles efectos:**

Debido a que la zona afectada abarca una superficie bastante considerable (más de treinta hectáreas) y a que la zona es perteneciente a dos entidades, pueden afectarse seriamente los factores ambientales. Puede provocarse la contaminación de los mantos acuíferos así como la de las corrientes superficiales por la cantidad de RESIDUOS C&D, peligrosos y urbanos acumulados.

La salud pública es un aspecto susceptible de ser afectado en esas circunstancias y muy probablemente no se detecten las afectaciones sino después de un largo tiempo de haberse iniciado la disposición de los residuos.

La proliferación de fauna nociva repercute en la salud de la población circundante extendiéndose hacia otras zonas.

La zona es considerada como un lugar poco atractivo para la inversión debido a las condiciones socioeconómicas de la población, con lo que se dificulta su crecimiento económico. Debido a esto, si la zona sigue siendo afectada con la disposición inadecuada de los RESIDUOS C&D es posible que se vuelva una zona marginal con problemas de delincuencia.

♦ **Medidas de mitigación:**

Crear un programa de recuperación de la zona que incluya los siguientes puntos:

- Impedir que continúe el vertido de RESIDUOS C&D en la zona
- El reciclaje de los RESIDUOS C&D mediante la selección previa de

materiales no peligrosos y el traslado a disposición final de aquellos que no sean susceptibles de ser aprovechados.

- Una vez que hayan sido retirados los residuos de la zona, llevar a cabo estudios para determinar el tipo de remediación que deberá aplicarse al suelo.
- Crear áreas verdes que proporcionen los servicios ambientales de que carece actualmente el sitio.
- Reubicar a los habitantes

♦ **CRITERIO:**

○ **Escenario esperado sin toma de acciones**

Si continúa la disposición de RESIDUOS C&D en el área afectada se pueden agravar las condiciones existentes obstaculizando el acceso a la zona debido a la obstrucción de las vías de comunicación. Se incrementa la probabilidad de que el Canal de la Compañía se desborde provocando serias afectaciones a los pobladores.

○ **Escenario aplicando medidas de mitigación**

De aplicar las medidas de mitigación propuestas es posible recuperar una extensa superficie de alrededor de 30 hectáreas, donde se podrían crear espacios que ofrecieran una mejor calidad de vida a la población circundante. Así mismo, disminuiría el índice de inseguridad en esa zona y se fomentaría la inversión pública y privada.

Un aspecto importante en cuanto al manejo de los residuos es que se fomentaría la cultura del reciclaje en nuestro país, con la consecuente disminución de los impactos al medio y a la salud pública.

SITIO: CARRETERA LIBRE TOLUCA (BARRANCA)

♦ Ubicación geográfica del sitio afectado:

El sitio se encuentra a un costado de la autopista Naucalpan-Toluca, a la altura del km 9 de la carretera libre a Toluca alrededor de 6 km antes de San Francisco Chimalpa. Se trata de una barranca ubicada en el Municipio de Naucalpan, en el

Estado de México. El municipio de Naucalpan de Juárez está ubicado en el Valle de México en la parte meridional y pertenece a la región II Zumpango, al noroeste del D.F., limita al norte con Atizapán de Zaragoza, Tlalnepantla de Baz y Jilotzingo; al sur con Huixquilucan; al este y sureste con el Distrito Federal; al oeste nuevamente con Jilotzingo, y al suroeste con los municipios de Otzolotepec, Xonacatlán y Lerma. El sitio afectado se encuentra en las coordenadas:

- 19°26'28.20" N
- 99°18'01.84" O
- elev.2497 m

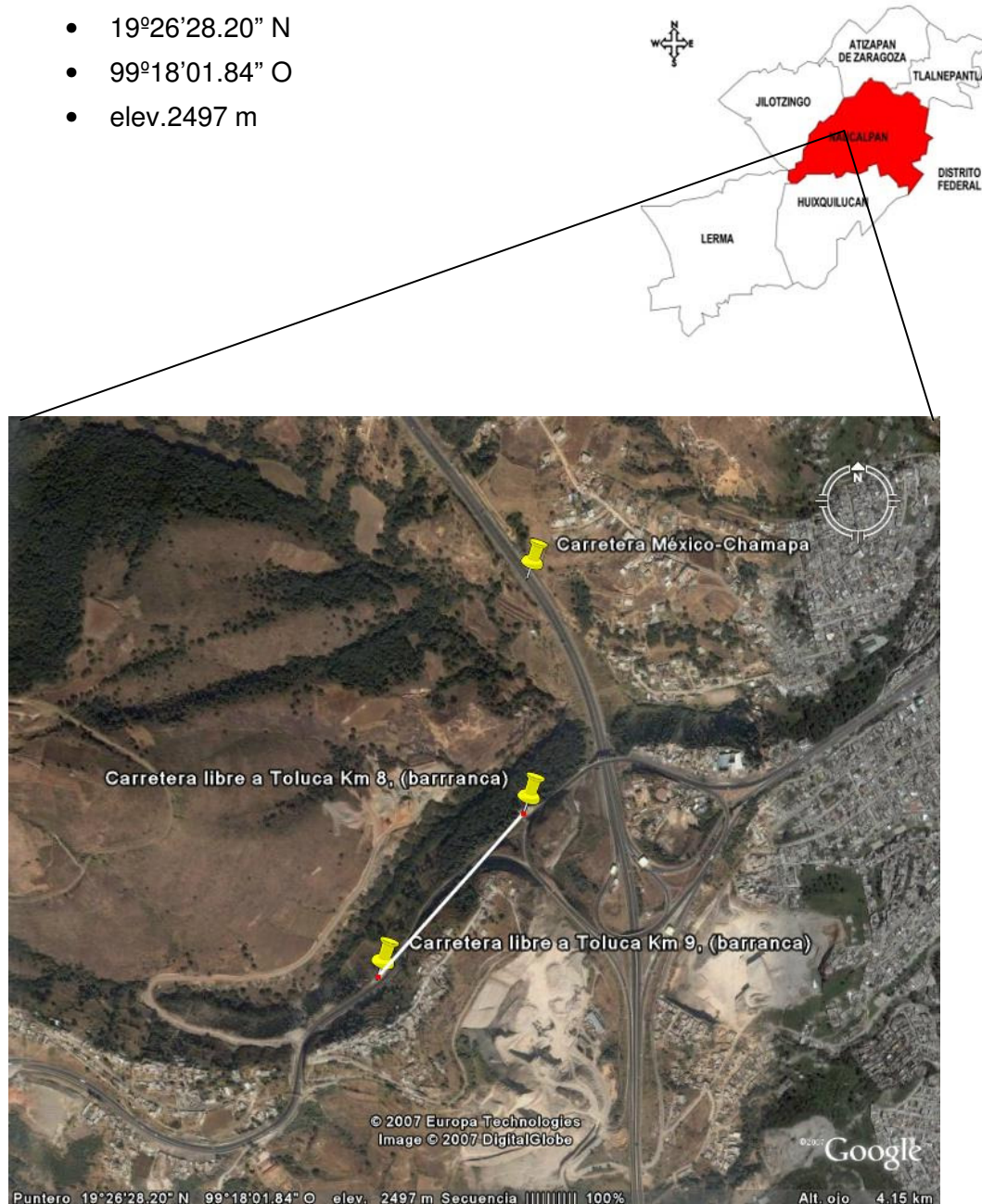


Figura 3.37 Carretera libre a Toluca, Barranca



Figura 3.38 Vertido de RESIDUOS C&D en barranca, vista en 3D.

◆ **Descripción del sitio:**

El Municipio de Naucalpan se extiende en una superficie de 155.7 km², pertenece a la región V del Estado de México, es cabecera de región, de acuerdo con el Plan Estatal de Desarrollo Urbano del Estado de México y se cataloga como una ciudad prestadora de servicios regionales a los municipios con los que colinda; Atizapán, Huixquilucan, Isidro Fabela, Jilotzongo, Nicolás Romero y Tlalnepantla.

Los recursos hídricos de Naucalpan lo conforma el vértice donde confluyen tres grandes cuencas hidrológicas: La cuenca del lago de Texcoco-Zumpango, la cuenca del río Lerma y la del Río Pánuco.

Conforme a la Ley de Protección al Ambiente para el Desarrollo Sustentable del Estado de México publicada en la gaceta del gobierno en 1994, el sitio de estudio forma parte de las áreas naturales protegidas que deben estar sujetas a conservación ambiental. Forma parte de las áreas determinadas como no urbanizables de acuerdo al Plan de Desarrollo Municipal 2006-2009.

El sitio constituye tanto una zona de recarga de los mantos acuíferos como un

refugio de diversas especies de flora y fauna, no obstante, actualmente se encuentra afectada por la disposición inadecuada de los RESIDUOS C&D, urbanos y peligrosos.

♦ **Condiciones anteriores:**

Desde los años 50's se ha presentado una ampliación de la mancha urbana de manera irregular hacia el oeste del territorio, sobre todo sobre terrenos señalados como no urbanizables y sobre suelo de régimen ejidal comunal, lo cual reviste costos sociales y ambientales. Sin embargo, la disposición de RESIDUOS C&D en esa barranca comenzó hace veinte años y sigue en aumento, de acuerdo a lo que manifestó un habitante del lugar durante la visita realizada al lugar.



Figura 3.39 Disposición de residuos C&D en Barranca



Figura 3.40 Habitante entrevistado

♦ **Superficie afectada:**

Mediante el uso del programa de información geográfica Google Earth, fue posible obtener dimensiones aproximadas del sitio afectado, teniéndose las siguientes: 51.26 m de ancho, 26.86 m de largo y 91.81 m altura

Por lo tanto, se estima que el *área afectada* es de aproximadamente 1, 376.84 m² y que el **volumen** de RESIDUOS C&D dispuesto en la barranca, es de alrededor de **126,408 m³**.



Figura 3.41 Carretera libre a Toluca km 9.



Figura 3.42 Asentamiento humano irregular



Figura 3.43 Disposición de RESIDUOS C&D, urbanos y peligrosos.



Figura 3.44 Afectación a la flora

♦ **Manejo actual de los residuos:**

Actualmente la empresa PROACTIVA Medio Ambiente, México está a cargo de la concesión para el manejo y disposición final de los residuos sólidos urbanos que se generan en el Municipio de Naucalpan. Dicha concesión tiene un periodo de validez de 20 años.

Cabe señalar que anteriormente el único sitio de disposición final en el Municipio de Naucalpan era el tiradero a cielo abierto de Rincón Verde, que estuvo operando por más de 30 años, alcanzó una altura de 80 metros y se estima recibió más de cinco millones de toneladas de basura, sin embargo, para enero de este año ya se había saneado casi en su totalidad (INAFED, 2007).

No obstante, a partir de diciembre de 2006 entró en operación el relleno sanitario a cargo de la citada empresa PROACTIVA (antes SETASA), con una inversión de alrededor de 30 millones de pesos, donde además se pretende aprovechar el biogás para la generación de energía eléctrica. El relleno sanitario entró en operación con un promedio de 750 toneladas de residuos que ingresan diariamente y cuya vida útil es de 20 años.

Cabe señalar que Naucalpan cuenta con una extensa zona de barrancas, consideradas como suelo de conservación, no obstante, las descargas domésticas son vertidas en ellas, como es el caso de las barrancas: Río de la Pastora, Barranca del Huizachal (que también recibe aguas negras domésticas, basura e invasiones) y la Barranca Río La Loma, la cual cuenta con una extensa vegetación aún cuando se dispone en ella basura y ha sufrido invasiones con fines habitacionales.

A continuación se muestra la matriz de impactos ambientales identificados con su respectiva ponderación. (Ver Tabla 3.12)

Tabla 3.12 Matriz de Ponderación de impactos. Barranca, Naucalpan.

			IMPACTOS	M	V	E	P	C	R	VM	CALIFICACIÓN
COMPONENTES AMBIENTALES	FÍSICO-QUÍMICOS	Agua	Eventual deterioro en la calidad del agua subterránea	3	-4	3	3	4	1	2	-19
			Eventual deterioro en la calidad del agua superficial	3	-4	3	3	4	1	3	-19
			Modificación de las características de flujo del agua superficial	4	-4	1	3	4	1	3	-18
		Suelo	Cambio del uso de suelo	4	-4	2	3	4	1	3	-20
		Aire	Emisión de polvos	2	-4	2	1	4	1	2	-12
	BIOL.	Fauna	Proliferación de fauna nociva	3	-4	2	3	4	1	2	-17
		Flora	Modificación de la cubierta vegetal	4	-4	1	3	4	1	2	-18
	SOCIOECONÓMICOS		Impacto visual	3	-4	2	3	4	1	2	-17
			Disminución del valor económico del sitio	2	-4	2	3	2	1	2	-14
			Formación de asentamientos humanos irregulares	4	-4	2	3	4	1	2	-20
			Obstrucción de vías de comunicación	1	-4	1	2	2	1	2	-8
			Azolve del sistema de alcantarillado	1	-4	1	2	2	1	0	-8

En este caso particular, la obstrucción de vías de comunicación y el azolve del sistema de alcantarillado resulta ser un impacto compatible, es decir, su calificación es $\leq (-)9$. En contraste, la disminución del valor económico del sitio corresponde a un impacto moderado y los demás impactos identificados como: el posible deterioro en la calidad del agua tanto subterránea como superficial, el cambio de uso de suelo y la formación de asentamientos irregulares, entre otros, representan impactos de tipo mediano.

De la matriz de impactos es posible observar que los impactos de mayor importancia son:

Los relacionados al deterioro de la calidad del agua tanto superficial como subterránea, debido a que las barrancas constituyen zonas de recarga de acuíferos y por lo tanto, con la acumulación de residuos C&D, urbanos e incluso peligrosos, se pone en riesgo el recurso hídrico.

La modificación de las características de flujo del agua superficial ya que debido al efecto de las lluvias es probable que ocurran deslaves y los residuos puedan afectar las vías de comunicación que se encuentran aguas abajo e incluso las viviendas de personas que se han asentado de forma indebida; como lo ocurrido en el tiradero Rincón Verde sobre la carretera Naucalpan-Ixtlahuaca el 30 de mayo del año pasado. (El universal, 2006).

El cambio de uso de suelo en esta zona es evidente y al mismo tiempo preocupante, ya que gran parte del territorio del Municipio de Naucalpan es catalogado como zona no urbanizable, sin embargo, de acuerdo a las prácticas comunes, el primer paso para el cambio de uso de suelo de un lugar considerado como zona de conservación, es el de disponer los residuos, para posteriormente consolidar asentamientos humanos irregulares, como se muestra en la Figura 3.42; impacto que de acuerdo a la ponderación realizada, tuvo un valor negativo de 21.

♦ **Predicción de los posibles efectos:**

De continuar el vertido de los RESIDUOS C&D en el sitio, es probable que se presenten afectaciones severas a la calidad del agua superficial y a los mantos acuíferos, que debido a la importancia de los recursos hídricos concentrados en el Municipio de Naucalpan puede repercutir seriamente en la salud pública.

Con la acumulación de los residuos en la barranca, es muy probable que ocurran deslaves durante la época de lluvias, afectando las vías de comunicación y los propios asentamientos irregulares que se encuentran en el sitio.

La proliferación de fauna nociva puede ocasionar problemas de salud pública dadas las condiciones del terreno, ya que podría esparcirse hacia otras zonas.

♦ **Medidas de mitigación:**

Crear un programa de recuperación de la zona basándose en los decretos de áreas de conservación de que dispone el Municipio, que incluya los siguientes puntos:

- Impedir que continúe el vertido de Residuos C&D en la zona
- Llevar a cabo el reciclaje de los residuos mediante la selección previa de materiales no peligrosos y el traslado a disposición final de aquellos que no sean susceptibles de ser aprovechados.
- Una vez que hayan sido retirados los residuos de la zona, llevar a cabo estudios para determinar el tipo de remediación que deberá aplicarse al suelo.
- Fomentar el rescate de las áreas verdes existentes para que proporcionen los servicios ambientales que ofrecían antes de la disposición inadecuada de los residuos.

♦ **CRITERIO:**

○ **Escenario esperado sin toma de acciones**

Dada la riqueza ecológica del sitio y por tratarse de una zona de recarga de acuíferos, los daños ambientales pueden ser severos, como por ejemplo, el agua infiltrada contiene microorganismos y materiales altamente contaminantes que pueden ser lixiviados en el suelo y transportados a través de las corrientes superficiales y subterráneas.

El agua superficial puede ser contaminada al recibir el agua subterránea contaminada, o directamente por la acumulación de los residuos, ya que si la filtración de microorganismos patógenos, metales pesados, sales e hidrocarburos clorados, contenidos en el lixiviado continúa luego de que los suelos subyacentes hayan llegado a su máxima capacidad para atenuar los contaminantes, éstos pueden ser liberados en el agua subterránea.

La calidad del aire se vería afectada debido a las actividades de descarga de los residuos, la quema abierta y las emanaciones de gases tóxicos provenientes de los residuos pueden repercutir en el detrimento de la salud pública.

La flora y la fauna podrían seguir siendo afectadas hasta perder importantes cantidades de especies que difícilmente podrían recuperarse.

- **Escenario aplicando medidas de mitigación**

- Mediante la aplicación de las medidas de mitigación antes señaladas, es posible contribuir a la recuperación de una zona de conservación de más de 1300 m² que constituye una importante zona de recarga.
- La Ley ambiental del Distrito Federal (LADF) define a las barrancas como “una depresión geográfica que por sus condiciones topográficas y geológicas se presentan como hendiduras y sirven de refugio de vida silvestre, de cauce de los escurrimientos naturales de ríos, riachuelos y precipitaciones pluviales” (LADF Art. 5); por lo que al rescatar esta zona se estarían rescatando los elementos del medio inmersos en ella.
- Es posible además evitar pérdidas humanas y materiales debidas a derrumbes, si se logra reubicar a las personas que habitan actualmente en el sitio.
- Es factible contribuir a la disminución de la contaminación ambiental que está sufriendo la zona.
- Es posible además evitar el impacto visual y la pérdida de valor de la propiedad que provoca la acumulación de los residuos.

De acuerdo a los casos de sitios de disposición inadecuada estudiados y como respuesta a las medidas de mitigación dentro de las que se contempla el reciclaje de los RESIDUOS C&D, en el siguiente capítulo se estudia la factibilidad técnica del uso de los agregados reciclados en la construcción de obras donde estos satisfagan los requerimientos que establece la normatividad aplicable.

CAPÍTULO 4

PRUEBAS FÍSICAS EN AGREGADOS RECICLADOS

CAPÍTULO 4. PRUEBAS FÍSICAS EN AGREGADOS RECICLADOS

Una vez identificados los impactos ambientales que provoca la disposición inadecuada de los RC&D en los sitios estudiados y como medida de mitigación, se estudió la posibilidad de emplear agregados reciclados en la construcción de obras en las que éstos satisfagan los requerimientos técnicos.

Como se explicó en el Capítulo II, las actividades de construcción, demolición y remodelación son responsables de la generación de importantes cantidades de residuos, sin embargo, de acuerdo a experiencias en diversos países, no cabe duda de que existen posibilidades para el empleo de materiales reciclados en la construcción de diversas obras.

En el presente capítulo se describe el trabajo desarrollado experimentalmente en el laboratorio de la empresa GEOVISA, S.A. de C.V. y la metodología empleada para el desarrollo del mismo.

Para establecer un marco de referencia se hace una descripción de conceptos básicos de ingeniería de caminos así como una breve revisión de la legislación mexicana aplicada a la construcción de subbases con el objeto de establecer los parámetros que deben satisfacer los agregados reciclados.

4.1 CONCEPTOS BÁSICOS

Las carreteras se clasifican de acuerdo con sus funciones en términos de la naturaleza del servicio que suministran. Este sistema de clasificación facilita su desarrollo sistemático y la asignación lógica de las responsabilidades de las mismas ante las diferentes jurisdicciones.

Las características técnicas de los caminos están en función del Tránsito Diario Promedio Anual (TDPA), para lo cual, desde el punto de vista de la utilización de materiales para la sección estructural de carreteras, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, SCT, de México ha definido cinco tipos de obras viales¹:

¹ SCT / IMT, 1990. ISSN 0188-7114, Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros. Sanfadila, Qro.

a) Especiales

Son carreteras de muy alta ocupación, como autopistas y carreteras urbanas o sub-urbanas en grandes ciudades (Ej. Accesos a la Ciudad de México, Guadalajara, Monterrey, etc.) Sobre ellas se tienen actualmente volúmenes del orden de 20,000 vehículos de tránsito diario promedio anual (TPDA) o más, con porcentaje de vehículos pesados de hasta el 40%.

b) Tipo I

Son las carreteras que por su importancia requieren, desde un principio, de una capa de rodamiento de concreto asfáltico o hidráulico. Se considera que deberán incluirse en este tipo de caminos, aquellos cuyo tránsito medido a través del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulado en un periodo de vida útil de 10 años, esté comprendido entre 10 millones y 50 millones (10^7 y 5×10^7). Este tránsito acumulado, equivale aproximadamente a un rango de 2,500 a 10,000 vehículos de TPDA en ambos sentidos, en las condiciones de carga y distribución de tránsito actuales.

c) Tipo II (Caso en estudio)

Son las carreteras que inicialmente requieren una superficie de rodamiento que no incluye concreto asfáltico en planta o hidráulico, pero para las que se prevé un gran desarrollo dentro de su vida útil, de manera que en un futuro relativamente próximo requerirán una capa de rodamiento de concreto asfáltico o hidráulico.

Se considera que deberá incluirse en este tipo los caminos cuyo tránsito, medido a través del número de ejes equivalentes de 8.2 toneladas, acumulados en un período de vida útil de 10 años, esté comprendido entre 1 millón y 10 millones (10^6 y 10^7). Este tránsito acumulado equivalente aproximadamente de 500 a 2,500 vehículos de TDPA en ambos sentidos, en las condiciones de carga y distribución de tránsito actuales.

d) Tipo III

Son las carreteras para las que se prevé que a todo lo largo de su vida útil contemplable podrán operar con un tratamiento asfáltico superficial o carpetas a base de riegos.

e) Tipo IV

Son las carreteras de servicio para las que se prevé que podrán operar toda su vida útil con un revestimiento superficial.

Dentro de la red carretera, los caminos Tipo II o secundarios, constituyen un activo de gran importancia, ya que a través de ellos es posible la comunicación permanente entre los centros de población y producción, el acceso de amplios grupos a la salud y educación como satisfactores básicos para mejorar su calidad de vida, así como mayores oportunidades de empleo y desarrollo general. A continuación en la Tabla 4.1 se muestra la clasificación de las obras viales con sus valores correspondientes de TDPA y el tipo de red de que se trata.

Tabla 4.1 Clasificación de Carreteras, SCT/ IMT.

Obras Viales	TDPA	RED
Especiales	> 20,000	Autopistas y Sub-urbanas
Tipo I	2,500 a 10,000	Autopistas y Federal
Tipo II	500 a 2,500	Federal y Estatal
Tipo III		Estatal
Tipo IV		Rural

Fuente: SCT / IMT. Manual ISSN 0188-7114

En la red carretera nacional se tienen los siguientes niveles de servicio:

Tabla 4.2 Niveles de servicio de las carreteras a nivel nacional, SCT.

Niveles de servicio	Longitud
Especiales, Tipos I y II	81%
Tipo III	11%
Tipo IV	8%

Adaptado de: SENER/CONAE, 2002. Subcomisión para el ahorro de energía en el transporte.

A continuación se hace referencia a algunos conceptos básicos.

Un **pavimento** es la capa o conjunto de capas comprendidas entre la subrasante y la superficie de rodamiento de una obra vial, y cuya finalidad es proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, resistente al tránsito, al intemperismo producido por los agentes naturales, y a cualquier otro agente perjudicial. Se trata de un elemento estructural monocapa o multicapa, construido para soportar cargas estáticas y/o móviles durante su vida de servicio, para lo que necesariamente deberá recibir algún tipo de tratamiento tendiente a prolongarla.

Su función es la de transmitir de manera adecuada los esfuerzos a toda la estructura del pavimento, garantizando un cuerpo estable y permanente bajo la acción de cargas. Existen básicamente dos tipos de pavimentos: flexibles y rígidos. En las figuras 5.1 y 5.2 se muestran los elementos que componen la sección de construcción de un pavimento flexible y rígido respectivamente.

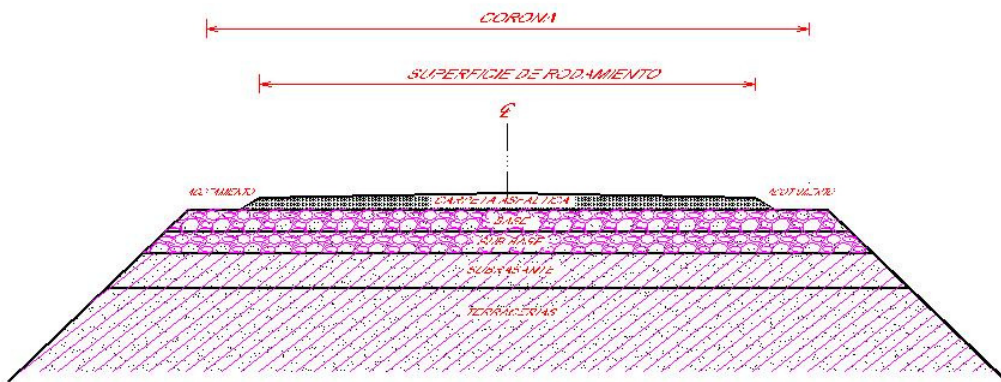


Figura 4.1 Estructura típica de un pavimento flexible

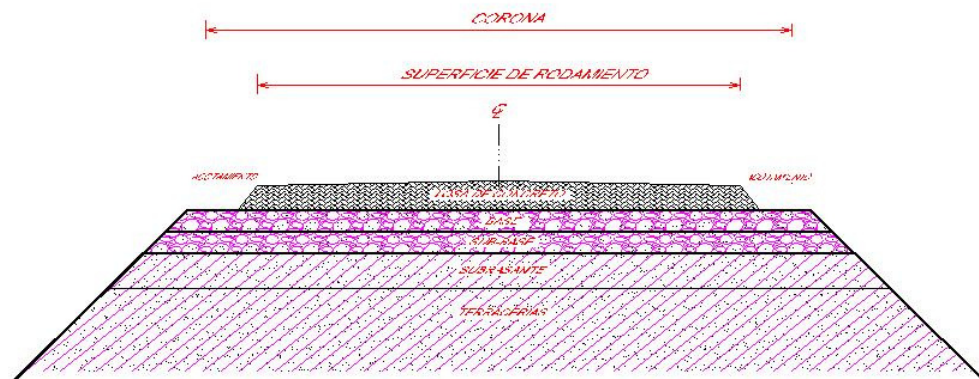


Figura 4.2 Estructura típica de un pavimento rígido

Sub-base:

Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye sobre la subrasante, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la base de una carpeta asfáltica o a una losa de concreto hidráulico, soportar las cargas que éstas le transmiten aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, y prevenir la migración de finos hacia las capas superiores. (SCT, N-CTR-CAR-1-04-002-03). Así mismo, las subbases cumplen con una función económica, ya que ofrecen la posibilidad de poder transformar un cierto espesor de la capa de base a un espesor equivalente de material de sub-base con el consiguiente ahorro económico.

Base:

Capa de materiales pétreos seleccionados que se construye generalmente sobre la subbase, cuyas funciones principales son proporcionar un apoyo uniforme a la carpeta asfáltica, soportar las cargas que ésta le transmite aminorando los esfuerzos inducidos y distribuyéndolos adecuadamente a la capa inmediata inferior, proporcionar a la estructura de pavimento la rigidez necesaria para evitar deformaciones excesivas, drenar el agua que se pueda infiltrar e impedir el ascenso capilar del agua subterránea. (SCT, N-CTR-CAR-1-04-002-03)

Los materiales que componen una subbase son materiales granulares, que según el tratamiento que recibieron de acuerdo a la N-CMT-4-02-001/04, pueden ser:

Materiales Naturales. Son las arenas, gravas y limos, así como rocas muy alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez extraídos y, en su caso disgregados, no contendrán más del cinco (5) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3”), las que serán eliminadas manualmente, ni más de veinticinco (25) por ciento de material que pasa la malla con abertura de cero punto cero setenta y cinco (0.075) milímetros (Nº 200).

Materiales Cribados. Son las arenas, gravas y limos, así como las rocas alteradas y fragmentadas, que al extraerlos quedan sueltos o pueden disgregarse mediante el uso de maquinaria. Una vez extraídos y, en su caso disgregados, si contienen entre el cinco (5) y el veinticinco (25) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3”) y no más de veinticinco (25) por ciento de material que pasa la malla con abertura de cero punto cero setenta y cinco (0.075) milímetros (Nº 200), para hacerlos utilizables

requerirán de un tratamiento mecánico de cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

Materiales Parcialmente Triturados. Son los poco o nada cohesivos, como mezclas de gravas, arenas y limos, que al extraerlos quedan sueltos o pueden ser disgregados, que contienen de veinticinco (25) a setenta y cinco (75) por ciento de partículas mayores de setenta y cinco (75) milímetros (3”) que para ser utilizables, requieren un tratamiento mecánico de trituración parcial y cribado, con el equipo adecuado, para satisfacer la composición granulométrica.

Materiales Totalmente Triturados. Son los materiales extraídos de un banco, o pepenados, que requieren de un tratamiento mecánico de trituración total y cribado, con el equipo adecuado para satisfacer la composición granulométrica.

Materiales Mezclados. Son los que se obtienen mediante la mezcla de dos o más de los materiales antes mencionados, en las proporciones necesarias para satisfacer los requisitos de calidad establecidos en la norma N-CMT-4-02-001/04, Requisitos de calidad que cumplirán los materiales que se utilicen en la construcción de la capa de sub-base para pavimentos asfálticos.

4.2 DESCRIPCIÓN DEL EXPERIMENTO

Con base en la revisión de experiencias en diversos países, realizada en el Capítulo II y teniendo en cuenta los grandes volúmenes de agregados naturales que se consumen en la construcción de caminos, se propone la aplicación de los agregados reciclados en la *construcción de subbases de caminos secundarios*, con lo que se pretende contribuir a la aplicación de la norma NADF-RNAT-007-2004 y a la reducción de los problemas ambientales de la Ciudad de México debidos a la disposición inadecuada de los RC&D.

Una vez decidido el tipo de obra a la que se enfocaría el trabajo experimental, se hizo una revisión de la normatividad establecida por el Instituto Mexicano del Transporte (IMT) con el fin de conocer los parámetros de calidad que deben satisfacer los agregados para la construcción de subbases de caminos, encontrándose los siguientes manuales y normas:

Tabla 4.3 Normatividad Aplicada

NORMAS Y MANUALES	DESCRIPCIÓN
ISSN 0188-7114	Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros. IMT
N CTR CAR-1-04-002/03	Norma que contiene los aspectos a considerar en la construcción de subbases y bases de pavimentos para carreteras.
N CMT 4-02-001	Materiales para Subbases.
NMX-AA-015-1985	Norma mexicana que establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales.

Fuente: IMT, Normas y Manuales para la construcción de bases y sub-bases de caminos, 1990.

El desarrollo experimental se llevó a cabo en dos etapas. En cada etapa se realizaron dos muestreos en la planta “Concretos Reciclados, S.A. de C.V.”, cada uno en diferentes épocas entre los años 2005 y 2006. La diferencia entre la primera y segunda etapas radica en que en la primera se realizaron pruebas de calidad en los materiales reciclados de acuerdo al tipo de curva granulométrica que presentaban, sin embargo, en la segunda etapa debido al desempeño de los agregados reciclados observado en la primera etapa, se realizaron mezclas con los materiales para mejorar sus propiedades.

Posterior a cada muestreo, los materiales fueron trasladados a las instalaciones del laboratorio de la empresa “GEOVISA, S.A. de C.V.” ubicado en Cerrada Tenorios #9, Col. Ex Hacienda de Coapa, Del. Coyoacán, para realizar las pruebas que establece la normatividad para la aplicación seleccionada. Las pruebas fueron realizadas de acuerdo a lo establecido en el Manual de Procedimientos proporcionado por la empresa y con la asesoría del personal que en ella labora.

Una vez obtenidos los resultados de los ensayos, se realizaron los cálculos y las gráficas de los mismos; fue necesaria su comparación inmediata con los parámetros de calidad para repetir los ensayos cuando fue requerido.

Posteriormente se analizaron los resultados obtenidos y mediante tablas conocidas se establecieron relaciones entre los agregados vírgenes y los reciclados con el fin de establecer criterios que permitan recomendar estos últimos en la construcción de subbases de caminos.

Con base en los resultados obtenidos en las actividades que se explican en este capítulo, en el Capítulo V se presenta la interpretación de los resultados finales para determinar si los agregados reciclados cumplen con los objetivos planteados y si es posible recomendarlos para la construcción de subbases de caminos secundarios. A continuación se muestra la metodología seguida para el desarrollo del trabajo experimental.

4.3 METODOLOGÍA

El propósito del trabajo experimental es buscar alternativas de solución a los problemas ambientales utilizando específicamente el reciclaje de los residuos de la construcción y demolición (RC&D) y recomendando su uso en obras de ingeniería en las que se satisfagan los requerimientos técnicos. En la figura 4.3 se muestra esquemáticamente la metodología seguida para el desarrollo del trabajo experimental.

4.3.1 Tipo de obra a elegir

De acuerdo a la norma ambiental NADF-007-RNAT-2004, en las siguientes obras se debe sustituir al menos un 25% de los materiales vírgenes por materiales reciclados:

- ✓ ***Sub-base en caminos.***
 - Sub-base en estacionamientos.
 - Carpetas asfálticas para vialidades secundarias.
 - Construcción de terraplenes.
 - Cubierta en relleno sanitario.
 - Construcción de andadores o ciclopistas.
 - Construcción de lechos para tubería.
 - Construcción de bases de guarniciones y banquetas.
 - Rellenos y filtros para obras viales o pedraplenes.
 - Bases hidráulicas.

Dado que los requerimientos técnicos para las diferentes obras son diversos, se eligieron las sub-bases de caminos tomando en cuenta las cantidades tan significativas de materiales vírgenes utilizados en los procesos constructivos convencionales y que en la práctica se ha aplicado el reúso de agregados observando un buen comportamiento aun cuando no se cuenta con las bases técnicas que sustenten dicha aplicación.

Se decidió además limitarlos a caminos Tipo II, es decir, aquellos cuyo Tránsito Diario Promedio Anual es de 500 a 2,500 vehículos, pudiendo ser de competencia Federal o Estatal.

Con este trabajo se pretende demostrar mediante pruebas de laboratorio la viabilidad técnica del uso de los RESIDUOS C&D como agregados reciclados en subbases de caminos y contribuir a la reducción de uno de los problemas más preocupantes que aquejan al Valle de México, la generación de residuos sólidos.

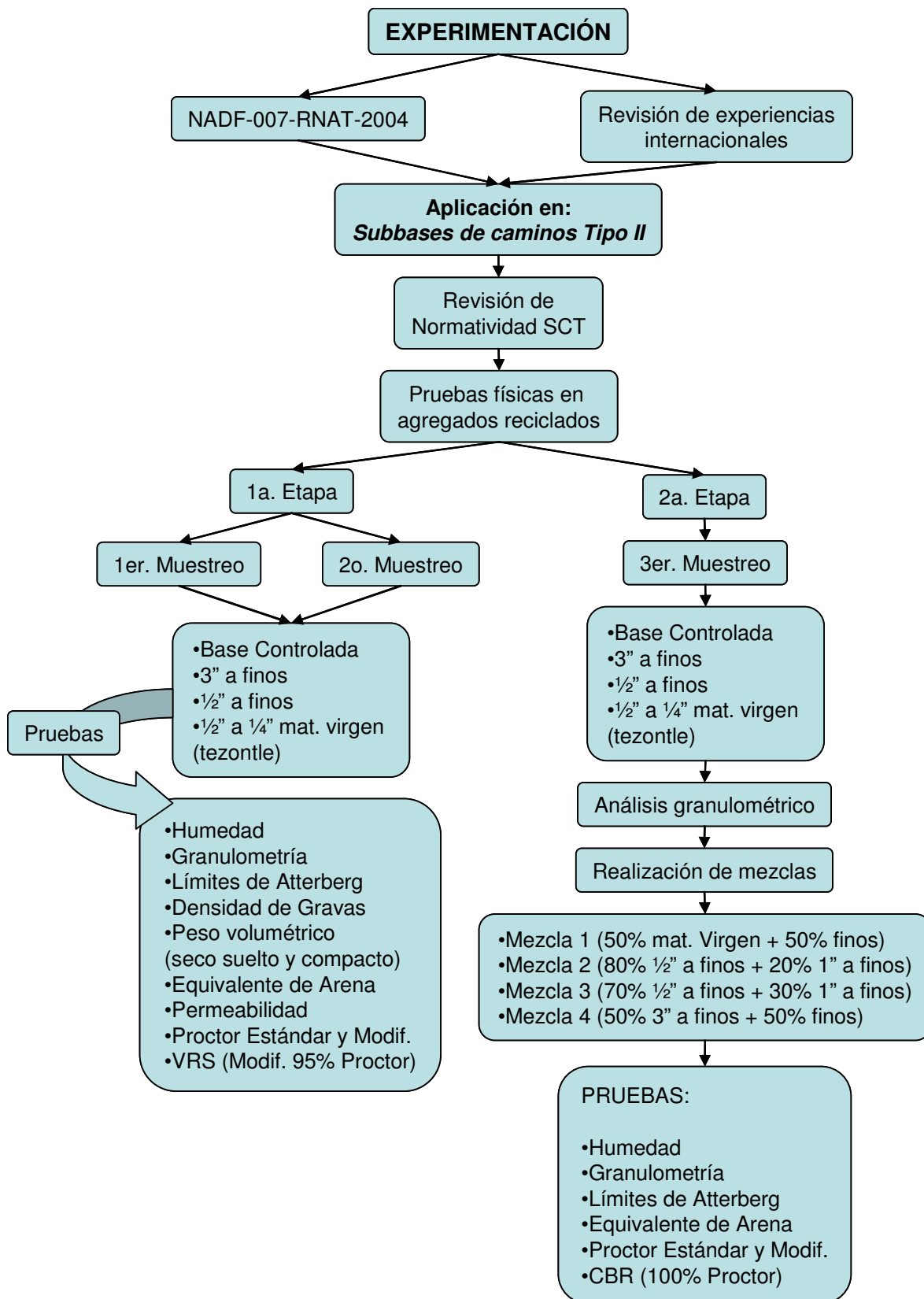


Figura 4.3 Metodología para el desarrollo del trabajo experimental

4.3.2 Parámetros de Calidad

El “Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros”, del IMT, establece los criterios de calidad de material en las capas que forman la sección estructural de pavimentos flexibles, de tal manera que puedan soportar con un comportamiento adecuado y una mínima conservación, las cargas transmitidas y los volúmenes de tránsito que actualmente circulan en las carreteras mexicanas. A continuación se muestra la tabla 4.4 que resume los valores recomendados, así como la Figura 4.4 con las zonas granulométricas recomendadas.

Tabla 4.4 Valores de calidad para material de sub-base y revestimiento

CARACTERÍSTICA	CALIDAD		
	Deseable	Adecuada	Revestimiento
Granulometría			
Zona granulométrica (Anexo: fig. No.1)	1 a 2	1 a 3	1 a 3
Tamaño máximo (mm)	51	51	76
% finos (< 0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín, 20 máx
Límite líquido LL (%)	25 máx	30 máx	40 máx
Índice Plástico IP (%)	6 máx	10 máx	15 máx
Compactación (%)			95 mín
(AASHTO modif.)	100 mín	100 mín	(AASHTO Est.)
Equivalente de arena (%)	40 mín	30 mín	
CBR (%)			
	40 mín	30 mín	30 mín
Compactación dinámica (1)			

(1) Al porcentaje de compactación indicado.

Fuente: Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros. IMT, 1990. ISSN 0188-7114.

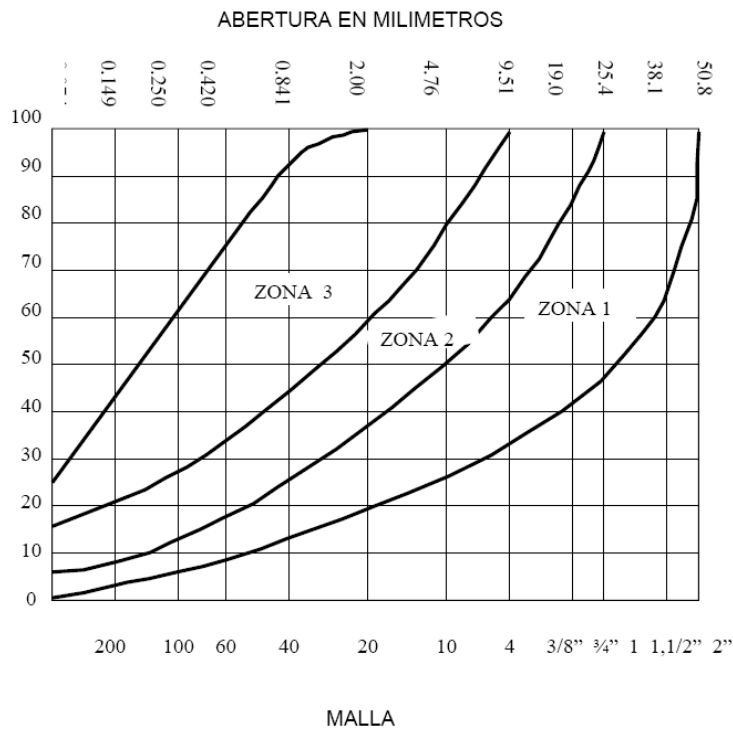


Figura 4.4 Zonas granulométricas recomendables

Fuente: Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros. IMT, 1990. ISSN 0188-7114.

4.4 ETAPAS EXPERIMENTALES

Como se mostró en la figura 4.3 el experimento se realizó en dos etapas. En cada una se realizaron dos muestreos obteniendo porciones representativas de cada tipo de material almacenado en la planta tomándose en cuenta los volúmenes necesarios para la realización de cada prueba sin reutilizar el material.

La primera etapa se caracterizó porque cada tipo de material obtenido mediante muestreos fue sometido a las diferentes pruebas de calidad tomando al menos dos réplicas en cada caso; mientras que en la segunda etapa experimental una vez que se realizó cada muestreo se realizaron mezclas con los materiales y se sometieron a las mismas pruebas de calidad, con sus respectivas réplicas.

4.4.1 PRIMERA ETAPA

MUESTREO 1

Con el objeto de obtener porciones representativas de los materiales reciclados y poder efectuar las pruebas de laboratorio aplicables a materiales para sub-bases de caminos, se llevó a cabo el Muestreo 1 el miércoles 26 de octubre de 2005 en la planta “Concretos Reciclados S.A.”. Para su realización se requirió un vehículo para transportar el material, la ayuda de dos trabajadores y material como (Figura 4.5):

- 2 pares de guantes de carnaza
- 2 palas cuadradas y
- 8 Costales de rafia.



Figura 4.5 Muestreo 1

Los materiales almacenados correspondían a las curvas granulométricas de 3" a finos, 1/2"



Figura 4.6 Cuarteo del material reciclado

sin finos, 1/4" a finos, 1 1/2" a 1/4" de material virgen (tezontle) y Base controlada. Ésta última fabricada mediante la combinación de agregados vírgenes (tezontle) y reciclados, es comercializada por la empresa para ser utilizada como base hidráulica.

Durante el muestreo se obtuvieron dos muestras representativas de cada curva granulométrica mediante el “Método de cuarteo” que recomienda la norma mexicana NMX-AA-015-1985 (Figura 4.6). Cabe mencionar que la toma de las muestras se realizó de la manera más aleatoria posible, ya que los materiales una vez que han sido triturados son almacenados por tamaño. De tal manera que las muestras fueron tomadas de la parte central de la pila y mediante el método de cuarteo se homogeneizaron reduciéndolas hasta obtener una cantidad equivalente a dos costales de material. Cada muestra fue almacenada e identificada en costales de rafia, que posteriormente fueron transportadas al Laboratorio de la empresa “GEOVISA, S.A. de C.V.” (Figura 4.7).

Dado que era necesario conocer las propiedades del material reciclado, para esta primera etapa se propuso la realización de las siguientes pruebas de calidad, aún cuando algunas de ellas no son requeridas por la normatividad en materia de construcción de sub-bases de caminos.

PROPIEDADES ÍNDICE

- Contenido de agua
- Granulometría
- Límites líquido y plástico
- Densidad de Gravas
- Peso Volumétrico seco suelto
- Equivalente de Arena
- Permeabilidad



Figura 4.7 Muestras obtenidas en planta

PRUEBAS

1. Compactación:
 - AASHTO Estándar
 - AASHTO Modificada
2. VRS Estándar
3. VRS Modificado:
 - a) 95% de compactación AASHTO Estándar

Cabe señalar que dos de los materiales muestreados presentaron curvas granulométricas de $\frac{1}{2}$ " sin finos y $\frac{1}{4}$ " a finos y dado que el material para una sub-base de caminos debía presentar una curva de $\frac{1}{2}$ " a finos se procedió a elaborar en el laboratorio una mezcla de las dos anteriores para obtener la curva deseada y poder llevar a cabo las pruebas antes mencionadas en los materiales.

Así mismo, en el laboratorio se llevó a cabo la toma de sub-muestras siguiendo el procedimiento que establece el Título F "Procedimiento manual de cuarteo" del Libro M.MMP.1.03/03 del IMT mediante el cual, se realizaron dos cuarteos para obtener las cantidades necesarias de material para cada prueba como se muestra en las Figuras 4.8 y 4.9.



Figura 4.8 Cuarteo de material en laboratorio



Figura 4.9 Muestras representativas

MUESTREO 2

El segundo muestreo se realizó el 2 de febrero de 2006 y se obtuvieron muestras de las siguientes granulometrías:

- 1½" a ¼" de material virgen
- Base hidráulica controlada
- 3" a finos
- ½" sin finos y
- ¼" a finos



Figura 4.10 Muestreo 2

Las muestras se tomaron de la parte central de la pila como se muestra en la Figura 4.10 y mediante el método de cuarteo se homogeneizó hasta que se obtuvieron dos costales de material de cada una de las granulometrías (Figura 4.11).

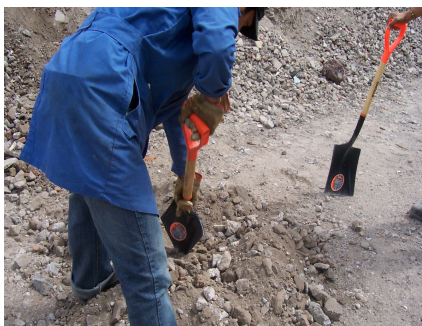


Figura 4.12 Cuarteo de material



Figura 4.11 Identificación de las muestras

Una vez tomadas las muestras, fueron identificadas escribiendo en los costales el tipo de material de que se trataba, fecha, hora en que fueron tomadas y el número de muestra (Figura 4.12). Posteriormente fueron transportadas al Laboratorio para efectuar las pruebas de calidad en los materiales (Figura 4.13).



Figura 4.13 Cuarteo de muestras representativas

DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES ÍNDICE MUESTREOS 1 Y 2

• CONTENIDO DE AGUA

La primera prueba realizada fue la determinación del contenido de agua en cada muestra, ya que esta prueba debe realizarse en cuanto el material es muestreado para que no pierda su humedad natural. En este caso se trató de muestras integrales para las cuales la cantidad necesaria se determina de acuerdo a la Tabla 4.5:

Tabla 4.5 Cantidad de material necesaria para la prueba de humedad

Más del 10% de la muestra se retiene en la criba de abertura en mm	Peso mínimo recomendable de la muestra húmeda en g
2.0	100
4.75	300
19	500
38	1500
76	5000

Fuente: Manual de procedimientos para determinar el contenido de agua del suelo. GEOVISA, S.A. de C.V.

Para esta prueba en el muestreo 1 sólo se tomó una sub-muestra o testigo de cada tipo de material, por lo que se obtuvieron 5 valores de contenido de agua, sin embargo, los materiales de ½” sin finos y ¼” a finos fueron mezclados para obtener la curva de ½” a finos obteniéndose de igual manera el contenido de agua de esta última. Para el segundo muestreo se tomaron 3 sub-muestras de cada tipo de material, por lo cual se ensayaron un total de 16 sub-muestras.

Dado el proceso de trituración del material reciclado fue posible observar que más del 10% es retenido en la malla con abertura de 38 mm (1 ½”) por lo que el peso mínimo recomendable para cada testigo fue de 1500 gramos. De esta manera las muestras representativas presentaron pesos iniciales entre 1,700 g y 3,000 g, que fueron registrados en el formato correspondiente.

EQUIPO NECESARIO:

- a. Horno que mantenga la temperatura uniforme de 110 ± 5 °C
- b. Báscula con precisión ± 0.01 g
- c. Recipiente de vidrio (flanera)
- d. Espátula tipo cuchillo
- e. Charola



Figura 4.14 Toma de muestras

PROCEDIMIENTO:

1. Se obtuvo una muestra de 1,500 g, se pesó una flanera vacía, la cual se denominó peso de la tara y se anotó en el registro No. IMS1-02-01 (Figura 4.14).
2. A continuación se pesó la muestra de suelo húmedo con el recipiente que la contenía registrándose este peso como Wh+tara.
3. El recipiente se colocó en el horno a una temperatura de 110 ± 5 °C durante 24 hrs (Figura 4.15).
4. Al día siguiente una vez que las muestras secas alcanzaron la temperatura ambiente se pesaron anotándose como Ws+tara.



Figura 4.15 Secado de material en el horno

• **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MALLAS**

Tanto en el muestreo uno como en el dos se obtuvieron tres muestras representativas de cada tipo de material de las cuales se realizó el análisis granulométrico tanto para materiales retenidos en la malla No. 4 como para aquellos que la pasan. Sin embargo, como el material virgen se encontraba clasificado de origen dentro de la curva de 1½” a ¼” la presencia de finos fue casi nula, por lo que en ambos muestreos se omitió el análisis de granulometrías menores a la malla No. 200.

EQUIPO NECESARIO:

- a. Juego de mallas (a continuación se muestra en la tabla 4.6)

Tabla 4.6 Juego de mallas para análisis granulométrico

MALLAS EMPLEADAS EN LA EJECUCIÓN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MALLAS	
Denominación	Abertura de la malla
	mm
3”	75.0
2”	50.0
1 ½”	37.5
1”	25
¾”	19
½”	12.5
3/8”	9.5
4	4.76
8	2.36
16	1.00
20	850 µm
30	600 µm
40	425 µm
60	250 µm
100	150 µm
200	75 µm

PROCEDIMIENTO:

1. Para llevar a cabo esta prueba, se identificó inicialmente si el material tenía o no retenido en la malla 4 (aproximadamente partículas mayores que 5 mm).
2. La muestra por ensayar fue secada al horno previamente.
3. Se pesó la charola con el material mayor que la malla No. 4 (4.76 mm), anotándolo posteriormente en el registro No. IMS1-02-02.

4. El material retenido en la malla No. 4 (4.76 mm) se pasó a través de las mallas de 3" (75.0 mm), 2" (50.0 mm), 3/2" (37.5 mm), 1" (25.0 mm), 3/4" (19.0 mm), 1/2" (12.5 mm), 3/8" (9.5 mm) y una charola al final, en donde se depositó el material que pasó la malla de 3/8".



Figura 4.16 Clasificación del material

5. El cribado se realizó induciendo movimientos laterales y verticales que a su vez produjeron vibraciones para mantener el material en constante movimiento, golpeando además las cribas con la mano lateralmente (Figura 4.16).
6. Las porciones retenidas en cada una de las cribas utilizadas, así como la porción que pasó la malla No. 4 se pesaron en la balanza y se anotaron los resultados obtenidos en el registro correspondiente.
7. Se tuvo cuidado en que no quedaran partículas atoradas en los orificios de las mallas. Sin embargo, las partículas retenidas fueron removidas empleando una brocha.

MATERIAL QUE PASA LA MALLA No.4

1. El material menor que la malla No. 4 se puso a secar en el horno por 12 horas. Se dejó enfriar el material a temperatura ambiente y se pesó la cantidad requerida para realizar la prueba.
2. Se lavó el material y se desmoronaron cuidadosamente los grumos de material con la mano para evitar romper los



Figura 4.17 Lavado de material que pasa la malla 4

granos del material desmoronado (Figura 4.17).

3. Se cribó el material que pasa la malla No. 4 por las mallas 8 (2.36 mm), 16 (1.00 mm), 20 (0.85 mm), 30 (0.60 mm), 40 (0.425 mm), 60 (0.25 mm), 100 (0.150 mm), 200 (0.072 mm) y al final se colocó una charola para retener el material que pasó la malla 200.
4. Las porciones retenidas en cada una de las cribas utilizadas, así como la porción que pasó la malla 200 y queda en la charola se pesaron en la balanza anotando los resultados obtenidos en el registro correspondiente. (IMS5-02-03). Las partículas retenidas fueron removidas de las mallas con cepillos de cerdas suaves que no rasgaran las mallas.

• **LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG**

Esta prueba es aplicable sólo a la fracción fina de los suelos por lo que en los dos muestreos el material virgen fue omitido por no contener fracción fina. Para cada uno de los tipos de materiales se elaboraban 4 pruebas de tal manera que al final se obtenía un promedio de las cuatro siendo el resultado final para cada material.

Esta prueba se concreta a la determinación de los límites líquido y plástico, por lo que a continuación se mencionan algunos conceptos básicos:

Límite líquido. Constituye el contenido de agua de una muestra de suelo que se considera la frontera convencional entre el estado semilíquido y el estado plástico del suelo.

Límite plástico. Constituye el contenido de agua de una muestra de suelo que se considera la frontera convencional entre el estado plástico y el estado semisólido del suelo.

Estado semilíquido. Es el estado en el cual el suelo se comporta con las propiedades de un fluido viscoso.

Estado plástico. Es estado del suelo en el cual se comporta plásticamente.

Estado semisólido. Es el estado del suelo en el cual tiene la apariencia de un sólido pero aún disminuye de volumen al ser sometido a secado.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE LÍQUIDO

EQUIPO NECESARIO:

- a. Copa Casagrande
- b. Placa de vidrio
- c. Horno que mantenga una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C
- d. Báscula con precisión ± 0.01 g
- e. Recipiente de aluminio
- f. Piceta con agua
- g. Espátula tipo cuchillo
- h. Franela



Figura 4.18 Copa de Casagrande

PROCEDIMIENTO

1. De una muestra se tomó una porción aproximada de 200 g de material, que pasó la malla No. 40. El material se disgregó colocando una muestra en una flanela y se agregó agua hasta cubrir la muestra, dejándola hasta que se separaran los granos con la mano, aproximadamente se dejaron 24 horas.
2. Enseguida se colocó ésta porción del material sobre una placa de vidrio donde se remoldeó con la ayuda de una espátula de abanico para lograr una pasta suave y espesa, así mismo se agregó un poco de agua para lograr una mezcla homogénea.
3. De la mezcla homogénea se tomó una porción, la cual se debe colocó sobre la cápsula de latón de la copa de Casagrande utilizando la espátula tipo cuchillo, extendiendo el material de modo que la superficie quede plana y de un espesor no mayor de un centímetro en la parte central, evitando que se formen grumos que contengan aire atrapado, ya que alterarían el resultado de la prueba.
4. Con el ranurador se procedió a realizar la ranura al centro como se muestra en la Figura 4.18 siguiendo el eje longitudinal de la cápsula de latón, en un solo tiempo, cuidando que el ranurador se mantuviera perpendicular a la superficie de la cápsula de latón, limpiando el ranurador después de realizar la operación con la franela húmeda.
5. A continuación se dio vueltas a la manivela de la copa a razón de dos golpes por segundo, contando el número de golpes necesario para que la ranura cerrara en

sentido longitudinal de la cápsula de latón, en la parte del fondo a una distancia de un centímetro aproximadamente.

6. Se procedió a cerrar la ranura con una espátula, teniendo cuidado de que no quedaran burbujas y se anota el número de golpes en el formato.
7. Se tomó una porción de la muestra de la copa y se colocó en un recipiente de aluminio previamente pesado y se anotó en el registro. Posteriormente se obtuvo el contenido de agua de la muestra.
8. Se realizaron cuatro determinaciones comprendidas entre 5 y 50 golpes, teniendo 2 entre 5 y 25, las otras 2 entre 25 y 50.
9. Para determinar el Límite líquido se trazó una línea perpendicular al eje de las abscisas en el punto de 25 golpes, cruzando a la curva de fluidez, en ese punto se trazó una línea paralela al eje de las abscisas que cruzó el eje de las ordenadas donde se obtuvo el valor de contenido de agua que corresponde al Límite líquido (Lw), anotándose en el formato.

DETERMINACIÓN DEL LÍMITE PLÁSTICO

EQUIPO NECESARIO

- a. Placa de vidrio
- b. Espátula de abanico
- c. Piceta con agua
- d. Cápsulas de aluminio
- e. Báscula con precisión ± 0.01 g
- f. Horno que mantenga una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C

PROCEDIMIENTO

1. Se procedió a tomar una porción del suelo empleado en la prueba de Límite Líquido que tenga un bajo contenido de agua.
2. La muestra se amasó y se manipuló en la placa de vidrio para darle una forma cilíndrica, para poder realizar un rollo de 3.2 mm de diámetro aproximadamente, el cual se deberá rolar en la placa de vidrio con la mano, esto con la finalidad de que el



Figura 4.19 Cápsulas de aluminio

material evapora agua (Figura 4.19).

3. El límite plástico se alcanzó cuando el rollo cilíndrico se rompió al ser reducido a su diámetro de 3.2 mm aproximadamente. El rollo se rompió en pedazos de 0.5 cm aproximadamente.
4. Se colocaron los pedazos en un recipiente de aluminio, se pesaron y se anotó el valor en el formato, posteriormente se obtuvo el contenido de agua de la muestra. El peso seco obtenido al día siguiente fue anotado en el formato.
5. Para verificar la determinación anterior se procedió a realizar otra determinación de la misma forma.

• **DENSIDAD DE GRAVAS**

Con la prueba de densidad relacionada con la de absorción se tiene una idea general de la calidad del material pétreo. Se puede decir que a densidades altas y bajas absorciones, corresponden materiales compactos y resistentes, a no ser que presenten planos y superficies de debilitamiento. Sin embargo, existen materiales porosos de baja densidad y alta absorción que son bastante resistentes y que se identifican fácilmente por la presencia de poros o cavernas, visibles a simple vista. Aún cuando esta prueba no está especificada en la normatividad para los agregados de subbases de caminos, se realizó con el fin de conocer las características del material reciclado.



Figura 4.20 Gravas del material 3" a finos

Esta prueba fue aplicada por triplicado en ambos muestreos a los materiales: 1 ½" – ¼" virgen, 3" a finos, base controlada y ½" a finos.

EQUIPO NECESARIO:

- a. Báscula con precisión (0.1 g)
- b. Un recipiente adecuado para verificar la

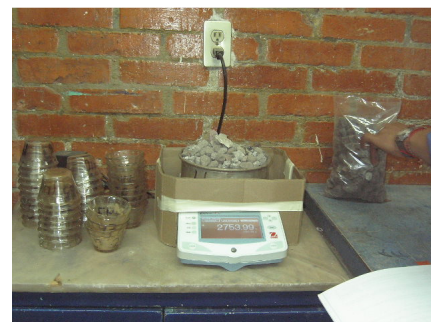


Figura 4.21 Pesaje de gravas

saturación

- c. Una franela
- d. Un picnómetro
- e. Una bureta
- f. Horno que mantenga una temperatura uniforme de 110 ± 5 °C

PROCEDIMIENTO

1. Se tomó una muestra representativa obtenida mediante cuarteo y posteriormente secada en el horno a temperatura de 110 ± 5 °C durante un periodo de 24 horas (Figura 4.21). Después de transcurrido dicho tiempo, se sacó la muestra del horno y se dejó enfriar, luego se cribó por la malla No. 4 y el material retenido en la malla fue lavado con el fin de eliminar el polvo o material extraño.
2. La muestra lavada fue sumergida en agua limpia a temperatura ambiente y se mantuvo el material durante 24 horas aproximadamente. Transcurrido este tiempo se extrajo la muestra del agua y se secó superficialmente con una franela ligeramente húmeda extendida sobre la mesa de trabajo, colocando el material envuelto con la franela y haciendo presión en toda la superficie.
3. Se colocó el material en un recipiente previamente pesado y se pesó el material saturado superficialmente seco, con el recipiente, anotando dicho peso en la columna E ($P_{ss}+T$) del formato IMS5-04-01 (Figura 4.21).
4. Se preparó un picnómetro llenándolo con agua hasta el límite de aforo; en la parte de desfogue se colocó una bureta con volumen de agua conocido, el cual se tomó como volumen inicial en mililitros y se anotó en la columna C.
5. Posteriormente la muestra fue colocada dentro del picnómetro desalojando un volumen de agua depositado en la bureta. Se esperó hasta que el picnómetro dejara de pasar agua a la bureta y se obtuvo el volumen desalojado por medición directa y fue anotado en la columna D (volumen final).
6. Enseguida se extrajo la muestra y se secó en el horno a temperatura constante de 110°C por 24 horas, después de transcurrido ese tiempo, se sacó del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente; se pesó registrando esta medición en la columna F ($P_{seco} +T$).

• **PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (PVSS)**

Esta prueba se aplicó en los dos muestreos a los materiales: 3" a finos, base controlada y

1/2” a finos por cuadruplicado y para cada tipo se tomó en una charola metálica una cantidad aproximada de 35 kg.

Peso volumétrico seco máximo: es el peso volumétrico que el suelo puede adquirir cuando sus partículas se encuentran en el mejor grado de acomodo posible y además se encuentra con contenido de agua cero.

Peso volumétrico seco mínimo: es el peso volumétrico más bajo que un suelo puede asumir debido a que sus partículas se acomodan en un arreglo disperso, con estructura estable, aunque en equilibrio crítico y además el suelo se encuentra con contenido de agua cero.

EQUIPO NECESARIO:

- a. Báscula con precisión ± 0.01 g
- b. Un recipiente de dimensiones conocidas
- c. Una franela
- d. Un pisón (334.18 gr)
- e. Horno que mantenga una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$



**Figura 4.22 Determinación del peso seco
suelto**

PROCEDIMIENTO

1. Se obtuvo una muestra representativa obtenida mediante cuarteo y posteriormente secada en el horno a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante un periodo de 24 horas. Después de transcurrido este tiempo, se sacó del horno y se dejó enfriar.
2. De esta muestra también se obtuvo el contenido de agua; este valor fue anotado en el formato IMS5-06-02 en el punto 4.
3. Para obtener el peso volumétrico seco mínimo ($\gamma_{dmín}$) que es el peso volumétrico seco suelto, se colocó la muestra en un recipiente y se pesó, anotando el valor en la casilla “peso del material antes de formar el espécimen suelto” (Figura 4.22).



**Figura 4.23 Llenado del molde de
volumen conocido**

4. Adentro del recipiente se colocó una base (charola) y sobre ésta se colocó el molde; con la ayuda de la cuchara se tomó un poco de material el cual se dejó caer de una altura de 5 cm aproximadamente dentro del molde; ésto se repitió varias veces hasta llenar el molde y se dejó un poco de sobrante con el fin de enrasarlo con una regla metálica (Figura 4.23).
5. Se sacó el molde con la base y el material del recipiente, y se pesaron ambos; en el caso del recipiente con el material que sobró se anotó el peso en la casilla “Peso del material después de formar el espécimen suelto”. En el caso del molde y la base, se anotó el valor en la casilla de “Peso arena suelta más tara” (P4). La tara se refiere a la base donde se coloca el molde y al peso propio del molde; este último valor se anotó en la casilla “tara en que se colocó la arena suelta”. (T2)
6. Para la obtención del peso volumétrico seco máximo ($\gamma_{dmás}$), se reutilizó el material que se ocupó para determinar el peso volumétrico seco suelto; se vació la muestra del molde y se colocó en el mismo recipiente, posteriormente fue pesado y el valor se anotó como “peso del material antes de formar el espécimen compactado”.(P1)
7. En el mismo recipiente se colocó una base y encima el molde; enseguida se depositó la muestra en tres capas iguales en el recipiente, compactando cada capa por medio de un pisón de 334.19 g, dándole 25 golpes uniformemente repartidos en toda la superficie a cada capa; terminada la compactación se enrasó el molde y se sacó del recipiente con la base para enseguida ser pesado (Figura 4.24). El peso se anotó en el formato como “peso arena compactada seca mas tara” (P5). El peso de la tara se anotó en la casilla “Tara, en la que se colocó la arena compactada”(T1). El recipiente donde se llenó el molde en el cual quedó el material sobrante se pesó y su valor fue anotado en la casilla “peso del material después de formar el espécimen compactado) (P2).



Figura 4.24 Compactación de espécimen

• EQUIVALENTE DE ARENA

El Equivalente de arena es la relación volumétrica que existe entre las partículas de

tamaño mayor que el de las arcillas o polvos finos y la fracción de suelo que pasa por la malla No.4. La prueba de equivalente de arena, además de establecer una relación volumétrica entre el contenido de arena y el contenido de arcilla de la muestra proporciona, al menos cualitativamente, una idea de la actividad de la fracción arcillosa.

Esta prueba es aplicable a materiales que pasan la malla No. 4, por lo que en los muestreos 1 y 2 sólo se realizó en los materiales de clasificación: Base Controlada, 1/2" a finos y 3" a finos.

En los muestreos 1 y 2 se tomaron 3 especímenes de cada tipo de material, a cada una de las cuales se le tomaron dos lecturas de arcilla y dos de arena, para finalmente obtener dos cantidades de equivalente de arena que al promediarse arrojaban el porcentaje de equivalente de arena de cada muestra.



Figura 4.25 Preparación de las muestras

EQUIPO NECESARIO:

- a. Probetas de lucita o acrílico transparente con escalas graduadas en milímetros de pulgada.
- b. Tubo irrigador de acero inoxidable provisto de un tramo de manguera de hule y un sifón
- c. Pisón metálico de 1000 ± 5.0 gramos
- d. Cápsulas metálicas de 57 mm de diámetro y capacidad de 85.0 ± 5 cm³
- e. Embudo de plástico de boca ancha de 10.0 cm de diámetro
- f. Malla No. 4
- g. Horno que mantenga una temperatura de 110 ± 5 °C



Figura 4.26 Vertido de solución en probetas con material

PROCEDIMIENTO

1. De una muestra de material se obtuvo, mediante cuarteos una muestra representativa de 500 gramos. Esta porción se metió al horno por un periodo de 24

horas aproximadamente.

2. Se sacó el material del horno y se pasó a través de la malla No. 4, evitando la pérdida de finos, por lo que al final se hizo necesario humedecerlo ligeramente.
3. El material se mezcló perfectamente con las manos. Posteriormente se llenó una cápsula y se golpeó por la base en la mesa de trabajo con el fin de acomodar las partículas y finalmente se enrasó (Figura 4.25).
4. Se utilizó una botella que contenía la solución de trabajo sobre una repisa que se encontraba a una altura de aproximadamente 90 cm sobre el nivel de la mesa de trabajo. Con el sifón instalado previamente se sopló por el tubo corto manteniendo abierta la pinza que cierra o abre el paso de la solución en el tubo largo.
5. Se vertió la solución de trabajo en la probeta utilizando el sifón hasta una altura aproximada de 10.15 cm (Figura 4.26).
6. Se colocó la muestra de material en la probeta usando el embudo para evitar pérdidas de material. Se golpeó la base de la probeta contra la palma de la mano para remover las burbujas de aire que quedaban atrapadas y facilitar el humedecimiento del material.
7. Se dejó reposar la muestra durante 10 minutos, procurando no mover la probeta durante este tiempo (Figura 4.27). Después se colocó el tapón de hule en la probeta y se aflojó el material del fondo de ésta inclinándola y agitándola al mismo tiempo.
8. Se agitó la probeta manualmente, para lo que se sostuvo por sus extremos y se agitó vigorosamente con un movimiento lineal horizontal, hasta completar 90 ciclos en 30 segundos, con una carrera de más o menos 20 cm.
9. Posteriormente se destapó la probeta y se colocó sobre la mesa de trabajo; se introdujo un tubo irrigador con el cual se fueron lavando las paredes. Se colocó el tubo hasta el fondo picando ligeramente el material del fondo y moviendo el material de forma rotatoria en el contorno interior de la probeta.
10. Cuando la probeta se llenó hasta su graduación, se sacó lentamente el tubo irrigador son cortar el flujo de la solución de manera que el líquido se mantuvo aproximadamente al mismo nivel.
11. Se dejó reposando la probeta por un periodo de 20 minutos, con reloj en mano,



Figura 4.27 Lectura de arena

contando a partir del momento en que se extrajo el tubo.

12. Después de transcurrido este periodo de reposo se leyó en la escala de la probeta el nivel superior de los finos en suspensión, lo cual corresponde a la “Lectura de Arcilla” o altura total, la cual se anotó en el registro IMS5-04-01.
13. El tiempo de sedimentación no rebasó en ninguno de los casos los 30 minutos, de lo contrario se hubiera tenido que repetir la prueba.
14. Después de hacer la lectura de arcilla, se introdujo lentamente el pisón en la probeta, hasta que el pisón descansó en la fracción gruesa por su propio peso, teniendo cuidado de no perturbar los finos en suspensión. Mientras el pisón iba descendiendo, se conservó uno de los vértices de su pié en contacto con la pared de la probeta, cerca de la graduación.
15. Cuando se detuvo el pisón en la fracción gruesa se hizo la lectura del nivel superior del indicador restándosele 25.4 cm (254 mm) y se registró la diferencia como “Lectura de Arena”, anotándose el valor en el formato. Las lecturas fueron reportadas con un decimal.
16. Este ensaye se efectuó por triplicado para verificar que los valores obtenidos fueran correctos.

• DETERMINACIÓN DE LA PERMEABILIDAD EN EL APARATO DE CARGA VARIABLE

La permeabilidad es una propiedad del suelo que indica la facilidad con la cual el agua puede influir a través del mismo.

Coeficiente de permeabilidad (K): es una constante de proporcionalidad que puede ser definida como la velocidad con que el fluido circula a través de un medio poroso bajo un gradiente hidráulico unitario. Para el caso de suelos, el coeficiente de permeabilidad resulta una medida de la resistencia al flujo ofrecida por el suelo.

Las pruebas de permeabilidad en los materiales reciclados se realizaron por duplicado en ambos muestreos utilizando el equipo necesario y siguiendo el procedimiento que se explica a continuación:

EQUIPO UTILIZADO:

- a. Recipiente con agua desaireada y conexión tipo sifón

- b. Permeámetro de carga variable
- c. Reloj o cronómetro
- d. Termómetro
- e. Pisón metálico de 352 gr y 2.54 cm de diámetro en su cara de apisonar
- f. Equipo para labrado de muestras
- g. Equipo para testigo de humedad
- h. Balanza con precisión de 0.01 gr
- i. Papel filtro

PROCEDIMIENTO:

1. Sobre la base del permeámetro se colocó un papel filtro y enseguida la placa perforada del permeámetro, para después colocar encima de esta placa un nuevo papel filtro que recibiría la muestra.
2. Se engrasó con silicón el molde donde se introdujo la muestra así como la ranura inferior del molde a fin de lograr una mayor impermeabilidad. Se procuró no dejar espacios entre el espécimen y el molde metálico para evitar que se produjera flujo de agua por este (Figura 4.28).



Figura 4.28 Engrasado de moldes

3. Para la preparación de las muestras se indicó en el formato el peso volumétrico y el contenido de agua que se espera lograr en el espécimen formado, con estos datos se calculó la cantidad de material seco que se requería para formar la probeta y se determinó además la cantidad de agua que fue necesario agregar al material a fin de



Figura 4.29 Colocación de permeámetros

proporcionarle la humedad específica.

4. El material fue mezclado rápidamente procurando no tardar en el proceso ya que se podía propiciar la pérdida de humedad.
5. El molde del permeámetro fue llenado en cinco capas con la ayuda de una cuchara, cada una de las cuales fue compactada mediante impactos con un pisón pequeño adecuado para el diámetro del molde. Se tuvo cuidado de compactar el material hasta el punto que quedara perfectamente enrasado.
6. A continuación se colocó el molde del permeámetro quedando fijo en su base así como la tapa del permeámetro con la bureta del mismo, con lo cual se finalizó la preparación de la muestra (Figura 4.29).

SATURACIÓN DE LA MUESTRA:

1. En esta etapa, la saturación del espécimen se logró por percolación del agua desde la parte inferior hacia la parte superior de la muestra; para lo cual se conectó la manguera que venía del recipiente del agua a la parte inferior del permeámetro; para lograr la circulación del agua, el recipiente fue colocado en un lugar elevado, de tal manera que se suministraba la carga hidráulica que propiciaba el flujo.
2. El agua utilizada para este fin fue agua desaireada.
3. Se anotó en el formato la hora en que se inició la etapa de saturación.
4. La muestra es considerada saturada cuando el agua sale por la bureta de la tapa del permeámetro; al lograrse esta condición se anotó la hora en el formato y se cerró la válvula de la bureta de agua.



Figura 4.30 Muestra saturada

EJECUCIÓN DEL ENSAYE.

1. Una vez que se concluyó la etapa de saturación, se agregó agua a la bureta superior hasta una medida arbitraria a la cual se le denominó H1.
2. Se abrió la válvula de la salida del permeámetro de la parte inferior y se verificó que saliera agua por esta parte. En algunos casos se observó la situación contraria con lo que se determinó que las muestras no estaban debidamente saturadas y fue necesario repetir las pruebas.
3. Una vez que la muestra fue saturada completamente y con la bureta hasta H1, se colocó un recipiente debajo de la salida del permeámetro con el objeto de recibir el agua que escurrirá a través de la muestra.
4. En el formato se anotó la fecha y hora en que fue abierta la válvula del orificio de salida del permeámetro con lo cual se inició la prueba.
5. Fueron registrados en el formato: la temperatura del agua que se recuperó, la fecha y hora en que el nivel del agua alcanzó una parte intermedia H2 y una parte inferior de la bureta, a la cual se denominó H3. Estas dos últimas alturas también son arbitrarias.
6. Al terminar la prueba se llenó nuevamente la bureta hasta una marca cercana a la lectura inicial H1 y se repite el procedimiento.
7. Al terminar la prueba, se desmontó el permeámetro y se tomó una porción de la muestra para determinarle el contenido de agua al final del ensaye.

PRUEBAS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

• **COMPACTACIÓN AASHTO ESTANDAR Y AASHTO MODIFICADA**

Compactación. Es la aplicación mecánica de cierta energía o cantidad de trabajos por unidad de volumen, para lograr una reducción de los espacios entre las partículas sólidas de un suelo, con el objeto de mejorar sus características mecánicas.

Peso Volumétrico Seco. Es la relación entre el peso de los sólidos y el volumen total del suelo y se expresa en g/cm^3 o Ton/m^3 .

Contenido Óptimo de Humedad. Es el contenido de humedad de un suelo al cual una

cantidad especificada de compactación producirá el peso volumétrico seco máximo y se expresa como un porcentaje de humedad.

El alcance del ensaye es el de determinar la relación entre el peso volumétrico y el contenido óptimo de agua de los materiales ensayados.

Para ambos muestreos, los materiales ensayados fueron aquellos que contenían finos siendo éstos: 3” a finos, ½” a finos y la Base controlada. Los ensayes se realizaron por duplicado de forma estándar y modificada de acuerdo a la norma de M-MMP-1-09/03 de la SCT que describe los procedimientos de la prueba de Compactación AASHTO.

Para la prueba AASHTO modificada, la variante utilizada fue la “C”, la cual se aplica a materiales que pasan la malla ¾” (19 mm) de acuerdo a la granulometría obtenida en pruebas anteriores y se compactan en el molde de 101.6 mm de diámetro interior. A continuación se muestra en la Tabla 4.7 las características de cada variante.

Tabla 4.7 Características de las variantes de la prueba AASHTO

Variante	Método AASHTO	N	Tamaño molde (cm)	Volumen molde (cm)	Pisón (kg)	Nº Capas	Altura caída (cm)	Nº Golpes	Energía compac. / volumen (kg*m/m3)
A	ESTÁNDAR	1	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	25	60.500
B	ESTÁNDAR	2	11.64*15.24	2123.03	2.49	3	30.48	55	60.500
C	MODIFICADO	3	11.64*10.16	943.33	2.49	5	45.72	25	275.275
D	MODIFICADO	4	11.64*15.24	2123.03	2.49	5	45.72	55	275.275
	15 GOLPES	5	11.64*10.16	943.33	2.49	3	30.48	15	36.400

Fuente: Norma M-MMP-1-09/03, SCT.

PROCEDIMIENTO:

Equipo para el ensaye AASHTO Estándar.

- Molde cilíndrico metálico de peso conocido, de 101.6 mm (4”) diámetro interior y 116.4 mm (4.58”) de altura, una placa base de 9.5 mm de espesor. Un collarín o extensión removible de 60.3 mm de altura exterior, con diámetro igual al del cilindro para usarse en los métodos A y C.
- Pisón metálico con peso de 2.5 kg con superficie circular de apisonado de 50.8

mm de diámetro.

- c. Enrasador metálico de 25 cm. de largo.
- d. Balanza con capacidad mínima de 21 kg. y aproximación de 5 g
- e. Balanza electrónica con capacidad mínima de 1200 g y aproximación de 0.1 g
- f. Horno para secado de muestras provisto de control termoestático para mantener una temperatura de $105 \pm 5^\circ \text{C}$.
- g. Base cúbica de concreto o de otro material de rigidez similar con dimensiones mínimas de 40 cm por lado.
- h. Probetas de vidrio o plástico de 500 cm^3 de capacidad con graduaciones de 10 cm^3 .
- i. Mallas metálicas de abertura de $\frac{3}{4}$ "(19mm) y N° 4 (4.75 mm).
- j. Charolas rectangulares
- k. Aceite para lubricar las paredes del molde
- l. Espátulas de abanico
- m. Cucharón
- n. Vidrios de reloj o flaneras.

PROCEDIMIENTO

1. Fue necesario secar la muestra antes de ejecutar la prueba.
2. Se cribó el material por la malla N° 4 (4.75 mm)
3. Se seleccionó por cuarteo una muestra representativa de unos 3 kg. (7 lb.)
4. Se añadió a la muestra la cantidad de agua suficiente de tal manera para ponerla en 4 o 6 % por debajo de la humedad óptima esperada (Figura 4.31).



Figura 4.31 Preparación del material

5. Se dividió en 5 capas que se requerían para llenar el molde de 101.6 mm (4"). El molde tenía instalada su extensión y llegó a un espesor compacto de 13 cm.
6. Se compactó cada capa con 25 golpes con el pisón distribuyéndolos uniformemente (Figura 4.32). Durante la operación el molde se apoyó sobre una base rígida. Después

de la compactación se removió la extensión o collarín y enrasó el suelo compactado con la ayuda de la regla metálica; se limpió la parte exterior del molde; se pesó el molde con el material y se anotó en el formato 1 (Figura 4.33).

7. Se retiró el material del molde y del centro del mismo tomándose una porción representativa y se determinó el contenido de agua de acuerdo al procedimiento IMS-0101 anotándose los datos en el Formato 1.
8. Se desmoronó el resto del material y se le añadió suficiente agua para aumentar su humedad en 1 ó 2 puntos porcentuales y se repitieron los pasos 6 y 7 hasta que se obtuvieron un mínimo de 4 determinaciones en la gráfica del Formato IMS5-06-03.
9. A continuación se cribó el material a través de la malla de 19 mm ($\frac{3}{4}$ ”) desechando el material retenido.
10. Para realizar este método de prueba se requirió como mínimo 5 kg. determinados por cuarteo del material.
11. Se procedió de acuerdo a los pasos 6 al 8 y se usó el molde de 101.6 mm (4”) incluyendo la extensión del mismo y el material se colocó en 3 capas aplicándole a cada una 25 golpes como se describió en el paso 6.
12. Se procedió de acuerdo a los pasos 6 al 8.



Figura 4.32 Compactación



Figura 4.33 Enrasado

• **VALOR SOPORTE DE CALIFORNIA (CBR)**

Se define como la relación entre la carga necesaria para que un vástago de dimensiones estándar (1.954 ± 0.005 plg. de diámetro) penetre la superficie de una muestra de materiales, compactada en el ensaye porter, una distancia de 0.1 plg (2.54 mm), a la carga estandarizada de 1360 kg; el CBR se expresa en %.

El CBR es una medida de la calidad de los materiales que se emplean para el diseño de la estructura de pavimentos, es una medida de resistencia de los materiales.

El ensaye se lleva a cabo sobre especímenes formados en el ensaye de compactación AASHTO Estándar y sobre la fracción de material que pasa la malla de 1” (25.0 mm de abertura) elaborando un espécimen con el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima del material por estudiar, de acuerdo con el procedimiento 1MS1-06-03. el espécimen se somete a un período de saturación antes de efectuar la determinación del CBR y se obtiene como dato adicional la expansión del espécimen originada por su saturación.

CBR MODIFICADO AL 95% AASHTO MODIFICADA

El ensaye se llevó a cabo por duplicado en ambos muestreos sobre especímenes formados en el ensaye de compactación AASHTO Estándar y sobre la fracción de material que pasa la malla de 1” (25.0 mm de abertura) elaborando un espécimen con el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima del material por estudiar, de acuerdo con el procedimiento 1MS1-06-03. Cada espécimen se sometió a un período de saturación de 72 horas antes de efectuar la determinación del Valor Soporte de California.

EQUIPO NECESARIO:

- a. Molde cilíndrico de compactación de 157.5 mm de diámetro y 127.5 mm de altura.
- b. Máquina de compresión con capacidad mínima de 30 Ton y aproximación de 100 kg.
- c. Varilla metálica de 19 mm de diámetro con un extremo en punta de bala y 30.0 cm de longitud.
- d. Malla N° 1” (25 mm).
- e. Malla N° 4” (4.76 mm).
- f. Balanza con capacidad de 20 kg y aproximación de 5 g.
- g. Calibrador tipo vernier.
- h. Tanque de saturación con altura mínima de 30 cm.
- i. Máquina de compresión con capacidad de 3 toneladas provista de un pistón de penetración.
- j. Dos placas circulares de 15.4 cm de diámetro con un orificio central de 5.4 cm de diámetro y un peso de 4 kg cada una.

- k. Micrómetro con carrera de 2.54 cm y aproximación 0.01 mm.
- l. Trípode metálico para sostener el Dial Indicador (micrómetro).
- m. Hojas de papel filtro.
- n. Placa metálica circular con perforaciones y un vástago al centro para apoyar el micrómetro.
- o. Vástago para penetración de 1.954 ± 0.005 plg (49.63 ± 0.13 mm) de diámetro y 4.0” (101.6 mm) de longitud mínima.

PROCEDIMIENTO

1. Se llevó a cabo sobre la fracción que pasa la malla de 1” elaborando un espécimen con la humedad óptima y con el peso volumétrico seco máximo de acuerdo con el procedimiento de compactación con carga estática descrito en IMS1-06-03.
2. Se colocó en la parte superior del espécimen el siguiente equipo en el siguiente orden: una o dos hojas de papel filtro, la placa perforada y las dos placas de carga; enseguida se introdujo al tanque de saturación el molde conteniendo al espécimen, procurando que este último quedara totalmente cubierto por el agua, con un tirante aproximado de dos centímetros sobre el borde del molde.
3. Inmediatamente, con el objeto de determinar la expansión del espécimen por saturación, se montó el trípode sobre los bordes del molde y se instaló el micrómetro apoyándolo sobre le vástago de la placa perforada; se tomó la lectura inicial anotándola como “li” con aproximación de 0.01 mm, se verificó cada 24 horas la lectura del micrómetro y cuando en dos lecturas sucesivas se observó que no había diferencias se anotó su valor como lectura final del micrómetro “lf” con aproximación de 0.01 mm, se retiraron del tanque de saturación el trípode con el micrómetro y el molde del



Figura 4.33 Colocación del molde en la prensa



Figura 4.34 Aplicación de carga en el espécimen

espécimen. El período de saturación fue de 4 días.

4. En la determinación de la expansión, se pudieron hacer mediciones del incremento de altura que experimentó el espécimen, utilizando un calibrador vernier, con aproximación 0.1 mm haciéndose lecturas en diferentes puntos para promediar el valor obtenido.
5. A continuación se colocó el molde que contenía el espécimen y las placas en posición horizontal y se dejó así durante 3 minutos, a la sombra, para que escurriera el agua; inmediatamente se retiraron las placas y el papel filtro y se volvieron a colocar únicamente las dos placas de carga.
6. Se instaló en la prensa el micrómetro y el molde con el espécimen y las placas de carga, introduciendo el cilindro de penetración, montado en el vástago de la prensa, a través de los orificios de la placa hasta tocar la superficie de la muestra; se aplicó una carga inicial no mayor de 10 Kg. e inmediatamente se retiró la carga; se ajustó el micrómetro para registrar el desplazamiento vertical del cilindro de penetración. Se registró la carga correspondiente a la penetración de 2.54 mm con aproximación de 10 Kg., que en este caso fue la carga corregida.
7. Se aplicó carga para que el pistón penetrara en el espécimen con una velocidad uniforme aproximadamente de 1.27 mm/mín, anotando las cargas necesarias para obtener cada una de las penetraciones indicadas en el siguiente cuadro, con aproximación de 10 kg.



Figura 4.35 Toma de lecturas

Tabla 4.8 Tabla de Penetraciones

Lecturas	Tiempo en Minutos	Penetraciones en Milímetros
----------	-------------------	-----------------------------

Primera	1	1.27
Segunda	2	2.54
Tercera	3	3.81
Cuarta	4	5.08
Quinta	5	7.62
Sexta	6	10.16
Séptima	7	12.70

En este ensaye la compresibilidad del equipo influyó notablemente en los resultados; la medición de la penetración se efectuó con micrómetros de precisión adecuada y fijos en puntos que no sufrieran desplazamiento durante la ejecución del ensaye; al final de la penetración se verificó mediante un vernier que la profundidad de la huella dejada por la penetración fuera aproximadamente igual a la penetración máxima medida con el micrómetro.

1. Después de efectuada la penetración, se obtuvo una muestra de la parte superior del espécimen, hasta 2.5 cm de profundidad y se determinó el contenido de agua de acuerdo con lo indicado en el procedimiento 1MS1-02-01.
2. Se graficaron los valores de acuerdo a lo siguiente:
 - a. En un sistema de ejes coordenados se marcaron los puntos correspondientes a las penetraciones y cargas mencionadas, las primeras en el eje de las abscisas y las segundas en el eje de las ordenadas y uniendo dichos puntos se dibujó la curva correspondiente.

4.4.2 SEGUNDA ETAPA

Durante la segunda etapa se llevaron a cabo dos muestreos más, esto con la finalidad de realizar mezclas con los materiales y poder evaluar si existía algún incremento en las propiedades de los materiales reciclados, dados los resultados de la primera parte experimental.

Las mezclas se realizaron con la finalidad de comprobar si era factible técnicamente

sustituir el 100% de materiales vírgenes por materiales reciclados en subbases de caminos secundarios obteniendo una calidad adecuada para este fin.

A continuación se describe la segunda etapa experimental consistente en los muestreos 3 y 4.

MUESTREO 3

Se realizó un tercer muestreo el 14 de Septiembre de 2006; en éste se obtuvieron dos muestras mediante el Método de Cuarteo, de las siguientes granulometrías:

- Base Controlada
- 1/2" a finos
- 1" sin finos
- 3" a finos
- 1 1/2" a 1/4" agregado virgen (tezontle) y
- agregados finos



Figura 4.36 Material almacenado

El material fue trasladado al laboratorio para realizar un análisis granulométrico y determinar los porcentajes en que debían realizarse las mezclas. Sin embargo, cabe resaltar que para esta fase de la experimentación y debido al tiempo que se lleva en realizar las pruebas se decidió realizar únicamente las pruebas necesarias que marca la normatividad:

PROPIEDADES ÍNDICE

- Contenido de Agua
- Granulometría
- Peso volumétrico seco suelto y compacto
- Límites líquido y plástico
- Equivalente de Arena

PRUEBAS

1. AASHTO Modificada
3. CBR Modificado:
 - a) 95% de compactación AASHTO modificada



Figura 4.37 Identificación de las muestras

MUESTREO 4

El cuarto muestreo se realizó sólo unos días después del tercero con el fin de obtener el material suficiente para realizar las mezclas y aplicar las pruebas necesarias sin necesidad de reusar el material. Por tanto, el material resultante de los muestreos 3 y 4 fue utilizado en la elaboración de las cuatro mezclas.

• CONTENIDO DE AGUA

Al igual que en los muestreos anteriores, ésta prueba se realizó en el laboratorio enseguida de que se obtuvieron las muestras. Se tomaron dos sub-muestras de cada material mediante el método de cuarteo, por lo que el ensaye se realizó en 12 sub-muestras.



Figura 4.38 Secado de muestras en horno

• ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR MALLAS

Se realizó un primer análisis granulométrico para así determinar las proporciones en que debían mezclarse los materiales, con base en la curva granulométrica teórica del material usado para sub-bases de caminos y los resultados obtenidos en los primeros dos muestreos.

Se compararon las curvas granulométricas y con base en los valores que se obtuvieron y la cantidad de finos que se requería que tuviera la mezcla para ser considerada como apta para subbases de caminos se obtuvieron las siguientes mezclas:



Figura 4.39 Toma de sub-muestras

Tabla 4.9 Mezcla 1A

	MATERIAL A	MATERIAL B	
	1 1/2" a 1/4"		MEZCLA
MALLA.	VIRGEN	FINOS	50 % A
	Muestra 1	Muestra 1	50 % B
	% que pasa	% que pasa	% que pasa
3"	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	86.80	100.00	93.40
1"	53.47	100.00	76.74
3/4"	15.11	100.00	57.56
1/2"	3.81	100.00	51.91
3/8"	1.00	100.00	50.50
4	0.67	87.50	44.09
8	0.00	57.87	28.94
16	0.00	46.78	23.39
20	0.00	44.18	22.09
30	0.00	39.33	19.67
40	0.00	36.24	18.12
60	0.00	31.59	15.80
100	0.00	26.93	13.47
200	0.00	20.92	10.46



Figura 4.40 Cuarteo de material y fabricación de mezclas

Tabla 4.10 Mezcla 1B

	MATERIAL A	MATERIAL B	
	1 1/2" a 1/4"		MEZCLA
MALLA.	VIRGEN	FINOS	50 % A
	Muestra 2	Muestra 2	50 % B
	% que pasa	% que pasa	% que pasa
3"	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	93.32	100.00	96.66
1"	57.33	100.00	78.67
3/4"	13.70	100.00	56.85
1/2"	2.72	100.00	51.36
3/8"	0.88	100.00	50.44
4	0.66	89.78	45.22
8	0.00	62.21	31.11
16	0.00	48.68	24.34
20	0.00	45.23	22.62
30	0.00	40.42	20.21
40	0.00	38.12	19.06
60	0.00	32.64	16.32
100	0.00	27.24	13.62
200	0.00	23.15	11.58

Tabla 4.11 Mezcla 2A

	MATERIAL C	MATERIAL B	
	3" A FINOS		MEZCLA
MALLA.	SIN > 2"	FINOS	50 % C
	Muestra 1	Muestra 1	50 % B
	% que pasa	% que pasa	% que pasa
3"	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	67.10	100.00	83.55
1"	31.48	100.00	65.74
3/4"	19.79	100.00	59.90
1/2"	12.73	100.00	56.36
3/8"	10.62	100.00	55.31
4	8.62	87.50	48.06
8	7.49	57.87	32.68
16	6.50	46.78	26.64
20	6.09	44.18	25.14
30	5.43	39.33	22.38
40	5.12	36.24	20.68
60	4.36	31.59	17.98
100	3.58	26.93	15.26
200	2.80	20.92	11.86

Tabla 4.12 Mezcla 2B

	MATERIAL C	MATERIAL B	
	3" A FINOS		MEZCLA
MALLA.	SIN > 2"	FINOS	50 % C
	Muestra 2	Muestra 2	50 % B
	% que pasa	% que pasa	% que pasa
3"	100.00	100.00	100.00
2"	61.38	100.00	80.69
1 1/2"	52.25	100.00	76.13
1"	24.49	100.00	62.25
3/4"	15.36	100.00	57.68
1/2"	7.84	100.00	53.92
3/8"	5.76	100.00	52.88
4	4.07	89.78	46.92
8	3.35	62.21	32.78
16	2.91	48.68	25.79
20	2.75	45.23	23.99
30	2.51	40.42	21.46
40	2.39	38.12	20.26
60	2.09	32.64	17.36
100	1.66	27.24	14.45
200	1.41	23.15	12.28

Tabla 4.13 Mezcla 3

MALLA.	MATERIAL D	MATERIAL E	MEZCLA 80 % D 20 % E % que pasa
	1/2" a Finos	1" a Finos	
	Muestra 1 % que pasa	Muestra 1 % que pasa	
3"	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00
1"	100.00	92.57	98.51
3/4"	100.00	68.53	93.71
1/2"	100.00	30.50	86.10
3/8"	100.00	10.99	82.20
4	38.03	5.72	31.57
8	26.10	4.81	21.84
16	20.79	4.13	17.46
20	19.50	3.91	16.38
30	17.28	3.57	14.54
40	16.40	3.39	13.80
60	14.14	2.96	11.90
100	12.32	2.49	10.35
200	9.99	2.08	8.41

Tabla 4.14 Mezcla 4

MALLA.	MATERIAL D	MATERIAL E	MEZCLA 70 % D 30 % E % que pasa
	1/2" a Finos	1" a Finos	
	Muestra 2 % que pasa	Muestra 2 % que pasa	
3"	100.00	100.00	100.00
2"	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	100.00	100.00	100.00
1"	100.00	99.08	99.72
3/4"	100.00	81.90	94.57
1/2"	100.00	45.67	83.70
3/8"	97.16	17.53	73.27
4	50.60	9.47	38.26
8	32.09	7.28	24.65
16	25.86	6.19	19.96
20	24.51	5.86	18.92
30	21.95	5.25	16.94
40	20.17	4.83	15.57
60	17.72	4.32	13.70
100	15.35	3.84	11.90
200	12.20	3.16	9.49

La razón por la cual se obtuvieron dos mezclas 1 y dos mezclas 2, es porque el análisis granulométrico se realizó por duplicado y debido a esto se obtuvieron dos curvas de cada uno y por lo tanto, dos propuestas de cada una.

Con base en los resultados anteriores se realizaron cuatro mezclas con los materiales muestreados, las cuales se mencionan a continuación:

$$\bullet \text{ MEZCLA 1: } \left\{ \begin{array}{l} 50\% (1 \frac{1}{2}'' - \frac{1}{4}'' \text{ de material virgen}) \\ + \\ 50\% (\text{finos: material que pasa la malla 4}) \end{array} \right.$$

$$\bullet \text{ MEZCLA 2: } \left\{ \begin{array}{l} 80\% (\frac{1}{2}'' - \text{finos}) \\ + \\ 20\% (1'' - \text{finos}) \end{array} \right.$$

$$\bullet \text{ MEZCLA 3: } \left\{ \begin{array}{l} 70\% (\frac{1}{2}'' - \text{finos}) \\ + \\ 30\% (1'' - \text{finos}) \end{array} \right.$$

$$\bullet \text{ MEZCLA 4: } \left\{ \begin{array}{l} 50\% (3'' - \text{finos}) \\ + \\ 50\% (\text{finos}) \end{array} \right.$$

Una vez que se determinaron las proporciones de las mezclas se realizaron las pruebas antes mencionadas en cada mezcla así como en la base controlada.

CAPÍTULO 5

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el Capítulo 2 se revisaron algunas experiencias en países como Estados Unidos de Norteamérica y algunos de los pertenecientes a la Comunidad Económica Europea como antecedentes de la factibilidad técnica del uso de agregados reciclados en la construcción de diferentes tipos de obras de infraestructura. Dicha factibilidad técnica se estudió en el Capítulo 4 mediante la aplicación de pruebas de calidad en los agregados reciclados, que como se verificó en el Capítulo 3 provocan impactos al ambiente y a la salud humana. Por lo anterior, en el presente capítulo se evalúan los resultados de las pruebas realizadas en los materiales reciclados y se comparan con los parámetros de calidad que establece la normatividad del Instituto Mexicano del Transporte, con el fin de determinar la factibilidad técnica del uso de los agregados reciclados en la construcción de subbases de caminos secundarios.

5.3 PARÁMETROS DE CALIDAD DE LOS MATERIALES

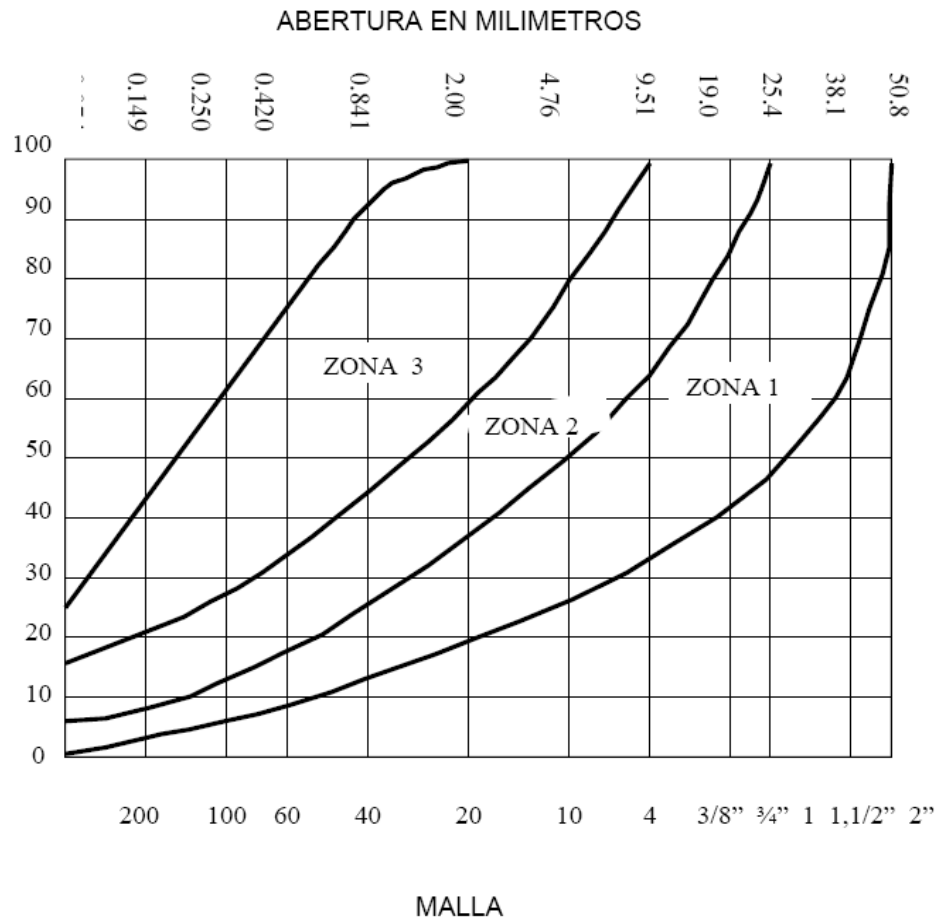
La base jurídica aplicable para realizar la interpretación de los resultados obtenidos en la etapa experimental son las Normas expedidas por el Instituto Mexicano del Transporte, específicamente el MANUAL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES EN SECCIONES ESTRUCTURALES DE PAVIMENTOS CARRETEROS (ISSN 0188-7114), que en la Tabla 5.1 establece los Valores de Calidad para materiales de subbase y revestimiento, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 5.1 Valores de calidad para material de subbase y revestimiento

CARACTERÍSTICA	CALIDAD		
	Deseable	Adecuada	Revestimiento
Zona Granulométrica	1 a 2	1 a 3	1 a 3
Tamaño máximo (mm)	51	51	76
% finos (< 0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín, 20 máx
Límite líquido LL (%)	25 máx	30 máx	40 máx
Índice Plástico IP (%)	6 máx	10 máx	15 máx
Compactación (%)	100 mín	100 mín	95 mín
(AASHTO modif.)			(AASHTO Est.)
Equivalente de arena (%)	40 mín	30 mín	

CBR (%)	40 mín	30 mín	30 mín
Compactación dinámica (1)			

(1) Al porcentaje de compactación indicado. Fuente: Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros. IMT, 1990. ISSN 0188-7114.



Gráfica 5.1 Zonas granulométricas recomendables

Fuente: Manual de calidad de los materiales en secciones estructurales de pavimentos carreteros. IMT, 1990. ISSN 0188-7114.

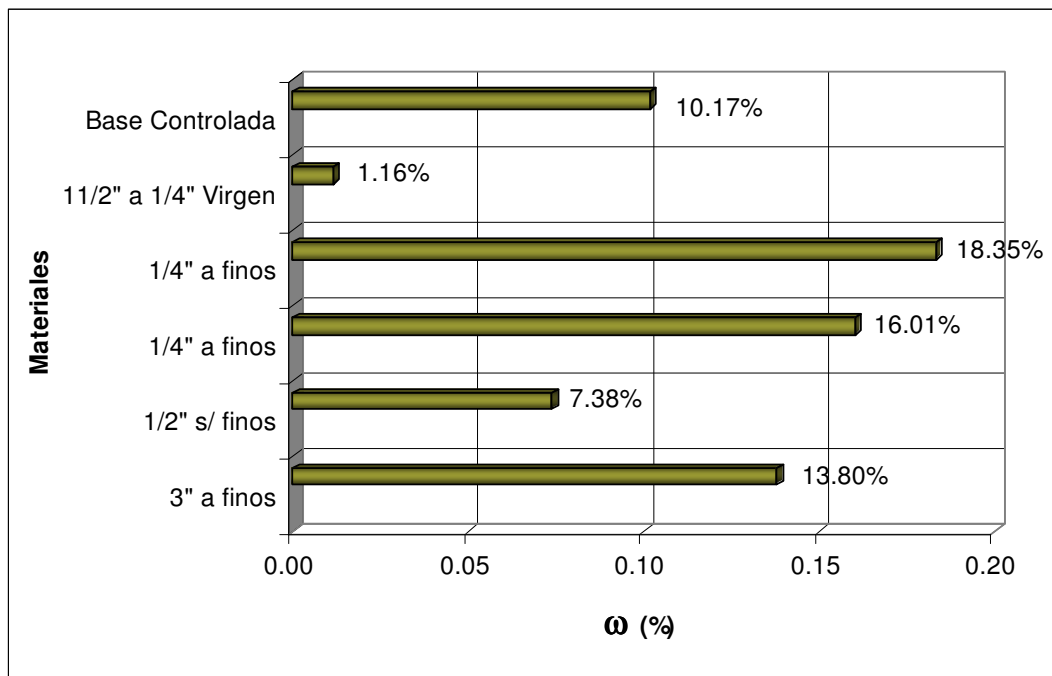
5.3 RESULTADOS PRIMER ETAPA

PRUEBAS ÍNDICE Y DE CALIDAD

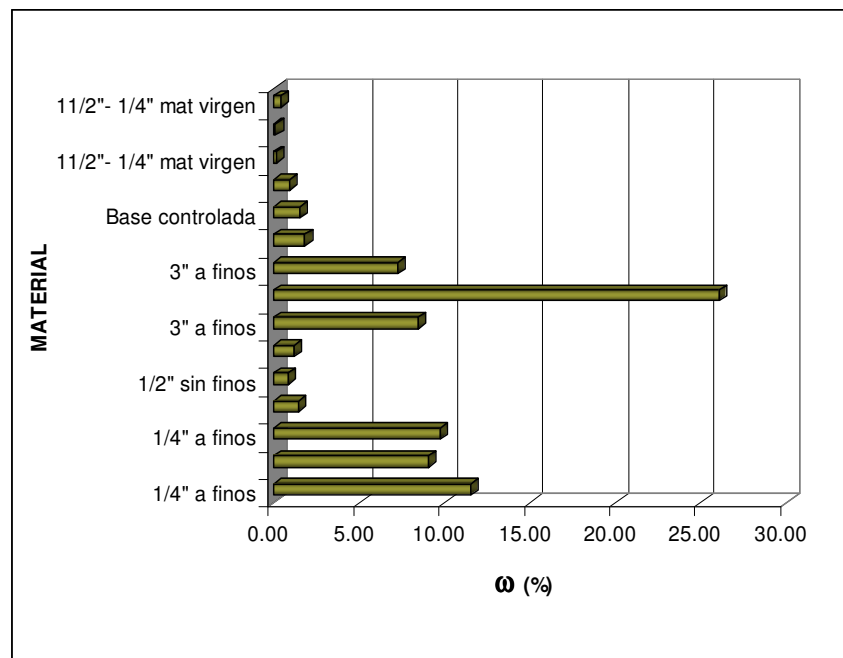
• **CONTENIDO DE AGUA**

En la Gráfica 5.2 se muestran los valores de humedad obtenidos después de secar el material muestreado, dichos valores se consideran como la “humedad natural” del agregado reciclado, sin embargo cabe señalar que dicha humedad se ve afectada por las condiciones meteorológicas y de almacenamiento del material.

Como se mencionó en el capítulo anterior se hizo necesario mezclar agregados de dos granulometrías ($\frac{1}{2}$ " sin finos + $\frac{1}{4}$ " a finos) para obtener el material de $\frac{1}{2}$ " a finos, y es precisamente uno de los componentes de esta mezcla, el de $\frac{1}{4}$ " a finos el que observó el mayor porcentaje de humedad, 18.35%, en comparación con el material virgen cuya humedad natural se situó en el 1.16%. No obstante, en el segundo muestreo el material de 3" a finos presentó el mayor contenido de agua en una de las muestras, como se distingue en la Gráfica 5.3. Los valores se indican en la Tabla 5.2.



Gráfica 5.2 Contenido de agua. Muestreo 1



Gráfica 5.3 Contenido de agua. Muestreo 2

Tabla 5.2 Valores obtenidos en la prueba de humedad. Muestreo 2

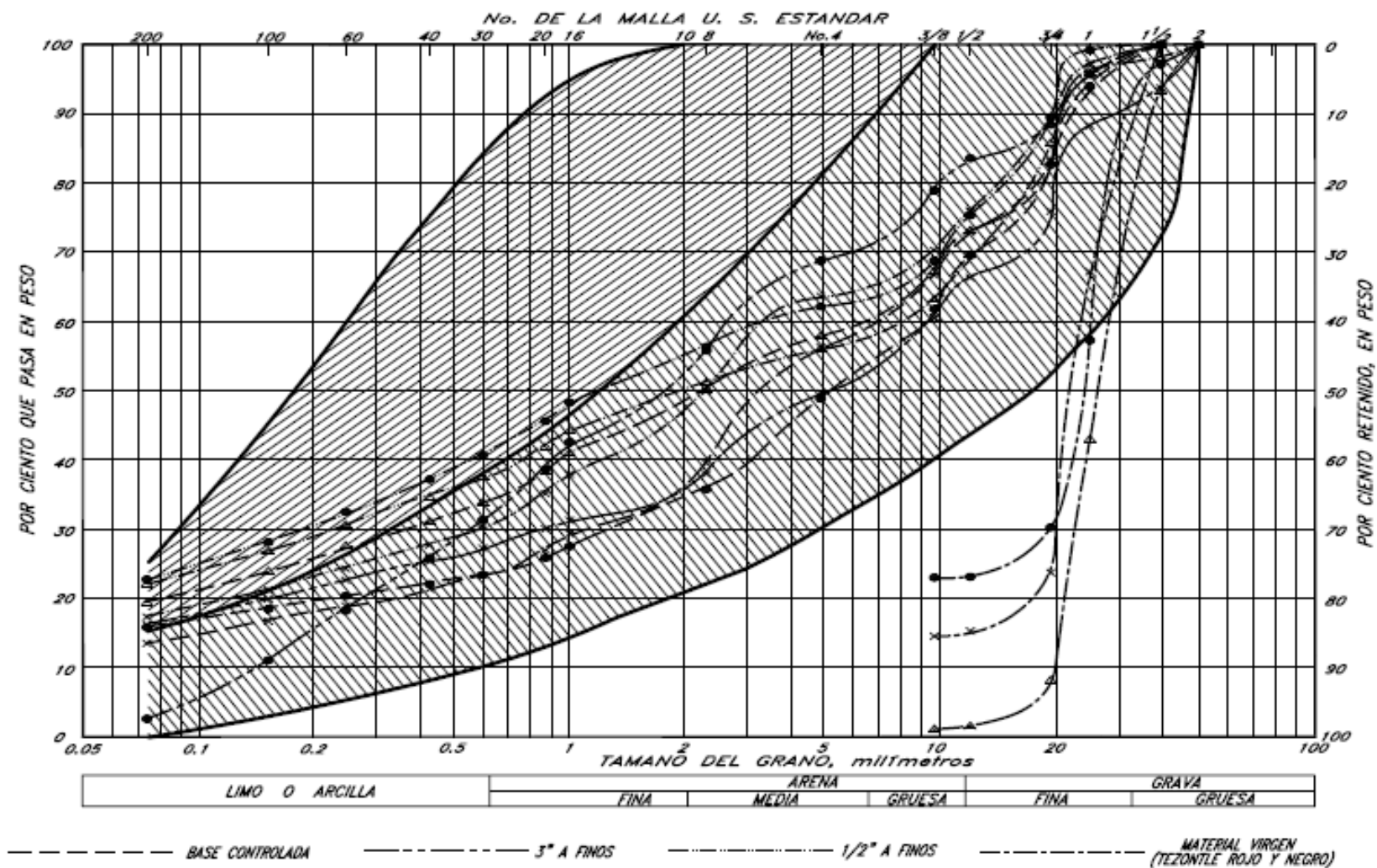
MATERIAL	ω (%)
1/4" a finos	11.50
1/4" a finos	9.08
1/4" a finos	9.72
1/2" sin finos	1.46
1/2" sin finos	0.83
1/2" sin finos	1.17
3" a finos	8.43
3" a finos	26.12
3" a finos	7.21
Base controlada	1.81
Base controlada	1.48
Base controlada	0.93
11/2"- 1/4" mat virgen	0.17
11/2"- 1/4" mat virgen	0.10
11/2"- 1/4" mat virgen	0.37

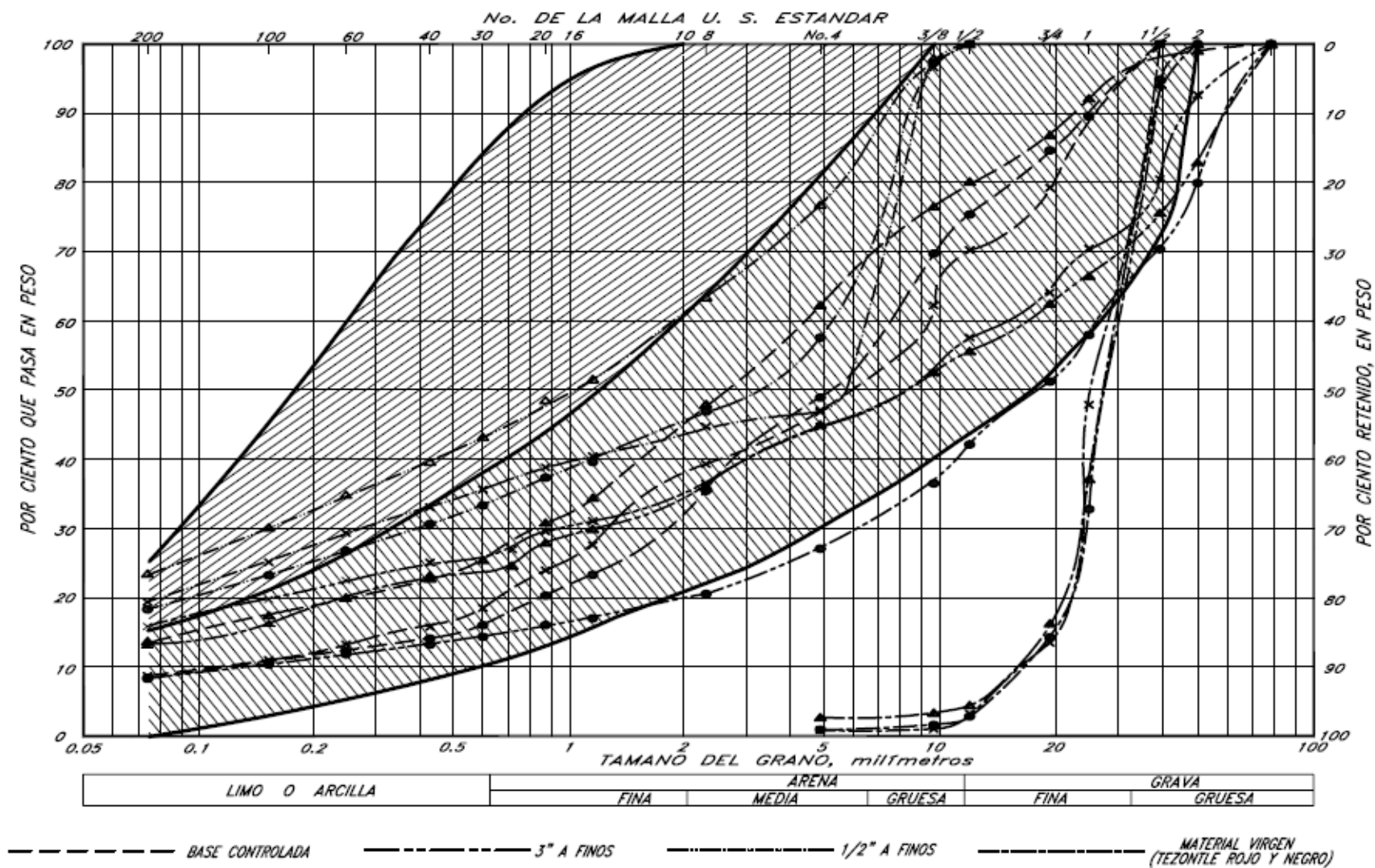
- **GRANULOMETRÍA**

En las figuras 5.2 y 5.3 se observa que la distribución de las partículas del material reciclado correspondiente a los Muestreos 1 y 2, se ubica dentro de las zonas recomendables, es decir, que la distribución de los diferentes tamaños que conforman las muestras de agregados reciclados sigue una tendencia relativamente suave sin cambios bruscos de pendiente.

Sin embargo, en la granulometría del material virgen se observan cambios bruscos de pendiente a partir de la malla de 1” dado que estuvo comprendida en un rango de 1/2” a 1/4”, por tratarse de gravas limpias.

La Clasificación de la fracción gruesa de los materiales de acuerdo al Sistema Unificado (SUCS) (Anexo A.2), se muestra en la Tabla 5.5 para el muestreo 1 y en la Tabla 5.7 para el muestreo 2.



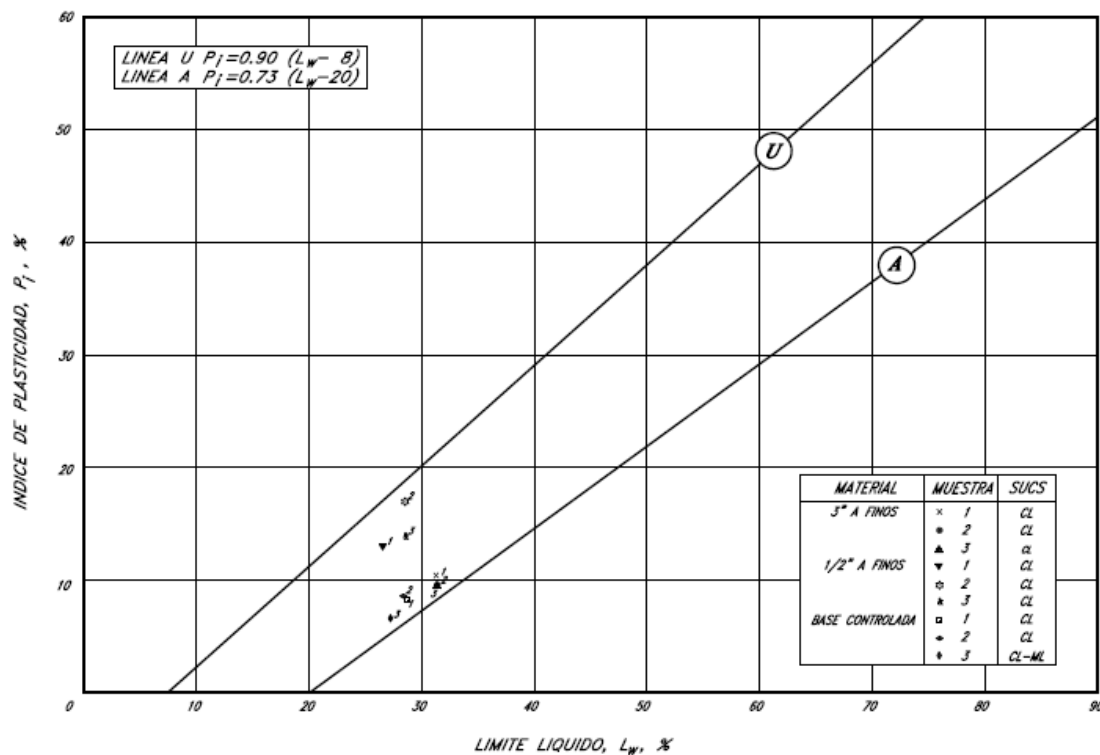


Gráfica 5.5 Curvas granulométricas. Muestreo 2

• LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG

Dado que en el Muestreo 1, en todos los casos el límite líquido y el índice plástico de los materiales 3” a finos, Base controlada y 1/2” a finos definen puntos ubicados en la Zona II entre las líneas “A” y “U” de la Carta de plasticidad (Figura 5.4), cada material se identifica con el símbolo CL como se muestra en la Tabla 5.2, por lo tanto, la fracción fina del material muestreado corresponde a arcillas de baja compresibilidad.

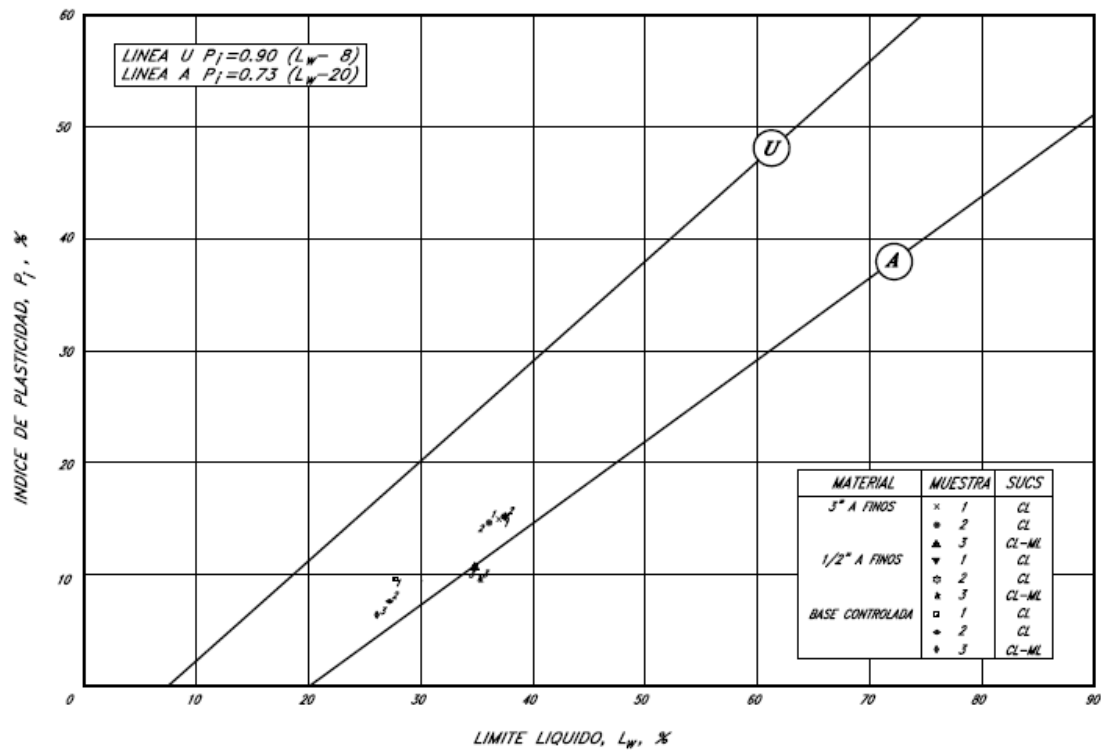
En el caso de la Base Controlada, en la tercera muestra se obtuvo la clasificación doble CL-ML, correspondiente a arcilla de baja plasticidad / limo de baja compresibilidad. Para el muestreo 2, sin embargo, en los tres casos una de las muestras obtuvo una doble clasificación para la fracción fina, como se muestra en la Tabla 5.3.



Gráfica 5.6 Carta de plasticidad Muestreo 1

Tabla 5.3 Clasificación SUCS del material fino. Muestreo 1

MATERIAL	MUESTRA	SUCS
3" A FINOS	× 1	CL
	● 2	CL
	▲ 3	CL
1/2" A FINOS	▼ 1	CL
	☆ 2	CL
	& 3	CL
	◻ 1	CL
BASE CONTROLADA	◊ 2	CL
	◆ 3	CL-ML



Gráfica 5.7 Carta de Plasticidad Muestreo 2

Tabla 5.4 Clasificación SUCS del material fino. Muestreo 2

<i>MATERIAL</i>	<i>MUESTRA</i>	<i>SUCS</i>
<i>3" A FINOS</i>	× 1	CL
	● 2	CL
	▲ 3	CL-ML
<i>1/2" A FINOS</i>	▼ 1	CL
	☆ 2	CL
	& 3	CL-ML
<i>BASE CONTROLADA</i>	◻ 1	CL
	◆ 2	CL
	♦ 3	CL-ML

A continuación se muestran en las Tablas 5.5 y 5.6 los resultados de las Pruebas Índice y de calidad de los materiales de los muestreos 1 y 2 respectivamente.

Tabla 5.5 Resultados de Pruebas Índice y de Calidad. Muestreo 1

MATERIAL	INDICE Y CALIDAD												
	SUCS	w %	G %	A %	F %	Lw %	Pw %	IP %	EA %	N g/cm ³	O %	kt cm/seg	PVSS Ton/m ³
MUESTREO 1													
3" a finos	GC	13.80	50.36	33.42	16.21	31.28	20.85	10.43	35.58	2.02	8.88	2.470E-05	1295.03
3" a finos	GP-GC		31.27	66.13	2.60	31.39	21.79	9.60	38.38	2.10	8.00	1.022E-05	
3" a finos	GC		29.04	48.93	22.03	31.34	21.76	9.58	38.34	1.85	12.02		
1/2" a 1/4" Virgen	GP	1.16	85.48							2.03	4.85		798.08
1/2" a 1/4" Virgen	GP		77.00							1.53	6.05		
1/2" a 1/4" Virgen	GP		98.79							2.71	3.24		
Base Controlada	GP-GC	10.17	43.76	42.75	13.49	28.71	20.44	8.27	93.67	1.76	7.20	3.734E-05	1377.46
Base Controlada	GP-GC		51.19	33.02	15.80	28.38	19.77	8.61	90.98	1.96	5.71	2.406E-04	
Base Controlada	GC-GM		42.02	38.51	19.46	27.23	20.59	6.64	94.19	2.01	4.73		
1/2" a finos	GC		36.35	46.35	17.30	26.54	13.59	12.95	64.30	1.93	10.43	2.615E-05	1268.87
1/2" a finos	GC		37.87	39.40	22.73	28.53	11.55	16.98	70.62	2.09	8.23	1.719E-05	
1/2" a finos	GC-GM		43.89	33.95	22.16	28.55	16.62	13.94	86.73	1.81	8.75		

Definición de Parámetros:

W% Contenido de agua
G% Contenido de grava
A% Contenido de arena
F% Contenido de finos
Lw% Límite líquido
Pw% Límite plástico
IP% Índice de plasticidad

EA% Equivalente de arena
N Densidad de grava
O% Absorción
kt Coeficiente de Permeabilidad
PVSS Peso volumétrico seco suelto
PVSC Peso volumétrico seco compacto

Tabla 5.6 Resultados de Pruebas Índice y de Calidad. Muestreo 2

MATERIAL	INDICE Y CALIDAD												
	SUCS	w %	G %	A %	F %	Lw %	Pw %	IP %	EA %	N g/cm ³	O %	kt cm/seg	PVSS Ton/m ³
MUESTREO 2													
3" a finos	GC	8.43	99.14	0.00	0.86	36.65	21.70	14.95	53.91	1.84	10.98	1.35E-05	1230.27
3" a finos	GP-GC	26.12	99.09	0.00	0.91	36.08	21.43	14.65	46.96	1.35	10.66	1.03E-05	
3" a finos	GC	7.21	97.28	0.00	2.72	34.81	24.01	10.80	47.60	1.74	14.51		
1/2" a 1/4" Virgen	GP-GC	0.17	52.94	38.38	8.68					2.02	3.55		872.79
1/2" a 1/4" Virgen	GP-GC	0.10	51.10	40.52	8.38					1.90	3.58		
1/2" a 1/4" Virgen	GP-GC	0.37	37.72	48.55	13.73					1.96	4.79		
Base Controlada	GP-GC	1.81	55.31	28.87	15.83	27.68	18.07	9.61	71.10	2.16	3.97	2.69E-04	1324.61
Base Controlada	GP-GC	1.48	72.93	18.85	8.21	27.21	19.59	7.62	71.31	2.21	2.51	2.16E-05	
Base Controlada	GC-GM	0.93	54.97	31.69	13.34	26.08	19.66	6.42	70.30	2.03	3.37		
1/2" a finos	GC		53.19	27.44	19.37	37.52	22.42	15.10	51.05	1.95	8.66	8.21E-06	1293.88
1/2" a finos	GC	5.31	42.43	39.27	18.3	37.52	22.33	15.19	36.35	1.84	10.50	3.79E-05	
1/2" a finos	GC-GM		23.21	53.32	23.47	32.55	22.92	9.63	48.59	1.82	8.50		

Definición de Parámetros:

W% Contenido de agua
G% Contenido de grava
A% Contenido de arena
F% Contenido de finos
Lw% Límite líquido
Pw% Límite plástico
IP% Índice de plasticidad

EA% Equivalente de arena
N Densidad de grava
O% Absorción
kt Coeficiente de Permeabilidad
PVSS Peso volumétrico seco suelto
PVSC Peso volumétrico seco compacto

- **DENSIDAD DE GRAVAS (N) Y ABSORCIÓN (O)**

Como se mencionó en el capítulo anterior, la prueba de densidad relacionada con la de absorción arroja una idea general de la calidad del material pétreo.

En el muestreo 1 los valores promedio obtenidos en la prueba de densidad de gravas para los materiales 3” a finos, 1/2” a 1/4” virgen, base controlada y 1/2” a finos son respectivamente: 1,990 kg/m³, 2,090 kg/m³, 1,910 kg/m³ y 1,940 kg/m³ y los valores de absorción promedio oscilan entre el 4.71% del material virgen, hasta el 9.36% del material 3” a finos.

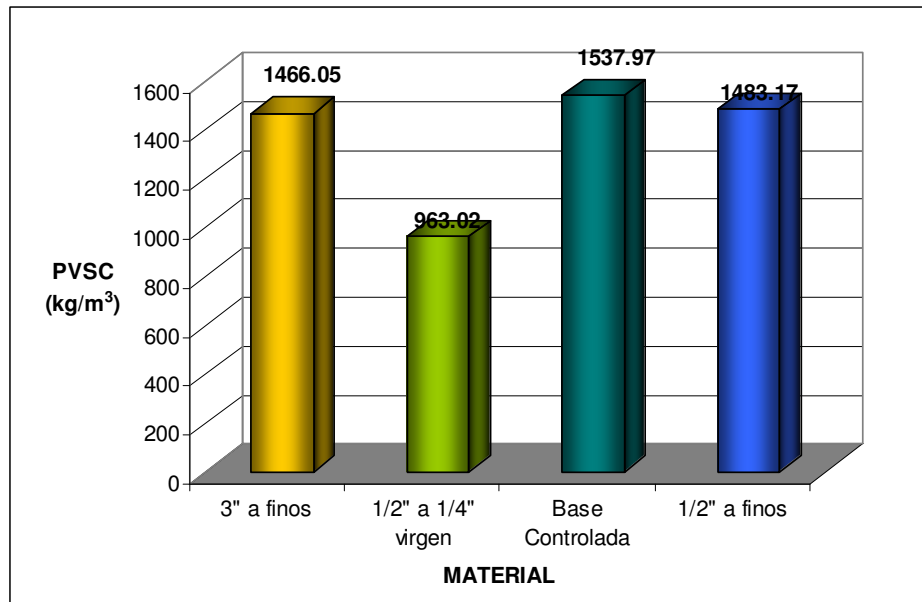
De los resultados anteriores podemos observar que los valores de densidad obtenidos en los materiales reciclados son mayores a los obtenidos en el material virgen, debido a la presencia en su mayoría de gravas de concreto, cuya densidad se encuentra en un rango que va desde 2240 a los 2400 kg/m³ (NRMA, 2003).

En lo que respecta al muestreo 2, es posible observar en la Tabla 5.6 que el material con mayor densidad fue la Base Controlada con un promedio de 2,130 kg/m³, ya que como se mencionó anteriormente contiene agregados vírgenes y reciclados; y absorción de 3.28%.

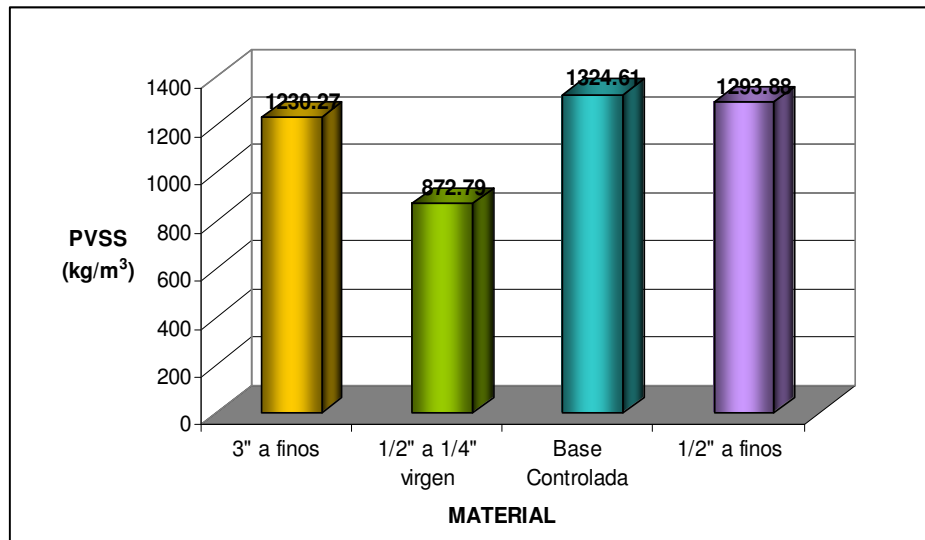
Por lo anterior y dado que la Base Controlada presentó en ambos muestreos altas densidades y bajos porcentajes de absorción, puede considerarse como un material resistente.

- **PESO VOLUMÉTRICO SECO SUELTO (PVSS)**

Las Gráficas 5.8 y 5.9 ilustran los diferentes valores de peso volumétrico seco suelto de los materiales 3” a finos, 1/2” a 1/4” virgen, Base controlada y 1/2” a finos de los muestreos 1 y 2, respectivamente. El peso volumétrico adquiere valores muy cercanos entre los agregados reciclados, sin embargo el material virgen presenta un valor mucho menor, en ambos casos.



Gráfica 5.8 Peso Volumétrico Seco Suelto. Muestreo 1



Gráfica 5.9 Peso Volumétrico Seco Suelto. Muestreo 2

• EQUIVALENTE DE ARENA

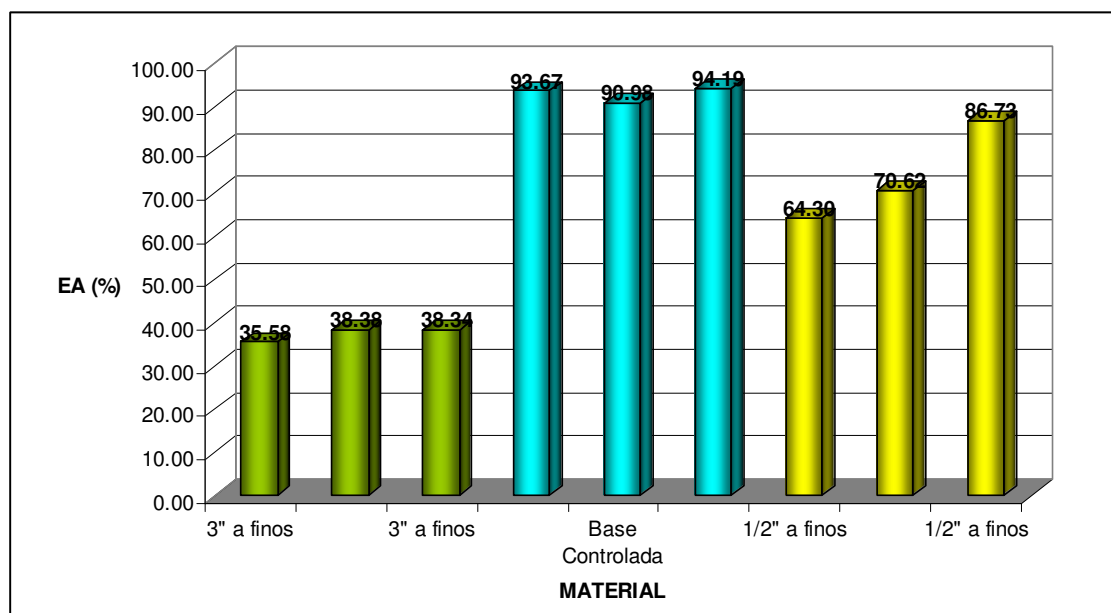
Como se mencionó en el capítulo anterior, ésta es una prueba determinante para saber si un material puede ser usado en pavimentos, por tal razón es de especial importancia saber si la cantidad de finos que contienen los materiales utilizados en la estructura del

pavimento es la adecuada.

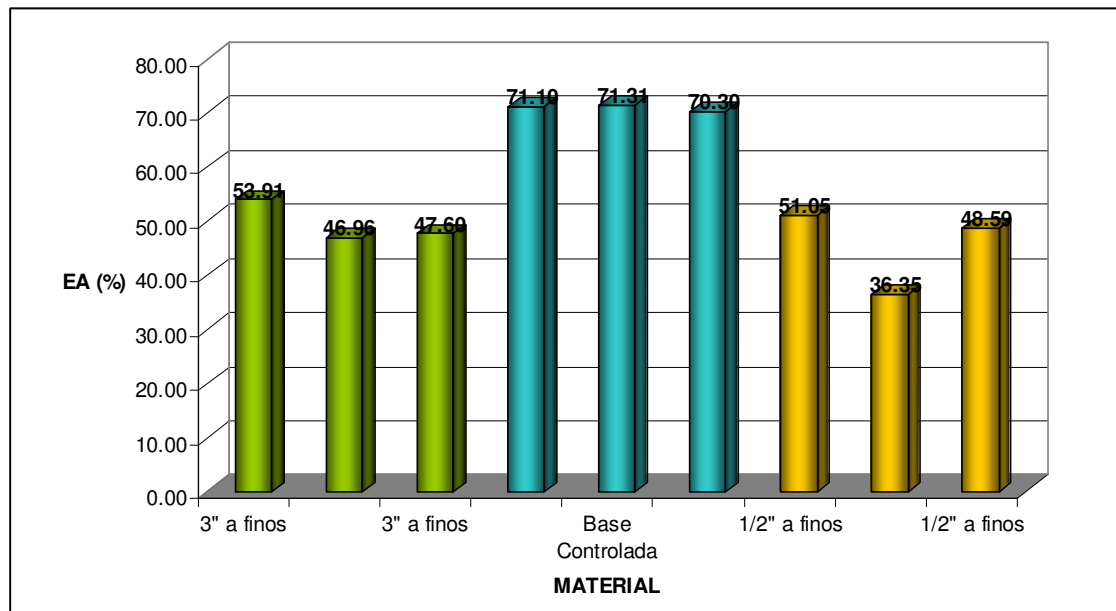
En la Gráfica 5.10 puede apreciarse que en el primer muestreo el material de 3" a finos presenta los valores más bajos, siendo estos: 35.58%, 38.38% y 38.34% (ver Tabla 5.5), no obstante, de acuerdo al Manual ISSN0188-7114 del IMT el valor mínimo aceptable para que el material sea considerado dentro de la calidad adecuada es 30.00%.

De la misma manera, en el segundo muestreo (Tabla 5.6) el material de 3" a finos presenta los valores menores con respecto a los de la Base Controlada y el material de 1/2" a finos, sin embargo, la calidad de acuerdo al Manual ISSN0188-7114 del IMT es la deseable, ya que el valor mínimo es de 40%.

Por lo anterior expuesto y dado que el contenido de finos en los tres tipos de materiales en ambos muestreos está dentro de lo aceptable, en lo que respecta a la prueba de equivalente de arena, el material reciclado muestreado es susceptible de ser empleado en pavimentos.



Gráfica 5.10 Equivalente de Arena. Muestreo 1



Gráfica 5.11 Equivalente de Arena. Muestreo 2

• PERMEABILIDAD

La permeabilidad se ve afectada por diversos factores como la densidad del suelo, la relación de vacíos, la estructura, la existencia de fisuras, la viscosidad del agua, etc. Es por ello que el intervalo de coeficientes de permeabilidad “k” es muy amplio, desde valores de 10^5 cm/s para gravas de granos muy gruesos hasta valores casi insignificantes para arcillas (Alarcón, 1999).

La Tabla 5.5 muestra los coeficientes de permeabilidad “kt” de los materiales 3” a finos, base controlada y 1/2” a finos del Muestreo 1. En dicha tabla es posible observar que los coeficientes de permeabilidad de los agregados reciclados van desde 1.022E^{-5} del material 3” a finos hasta 2.406E^{-4} de la Base controlada.

En lo que al Muestreo 2 se refiere, los coeficientes de permeabilidad se ubican en rangos que van desde 8.21E^{-6} en el caso del material 1/2” a finos hasta 2.69E^{-4} en el caso de la Base controlada (ver Tabla 5.6).

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambos muestreos se puede advertir que el material reciclado muestreado presenta baja permeabilidad.

A continuación se presenta el análisis de resultados para las pruebas de compactación y VRS efectuadas en los agregados reciclados durante los muestreos 1 y 2.

PRUEBAS PARA PAVIMENTOS

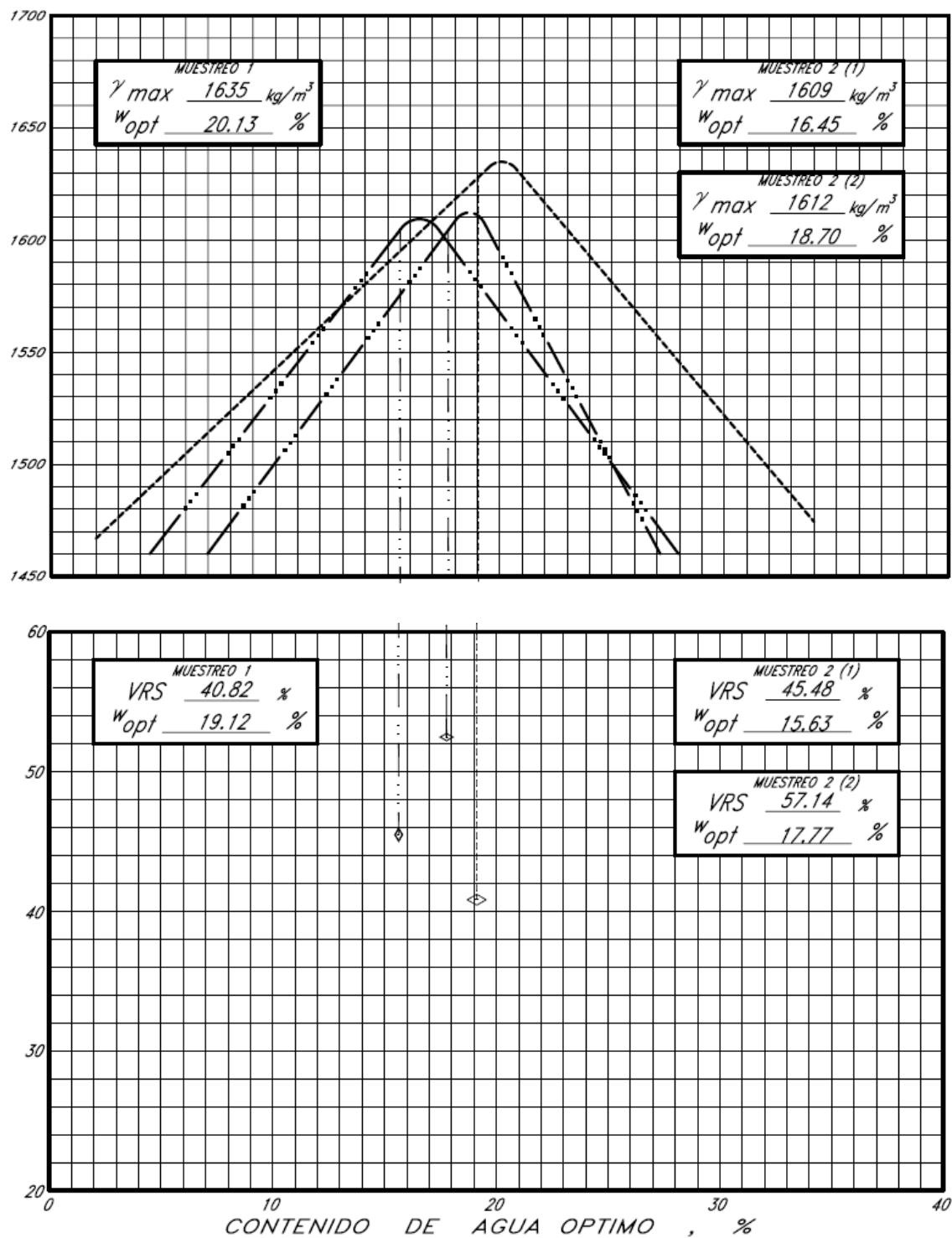
Como se mencionó en el capítulo anterior, las pruebas realizadas en los agregados 3” a finos, Base controlada y 1/2” a finos relativas a pavimentos fueron las pruebas de compactación AASHTO Estandar y AASHTO Modificada así como las pruebas de Valor Relativo de Soporte (VRS) Estandar y VRS Modificado.

Como puede observarse en las Gráficas 5.12, 5.13 y 5.14, existen variaciones de un muestreo a otro aún en el mismo tipo de material, por ejemplo: el Peso volumétrico máximo obtenido para el material 3” a finos en el primer muestreo fue de $\gamma=1635 \text{ kg/m}^3$, siendo éste mayor a los obtenidos en el muestreo 2 ($\gamma=1609 \text{ kg/m}^3$ y $\gamma=1612 \text{ kg/m}^3$). Así mismo se observan variaciones en el contenido de agua óptimo del material.

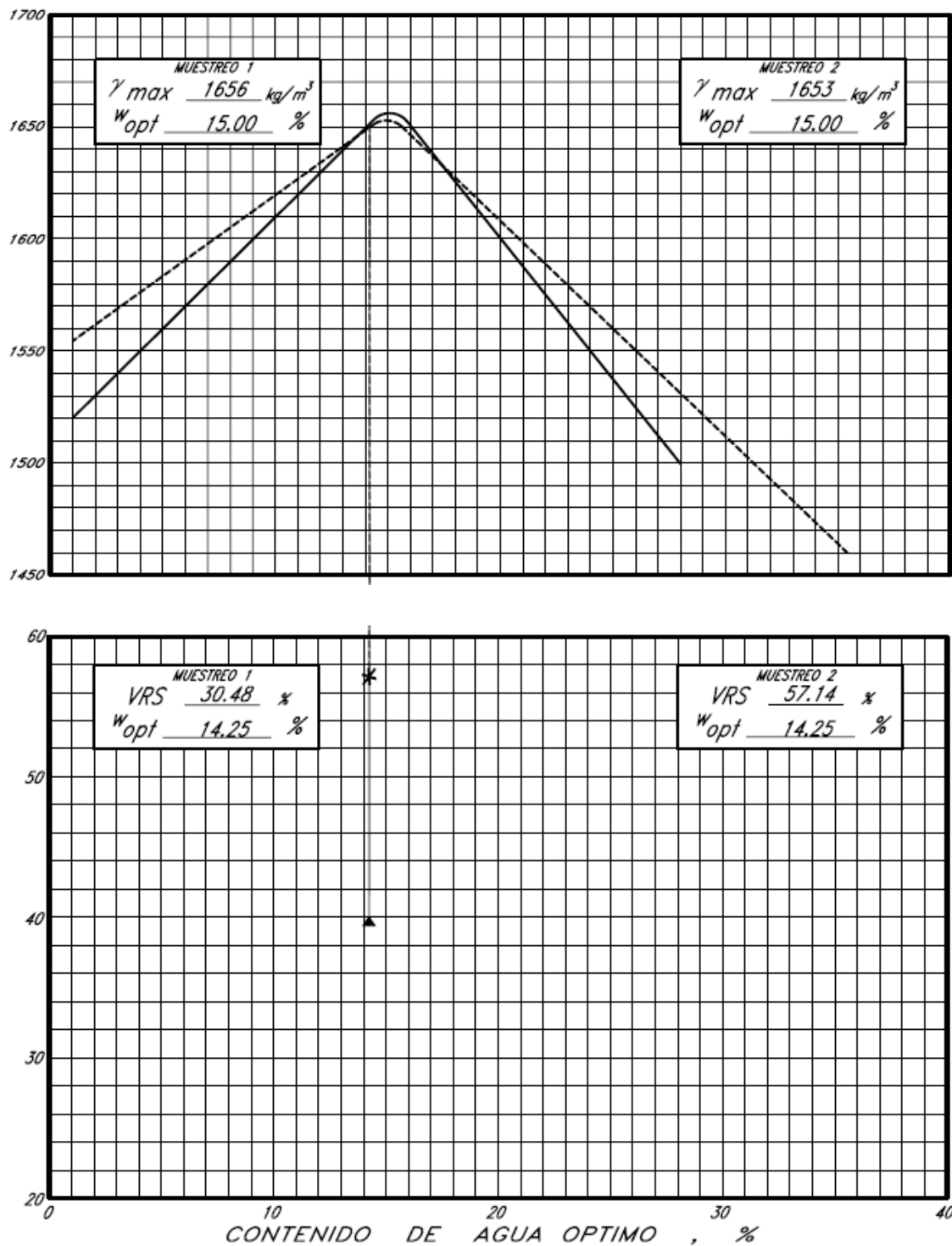
Las variaciones en los pesos volumétricos y de humedad óptima son debidos a que los muestreos fueron realizados durante diferentes épocas.

En esta primera etapa experimental se realizaron pruebas de Valor Relativo de Soporte tomándose uno o dos especímenes para las pruebas, por esta razón no es posible comparar los resultados contra la normatividad del Instituto Mexicano del Transporte ya que la norma establece que deben realizarse pruebas de CBR, sin embargo, se decidió realizar en una segunda etapa experimental las pruebas correspondientes al Valor soporte de California (CBR) y tener la posibilidad de comparar los resultados con la normatividad.

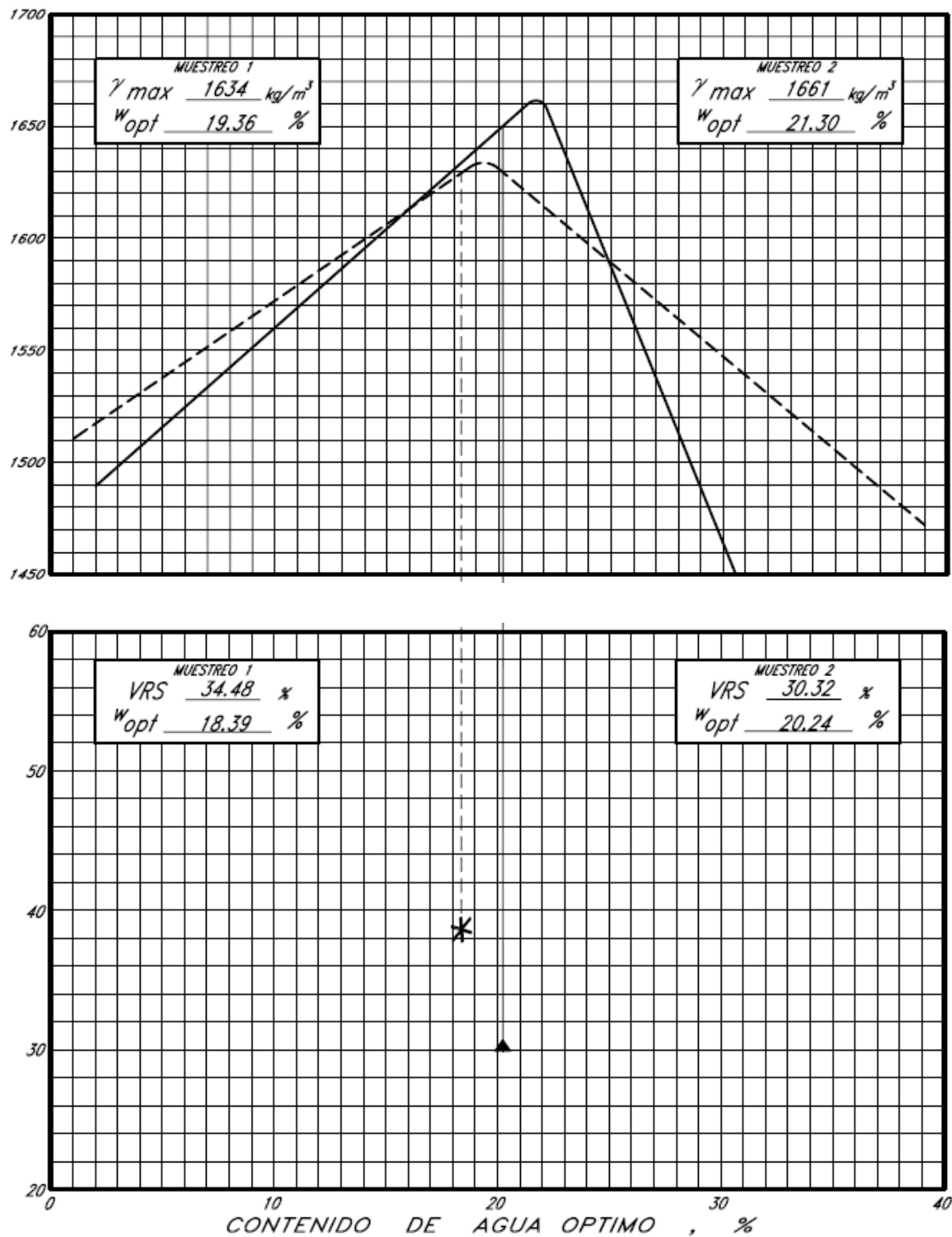
A continuación se muestran las gráficas de compactación y VRS correspondiente para cada uno de los materiales, obtenidas en los dos muestreos.



Gráfica 5.12 Resultados de ensayos de compactación y VRS modificado al 95% Muestras 1 y 2. Material 3" a finos



Gráfica 5.13 Resultados de ensayos de compactación y VRS modificado al 95%. Muestras 1 y 2. Material Base controlada



Gráfica 5.14 Resultados de ensayos de compactación y VRS modificado al 95%. Muestras 1 y 2. Material 1/2" a finos

A continuación se muestra en las Tablas 5.7 y 5.8 un resumen de los resultados obtenidos en las pruebas para pavimentos para cada muestreo. Mientras que en las Tablas 5.9 y 5.10 se muestra una comparativa de los resultados obtenidos contra los parámetros establecidos en las normas del IMT para cada uno de los muestreos.

Tabla 5.7 Resultados de pruebas para pavimentos. Muestreo 1

MATERIAL	SUCS	PAVIMENTOS					
		AASHTO E.		AASHTO M.		VRS E.	VRS M.*
		γsm Ton/m ³	w óptima %	γsm Ton/m ³	w óptima %	%	%
MUESTREO 1							
3" a finos	GC	1635	20.13	1590	20.18	43.75	26.84
3" a finos	GP-GC	1572	20.70	1604	19.70	37.88	40.82
3" a finos	GC	1620	22.00			39.63	
Base Controlada	GP-GC	1626	15.70	1656	15.00	55.16	38.48
Base Controlada	GP-GC	1610	13.63	1653	15.02	47.43	29.15
Base Controlada	GC-GM	1609	18.70			38.32	
1/2" a finos	GC	1597	19.00	1634	19.36	59.02	34.98
1/2" a finos	GC	1584	18.26	1610	18.80	53.45	54.23
1/2" a finos	GC-GM					57.73	

* Sin saturar

Definición de Parámetros:

ysm	Peso específico seco máximo
w óptima	Humedad óptima
VRS E	Valor Relativo de Soporte Estandar
VRS M	Valor Relativo de Soporte Modificado

Tabla 5.8 Resultados de pruebas para pavimentos. Muestreo 2

MATERIAL	SUCS	PAVIMENTOS					
		AASHTO E.		AASHTO M.		VRS E.	VRS M.*
		ysm Ton/m ³	w óptima %	ysm Ton/m ³	w óptima %	%	%
MUESTREO 2							
3" a finos	GC	1260	18.51	1591	17.43	43.96	45.48
3" a finos	GP-GC	1290	18.70	1605	15.44	46.99	52.47
3" a finos	GC	1609	16.45				
3" a finos	GC	1532	21.35				
Base Controlada	GP-GC	1598	16.87	1627	16.50	50.87	29.15
Base Controlada	GP-GC	1592	18.00	1574	17.80	48.28	57.14
Base Controlada	GC-GM	1653	15.00				
1/2" a finos	GC	1585	19.50	1661	21.30	64.13	30.32
1/2" a finos	GC	1592	15.50	1640	13.37	59.87	24.73
1/2" a finos	GC-GM	1621	17.30				

* Sin saturar

Definición de Parámetros:

ysm	Peso específico seco máximo
w óptima	Humedad óptima
VRS E	Valor Relativo de Soporte Estandar
VRS M	Valor Relativo de Soporte Modificado

Tabla 5.9 Tabla comparativa de resultados vs Normatividad IMT. Muestreo 1

CARACTERÍSTICA	MANUAL ISSN 0188-7114, IMT			RESULTADOS OBTENIDOS			
	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIMIENTO	muestra	Base Controlada	3" a finos	1/2" a finos
Granulometría*	1 a 2	1 a 3	1 a 3		2	2	2
Tamaño máximo (mm)	51	51	76	1	25.00	37.50	25.00
				2	25.00	25.00	25.00
				3	25.00	25.00	37.50
% Finos (Mat. <0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx	1	13.49	16.21	17.30
				2	15.80	12.60	22.73
				3	19.46	22.03	22.16
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx	1	28.71	31.28	26.54
				2	28.38	31.39	28.53
				3	27.23	31.34	28.55
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx	1	8.27	10.43	12.95
				2	8.61	9.6	16.98
				3	6.64	9.58	13.94
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín	100 mín	95 mín AASHTO Est.	1	95	95	95
				2			
Peso Volum. seco máx (ton/m³)	AASHTO MODIFICADA			1	1,656	1,590	1,634
				2	1,653	1,604	1,610
Humedad óptima (%)	AASHTO MODIFICADA			1	15.00	20.18	19.36
				2	15.02	19.70	18.80
Equivalente de Arena	40 mín	30 mín		1	93.67	35.58	64.70
				2	90.98	38.38	70.72
				3	94.19	38.34	86.73
CBR ^a (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín		b		

^a Al porcentaje de compactación indicado

^b En esta etapa se realizaron VRS

Tabla 5.10 Tabla comparativa de resultados vs Normatividad IMT. Muestreo 2

CARACTERÍSTICA	MANUAL ISSN 0188-7114, IMT			RESULTADOS OBTENIDOS			
	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIMIENTO	muestra	Base Controlada	3" a finos	1/2" a finos
Granulometría*	1 a 2	1 a 3	1 a 3		2	2	2
Tamaño máximo (mm)	51	51	76	1	25.00	50.00	9.50
				2	25.00	50.00	9.50
				3	50.00	50.00	9.50
% Finos (Mat. <0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx	1	8.68	15.83	37.52
				2	8.38	8.21	37.52
				3	8.63	13.34	32.55
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx	1	9.61	14.95	15.10
				2	7.62	14.65	15.19
				3	6.42	10.80	9.63
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx	1	9.61	14.95	15.10
				2	7.62	14.65	15.19
				3	6.42	10.80	9.63
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín	100 mín	95 mín AASHTO Est.	1	95	95	95
			2				
Peso Volum. seco máx (ton/m³)	AASHTO MODIFICADA			1	1,627	1,591	1,661
				2	1,574	1,605	1,640
Humedad óptima (%)	AASHTO MODIFICADA			1	16.50	17.43	21.70
				2	17.80	15.44	13.37
Equivalente de Arena	40 mín	30 mín		1	71.10	53.91	51.05
				2	71.31	46.96	36.35
				3	70.30	47.60	48.59
CBR ^a (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín		b		

^a Al porcentaje de compactación indicado

^b En esta etapa se realizaron VRS

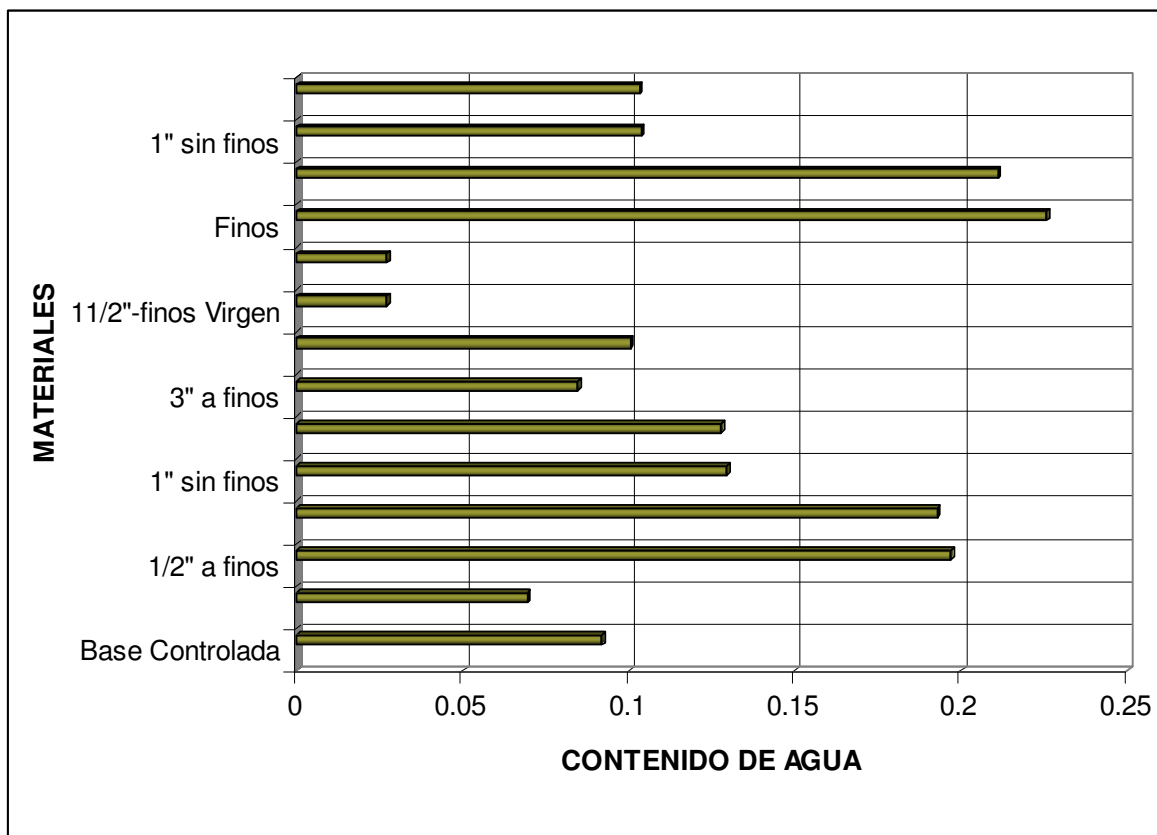
5.3 RESULTADOS SEGUNDA ETAPA

PRUEBAS ÍNDICE Y DE CALIDAD

• **CONTENIDO DE AGUA**

A continuación se muestran en la Gráfica 5.15 los diferentes contenidos de agua de los materiales a partir de los cuales se realizaron las mezclas, lo que se considera como la humedad natural de los agregados aún cuando es susceptible de sufrir alteraciones debido al clima.

Es posible observar que el material constituido por agregados menores a los 5 mm de diámetro obtuvo mayor humedad, precisamente por tratarse de material fino. Los valores para cada tipo de material se muestran en la Tabla 5.11.



Gráfica 5.15 Contenido de agua de materiales antes de las mezclas

Tabla 5.11 Contenido de agua de los agregados reciclados

MATERIAL	ω (%)
Base Controlada	9.18%
Base Controlada	6.94%
1/2" a finos	19.69%
1/2" a finos	19.28%
1" sin finos	12.94%
1" sin finos	12.77%
3" a finos	8.44%
3" a finos	10.04%
1 1/2"-finos Virgen	2.70%
1 1/2"-finos Virgen	2.72%
Finos	22.57%
Finos	21.11%
1" sin finos	10.37%

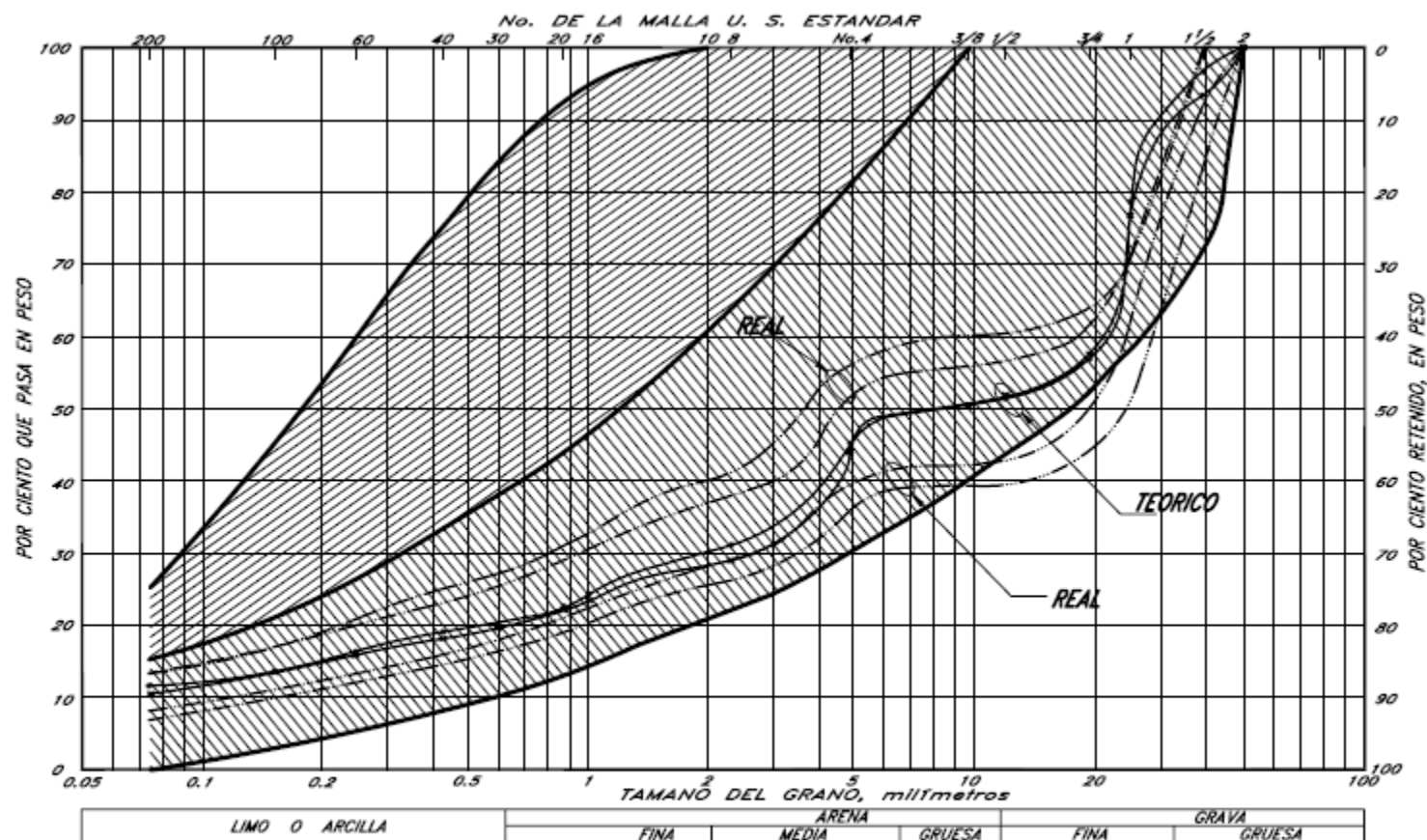
• **GRANULOMETRÍA**

Se realizó un análisis granulométrico previo a la realización de las mezclas obteniéndose curvas teóricas y curvas reales, posteriores al análisis granulométrico, ambos casos se muestran en las figuras 5.16 a la 5.19.

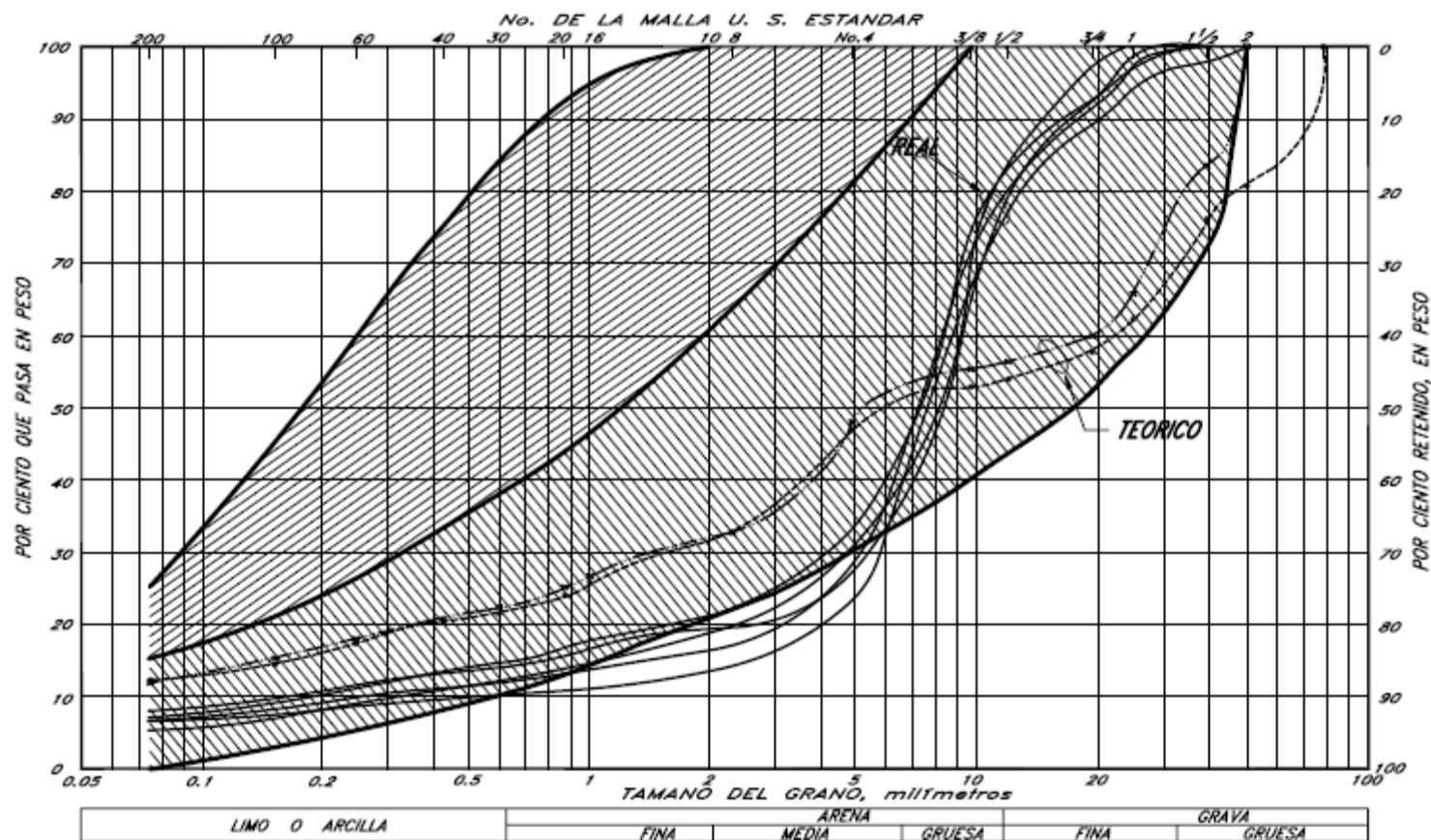
En la Gráfica 5.16 se observa que al realizar la mezcla de materiales fue posible que la granulometría mejorara situando al material de las cuatro mezclas dentro de las zonas recomendables. La granulometría de la mezcla 1 presenta mejor distribución ya que resultó de la mezcla de agregados vírgenes con agregado fino reciclado.

La Clasificación de la fracción gruesa de los materiales de acuerdo al Sistema Unificado (SUCS) corresponde a GC-SC.

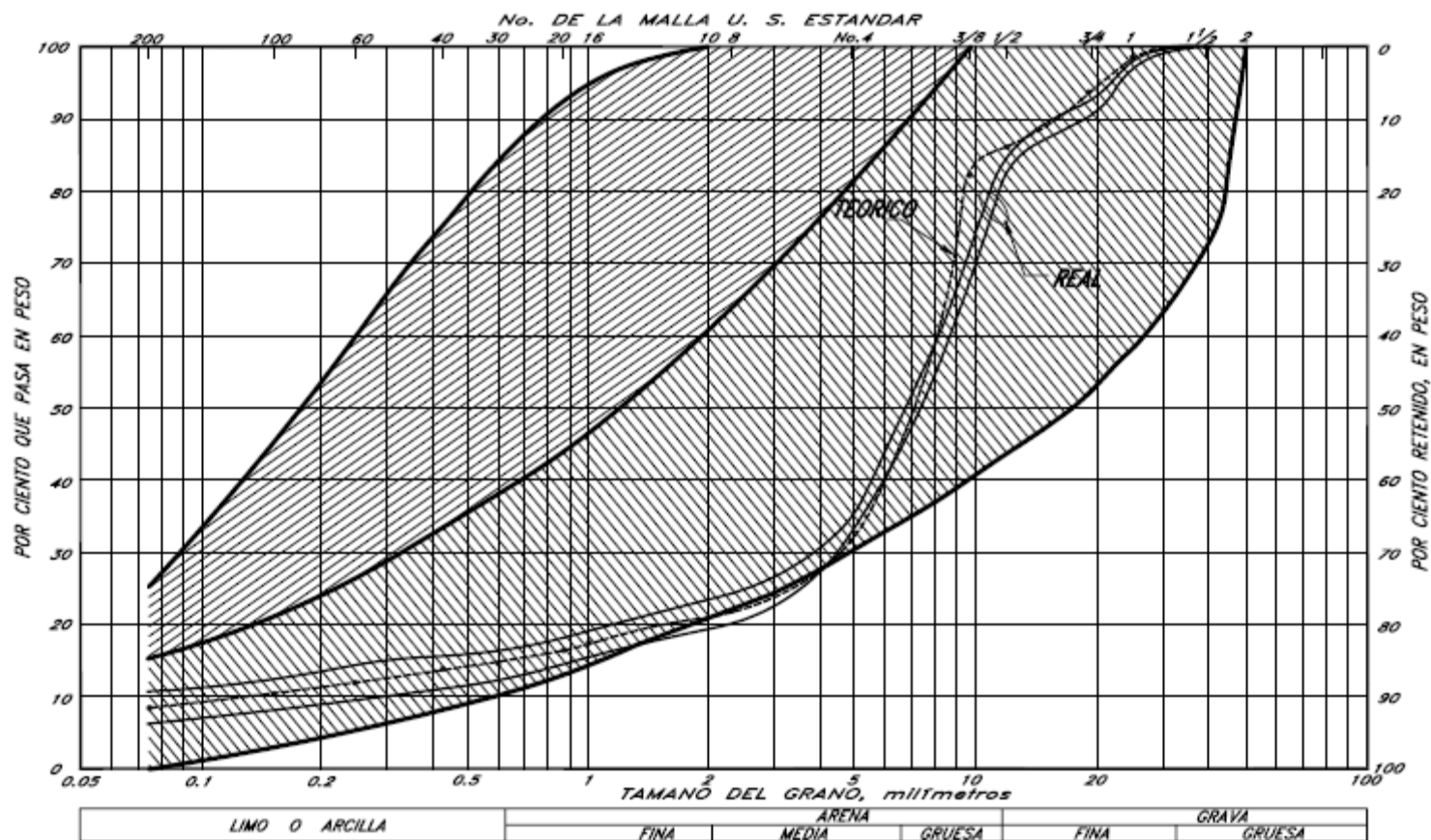
A continuación se muestran las curvas teóricas propuestas para la realización de las mezclas y las curvas resultantes.



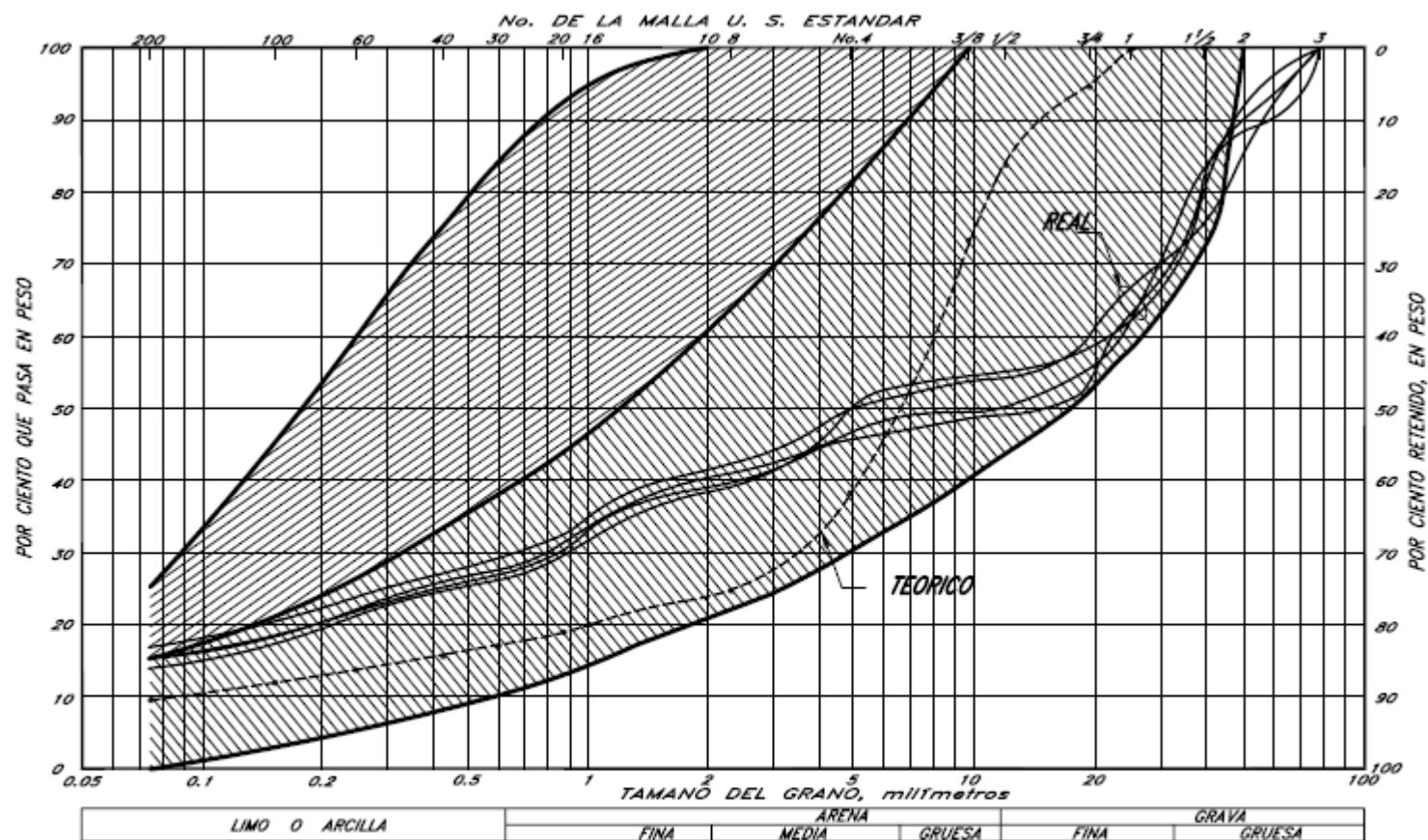
Gráfica 5.16 Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 1 y curvas teóricas.



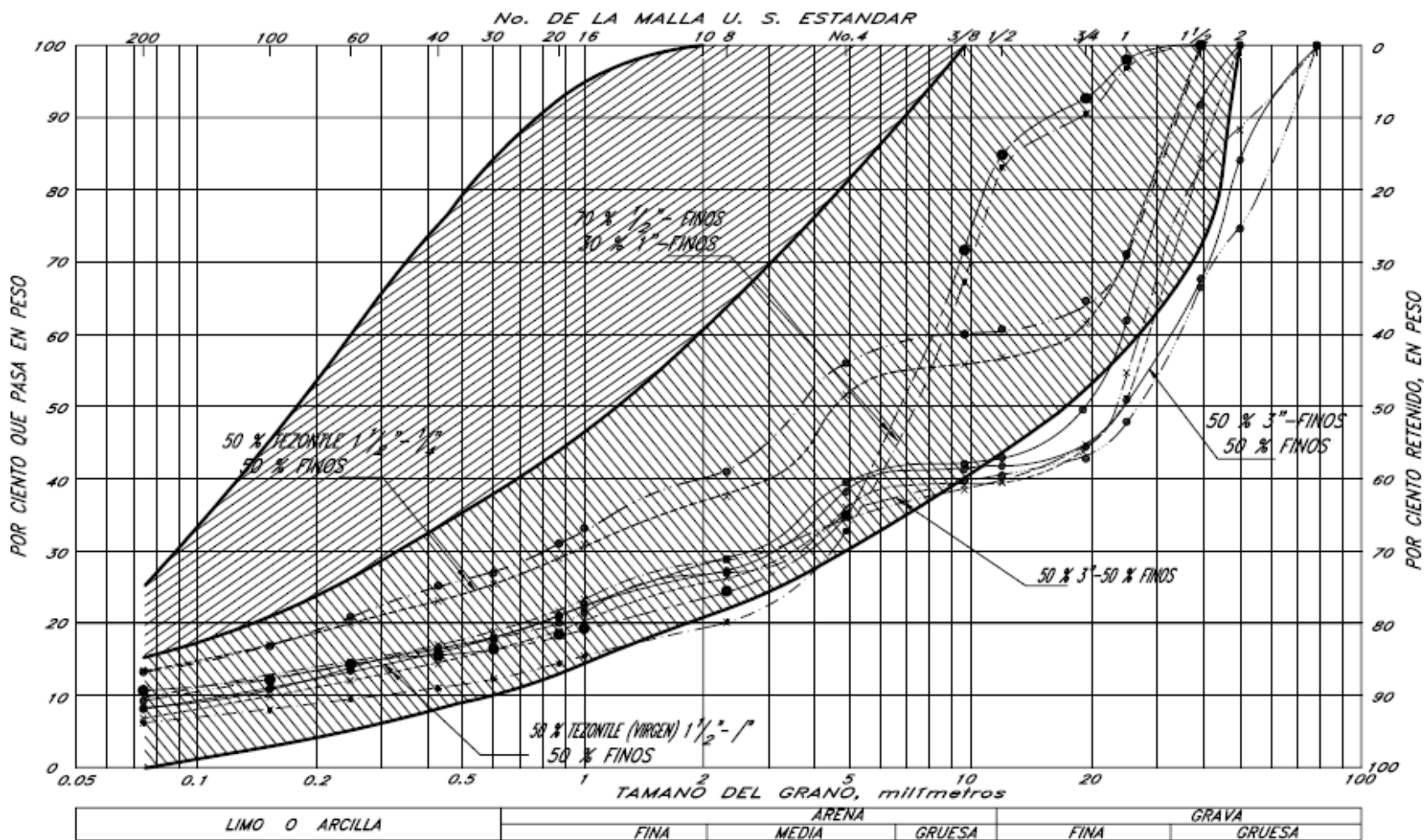
Gráfica 5.17 Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 2 y curvas teóricas.



Gráfica 5.18 Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 3 y curvas teóricas.



Gráfica 5.19 Resultados de ensayos granulométricos de la mezcla 4 y curvas teóricas.



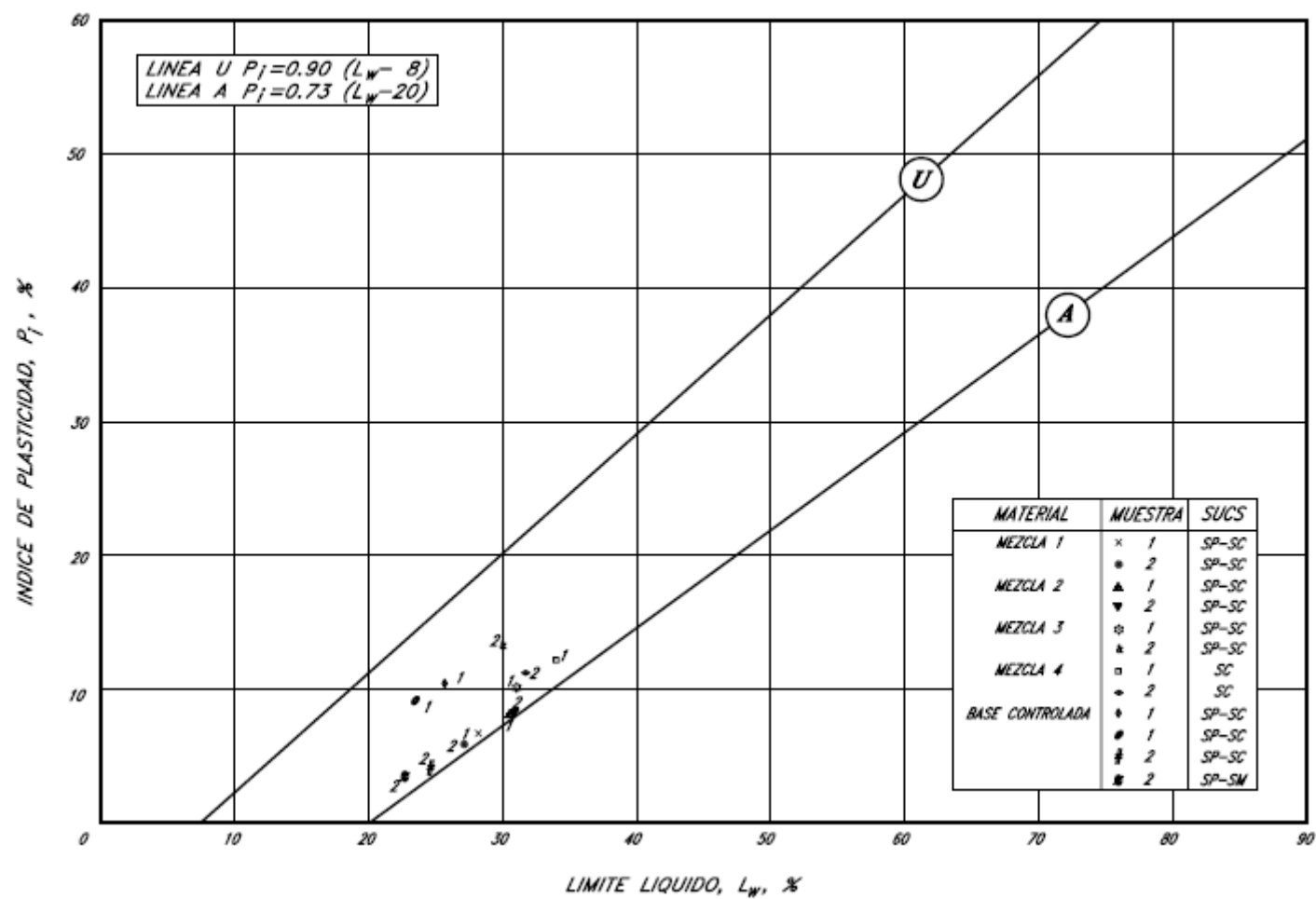
Gráfica 5.20 Granulometría de mezclas

• **LÍMITES DE CONSISTENCIA DE ATTERBERG**

Dado que en todos los casos el límite líquido y el índice plástico de las mezclas se ubican en la Zona II entre las líneas “A” y “U” de la Carta de plasticidad (Figura 5.21), cada mezcla se identifica con el símbolo doble SP-SC (Arena mal graduada) a excepción de la Mezcla 4 la cual se clasifica como SC (arena arcillosa), como se muestra en la Tabla 5.12, por lo que la fracción fina corresponde a arcillas de baja compresibilidad.

Tabla 5.12 Clasificación SUCS del material fino. Mezclas

<i>MATERIAL</i>	<i>MUESTRA</i>	<i>SUCS</i>
<i>MEZCLA 1</i>	× 1	<i>SP-SC</i>
	● 2	<i>SP-SC</i>
<i>MEZCLA 2</i>	▲ 1	<i>SP-SC</i>
	▼ 2	<i>SP-SC</i>
<i>MEZCLA 3</i>	☆ 1	<i>SP-SC</i>
	& 2	<i>SP-SC</i>
<i>MEZCLA 4</i>	□ 1	<i>SC</i>
	◀ 2	<i>SC</i>
<i>BASE CONTROLADA</i>	◆ 1	<i>SP-SC</i>
	⊙ 1	<i>SP-SC</i>
	# 2	<i>SP-SC</i>
	⌘ 2	<i>SP-SM</i>

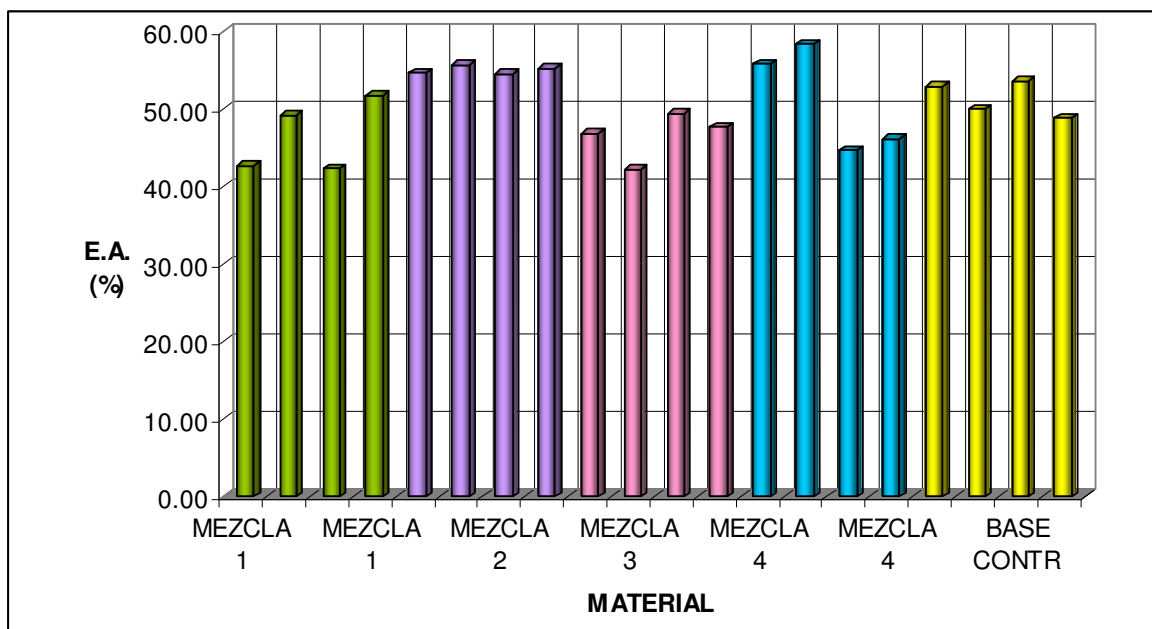


Gráfica 5.21 Carta de plasticidad. Mezclas con agregados reciclados

- **EQUIVALENTE DE ARENA**

En la Gráfica 5.22 puede observarse que los valores de equivalente de arena son muy cercanos situándose en un rango entre 42.21% y 58.44%. En la Tabla 5.13 se presenta el valor promedio para cada tipo de material.

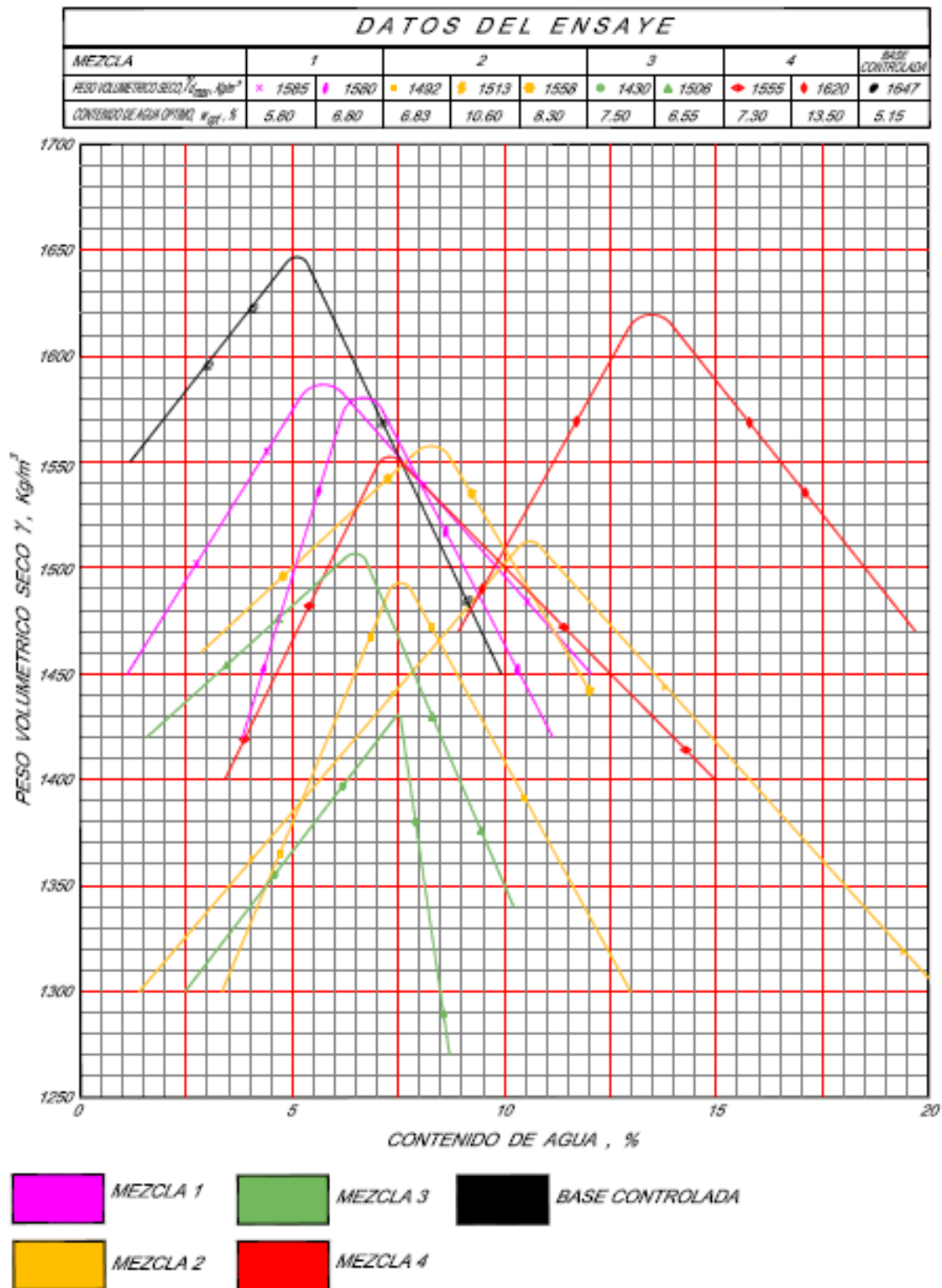
Dado que el valor mínimo aceptable para un material usado para subbases de caminos es de 30% y todas las mezclas incluyendo la base controlada lo superan, el material reciclado muestreado es susceptible de ser empleado en pavimentos, en lo que respecta a la prueba de equivalente de arena.



Gráfica 5.22 Equivalente de arena en mezclas.

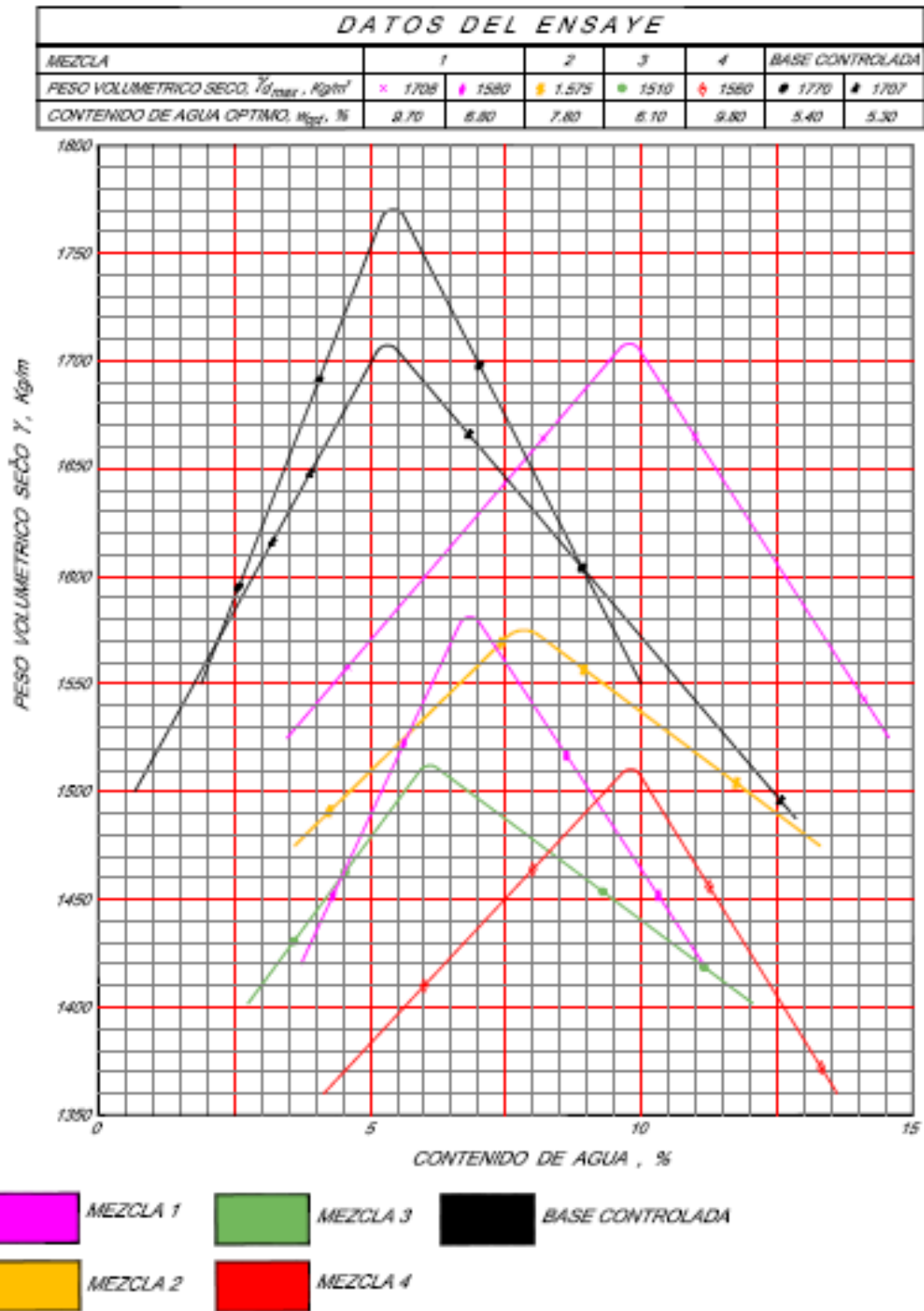
En esta segunda etapa experimental se realizaron las pruebas de compactación AASHTO Estándar y AASHTO modificadas, de las cuales se obtuvieron pesos volumétricos máximos con sus respectivas humedades óptimas de cada mezcla y de la base controlada. Los cuales se muestran en las Gráfica 5.23 y 5.24 respectivamente.

• AASHTO ESTANDAR



Gráfica 5.23 Curvas de compactación AASHTO Estándar. Mezclas

• AASHTO MODIFICADA



Gráfica 5.24 Curvas de compactación AASHTO Modificada. Mezclas

DATOS DEL ENSAYE					
MUESTRA	* MEZCLA 1	• MEZCLA 2	◊ MEZCLA 3	△ MEZCLA 4	× BASE CONTROLADA
CONTENIDO DE AGUA OPTIMO, w_{opt} , %	12.48	11.76	12.66	7.23	7.23
PESO VOLUMETRICO SECO, γ_{dmax} , Kg/m ³	1538	1628	1711	1634	1687
CBR	%	24.62	27.35	23.44	51.97

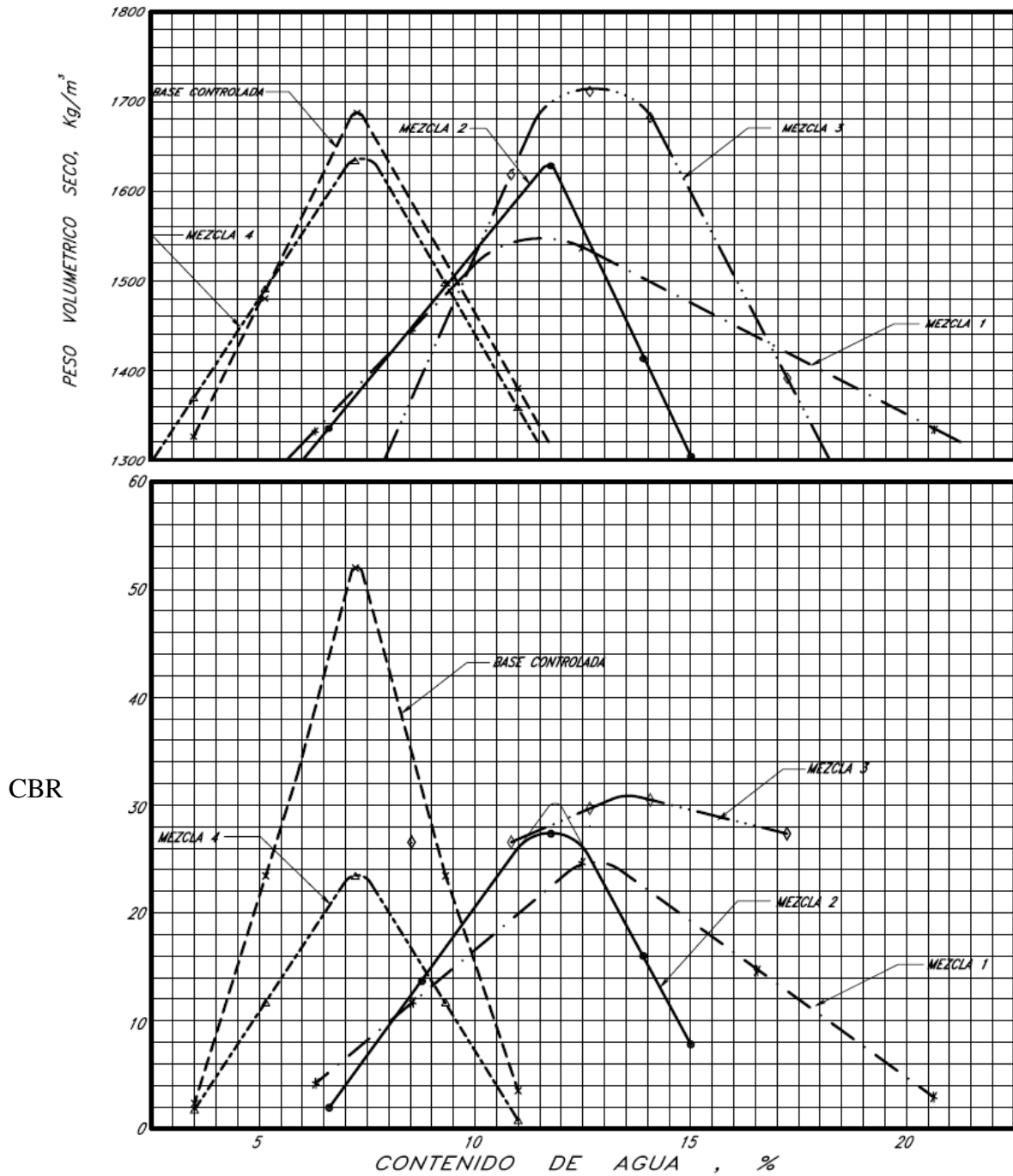


Tabla 5.13 Tabla comparativa de resultados vs Normatividad IMT. Segunda Etapa

CARACTERÍSTICA	MANUAL ISSN 0188-7114, IMT			RESULTADOS OBTENIDOS					
	DESEABLE	ADECUADA	REVESTIMIENTO	muestra	BASE CONTR.	MEZCLA 1	MEZCLA 2	MEZCLA 3	MEZCLA 4
Granulometría*	1 a 2	1 a 3	1 a 3		1	1	1	1	1
Tamaño máximo (mm)	51	51	76	1	25	37.50	25.00	25.00	50
				2	25	37.50	19.00	25.00	50
				3		25.00	25.00		
				4		25.00	25.00		
				5			37.50		
% Finos (Mat. <0.074 mm)	15 máx	25 máx	10 mín 20 máx	1	8.28	6.83	7.04	6.20	13.89
				2	9.30	8.10	5.32	10.67	16.80
				3		13.36	6.58		
				4		13.25	7.95		
				5			6.58		
Límite Líquido (LL) (%)	25 máx	30 máx	40 máx	1	23.50	28.19	30.54	31.04	33.98
				2	22.70	27.13	30.87	29.97	31.72
				3	24.62				
				4	22.81				
Índice Plástico (IP) (%)	6 máx	10 máx	15 máx	1	9.19	6.72	8.21	10.14	12.20
				2	3.51	5.91	8.23	13.33	11.24
				3	7.17				
				4	5.36				
Compactación (%) (AASHTO Modif.)	100 mín	100 mín	95 mín AASHTO Est.	1					
				2	100	100	100	100	100
Peso Volum. seco máx (ton/m ³)	AASHTO MODIFICADA			1	1770				
				2	1707	1708	1575	1510	1560
Humedad óptima (%)	AASHTO MODIFICADA			1	5.40				
				2	5.30	9.70	7.80	6.10	9.80
Equivalente de Arena (%)	40 mín	30 mín		prom	51.34	46.50	55.04	46.55	51.29
CBR* (%) (Compactación dinámica)	40 mín	30 mín	30 mín	1					
				2	51.97	24.62	27.35	30.48	23.44

* Al porcentaje de compactación indicado

- **CBR (California Bearing Ratio)**

Para la prueba de CBR y a través de la comparación de los resultados obtenidos con la normatividad del Instituto Mexicano del Transporte, en esta segunda etapa, es posible apreciar que el material que obtuvo la mayor resistencia al corte fue la base controlada, la cual obtuvo un valor de CBR de 51.97 situándose en la calidad deseable de un material para subbase, no obstante, la mezcla 3 donde hubo una sustitución del 100% de agregados vírgenes por agregados reciclados obtuvo un valor de CBR de 30.48, ubicándose de acuerdo a la norma en una calidad adecuada para la construcción de subbases.

CAPÍTULO 6.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Durante el desarrollo del presente trabajo se han revisado las experiencias nacionales e internacionales en materia de manejo de residuos C&D así como los impactos que a lo largo de su ciclo de vida producen en el medio ambiente, particularmente al término de ésta. Para lo cual, se propuso la aplicación de una matriz de ponderación de impactos en cuatro sitios de disposición inadecuada, proponiendo como medida de mitigación a los impactos identificados el uso como agregados reciclados de los RC&D en obras donde satisfagan los requerimientos técnicos. Asimismo, a través del desarrollo experimental se estudió la factibilidad técnica del uso como agregados de los RC&D en la construcción de subbases de caminos secundarios.

Con base en lo anterior se presentan a continuación las siguientes conclusiones y recomendaciones:

A. CONCLUSIONES

6.1 Experiencias internacionales

- La escasez de materias primas para la obtención de agregados vírgenes y la dificultad de encontrar sitios disponibles para rellenos sanitarios, son causas del origen de la política del reciclaje que en los países europeos ha sido implementada con medidas de carácter legal (obligación de demoler selectivamente, acuerdos voluntarios, planificación y control) y económico (impuestos sobre la disposición).
- Los países integrantes de la Unión Europea cuentan con Decretos específicos para la gestión integral de los residuos C&D, donde el manejo aplicable consiste en la separación in situ, demolición selectiva, recolección, tratamiento, reciclaje y reaprovechamiento de los agregados reciclados.
- El reciclaje de los residuos C&D a nivel internacional se ha practicado obteniendo resultados favorables en la construcción de caminos y

edificaciones.

- La disposición final de residuos C&D en los Estados Miembros de la Unión Europea, se grava con impuestos especiales.
- En Alemania no se cuenta con estándares, DIN, específicos para agregados reciclados que muestran los requerimientos técnicos que deben cubrir, como tamaño de partículas y composición de los productos. El TL Gestein-StB establece los términos técnicos para el uso de agregados en la construcción de caminos.
- En Estados Unidos, la Ley de Conservación y Recuperación de los Residuos (RCRA), rige la prevención y la gestión integral de los residuos y cada estado determina qué tipo de residuos deben ir a disposición en rellenos sanitarios, cuáles a rellenos para residuos C&D y cuáles deben ser enviados a incineradores.
- A nivel internacional hay una tendencia a incrementar los impuestos medioambientales y en particular sobre la disposición final de los residuos C&D como parte de una política fiscal que incluye la reducción de impuestos directos.
- Las experiencias internacionales han demostrado la factibilidad técnica y económica del uso de los RC&D en la construcción de diferentes obras.

6.2 Experiencias nacionales

- En inadecuado control de los residuos C&D propicia su disposición inadecuada, lo que provoca impactos al ambiente que aún no se han estudiado completamente.
- La separación de los materiales contenidos en los residuos C&D se realiza principalmente con aquellos que cuentan con un mercado bien establecido como el acero y la madera, por lo que el resto de ellos, en general, son

enviados como desechos a disposición final sin aprovecharlos.

- El manejo de los residuos C&D que actualmente realizan los generadores, en general, no contempla la separación in situ ni el reciclaje de éstos, sino simplemente su disposición final.
- Sólo existe una planta en México dedicada al reciclaje de residuos C&D, por lo que por el momento este tipo de valorización de los residuos dista mucho de ser económico, dadas las condiciones de transporte.
- La recuperación de los residuos C&D es de gran importancia económica y ambiental debido a que ofrece beneficios como la reducción en la demanda de recursos naturales, el ahorro de energía y la reducción en la necesidad de sitios de disposición final, que para el caso del Distrito Federal, el único relleno sanitario con que cuenta es el de Bordo Poniente y cuya vida útil se encuentra en su etapa final.
- La Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) sitúa a los residuos C&D en la categoría VII, como residuos de manejo especial que deben estar sujetos a planes de manejo diseñados bajo el principio de responsabilidad compartida, y cuyo objetivo sea su valorización.
- A nivel nacional sólo existe una Norma Ambiental específica para residuos C&D, sin embargo sólo es de aplicación en el Distrito Federal, la NADF-007-RNAT-2004.

6.3 Impacto ambiental

- En Alemania se cuentan con estándares especiales respecto a la composición química de los agregados reciclados con el fin de prevenir la lixiviación de contaminantes al subsuelo.
- Las normas de la SCT, hasta el momento no contemplan el uso de agregados reciclados en ninguna de sus obras, ya que se carece de estudios técnicos que

los recomienden.

- A través del análisis del ciclo de vida de los materiales de construcción es posible determinar los impactos que pueden provocar al medio ambiente, así como el consumo de recursos.
- Dentro de la corriente de residuos C&D hay componentes cuyas características los hace peligrosos y si no se realiza una separación previa a su disposición, pueden poner en riesgo al medio ambiente y a la salud pública.
- Actualmente la identificación de impactos ambientales está enfocada a la realización de obras, no a sitios aislados en los que estén presentes acumulaciones de residuos, por lo que es posible aplicar las metodologías existentes para la identificación de impactos ambientales a sitios de disposición inadecuada de RC&D.
- A través de la revisión de manifestaciones de impacto ambiental se pudo observar la falta de programas de manejo integral de los residuos que incluya la separación, valorización o reciclaje de los mismos.
- No todos los residuos C&D que se disponen son registrados. Sólo el Gobierno del D.F. cuenta con registros de los que se disponen, con autorización y pago de derechos, en el relleno sanitario Bordo Poniente, sin embargo sólo se cuenta con estimaciones de los residuos que se vierten inapropiadamente.
- El almacenamiento temporal de los residuos C&D que se realiza en las obras en construcción, no se hace adecuadamente y se propician impactos ambientales negativos.
- En las obras de demolición, no se tiene en cuenta la demolición selectiva, lo cual hace menos factible el aprovechamiento de los residuos con potencial de reciclaje.
- Es necesario aplicar medidas de mitigación en los sitios de disposición inadecuada en función de los que presenten los mayores impactos.

6.4 Trabajo experimental

- En la primera y segunda etapa, los muestreos fueron realizados en diferentes épocas del año, por lo que las características del material se vieron afectadas.
- Lo anterior representó un cambio en las curvas granulométricas y dada la heterogeneidad de los materiales en los muestreos 1 y 2 se obtuvieron variaciones en los resultados de las pruebas VRS.
- Aún cuando hubo variaciones en los muestreos 1 y 2, se observó que los materiales podían incrementar sus propiedades físicas con la elaboración de mezclas de los materiales.
- En los muestreos 1 y 2, la base controlada obtuvo el mejor comportamiento cumpliendo con los estándares que marca la normatividad del IMT, dada la combinación de materiales vírgenes con materiales reciclados.
- A través de la elaboración de mezclas de materiales reciclados, fue posible superar la sustitución del 25% de agregados naturales por agregados reciclados que establece la norma ambiental NADF-007-RNAT-2004, por un 100% de materiales reciclados, como es el caso de la mezcla 3 obteniendo resultados satisfactorios.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en las dos etapas experimentales, es posible recomendar la Base controlada y la mezcla 3 en la construcción de subbases de caminos secundarios.

RECOMENDACIONES

- Es necesario evaluar los sitios de disposición clandestina que existen en distintas áreas del D.F. y priorizar su rehabilitación en términos de los que presentan los mayores impactos.
- Es necesario realizar pruebas fisicoquímicas a los residuos C&D para

determinar si su composición puede provocar la lixiviación de contaminantes al subsuelo.

- Se recomienda el empleo de agregados reciclados que reúnan las características físicas necesarias, dados los beneficios ambientales que ofrece, sin embargo, se debe asegurar que el empleo de los materiales no afecte la calidad del ambiente.
- Es necesario fomentar la valorización de los residuos C&D a través de la separación selectiva, aún cuando esto representa un incremento en los costos para los generadores.
- Se requiere de la elaboración de manuales de procedimientos de la demolición selectiva para prevenir la mezcla de materiales y la contaminación de materiales valorizables, de manera que los materiales recuperados satisfagan los estándares técnicos y sean competitivos con respecto a los materiales vírgenes.
- El costo derivado del reciclaje debe ser analizado de manera completa, ya que es necesario asegurar que el costo de recuperación no sobrepasa el valor de lo recuperado.
- Es necesaria la creación de nuevas plantas de reciclaje en diferentes puntos del país, en particular de la Ciudad de México para disminuir los costos de transporte de los residuos C&D.
- Se hace necesaria la creación de una Norma Ambiental de aplicación Federal que regule el manejo integral de los residuos C&D, donde se establezcan criterios específicos para agregados reciclados.
- Se recomienda llevar a cabo más pruebas experimentales en los agregados reciclados para que algunas pruebas como la del Valor relativo de soporte puedan ofrecer un panorama más amplio en cuanto al comportamiento de los materiales.

- Se recomienda antes de utilizar estos materiales, obtener sus propiedades índice y de calidad a fin de cumplir con la normatividad aplicable.
- Es posible recomendar estos materiales en la construcción de terraplenes, andadores o ciclopistas, lechos para tubería, bases de guarniciones y banquetas, revestimientos, rellenos y filtros para obras viales o pedraplenes.
- Se recomienda aplicar un modelo de gestión de los residuos C&D como el desarrollado en España, cuyos elementos sean:
 - a) La identificación de los agentes que intervienen, funciones y responsabilidades. Se puede afirmar que existen tres agentes importantes que son: el productor del residuo, el gestor del residuo o empresa autorizada para la eliminación y los agentes intermediarios en el proceso de producción.
 - b) Establecimiento de un mecanismo para la identificación de los RCD y su origen: la identificación es normalmente un procedimiento administrativo porque depende de las licencias y permisos de obras.
 - c) Fijación de un proyecto de depósito de residuos C&D . El objetivo es mantener el control de los residuos inertes por medio de revisiones periódicas.
 - d) Se hace necesario determinar el origen y las cantidades de los residuos así como las operaciones de separación de los elementos no inertes, además de tender a una gestión de producción mínima de residuos C&D.
 - e) Planificación territorial de las instalaciones y objetivos. Deben quedar reflejadas las operaciones a realizar, las garantías, los costes y el número de instalaciones autorizadas.
 - f) Establecer un plan de manejo integral para los residuos de la construcción y demolición, en el cual se contemple su reciclaje y el uso como agregados en diferentes obras.

- g) Realizar un análisis de mercado para comercializar los agregados reciclados que serán utilizados para distintos fines, de tal manera que los residuos sean reincorporados al ciclo económico contribuyendo a la solución de los problemas ambientales que se generan por su inadecuada disposición.

ANEXOS

A.1 CALENDARIO DE PRUEBAS

		CALENDARIO																																							
		2006																																							
		ENE		FEBRERO																MARZO																					
#PRUEBA		L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V	L	M	M	J	V					
Propiedades	Índice	30	31	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17	20	21	22	23	24	27	28	1	2	3	6	7	1	2	3	6	7	8	9	10	13	14	15	16	17
2º Muestreo					2																																				
	1				2																																				
	2							2																																	
	3	1								2																															
	4		1								2																														
	5			1								2																													
	6				1								2																												
	7					1								2																											
	8							1								2																									
Pruebas																																									
	1										1				2																										
	2											1					2																								
	3																	1							2																
	4 a)																		1							2															
	4 a)																			1							2														
	4a), b)																									1															
	4b)																										1														
	4b)																											1													

A.2 SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Tipo de suelo	Clasificación			Clasificación	
				Grupo	Nombre
SUELOS GRUESOS	Gravas	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_e \leq 3$	GW	Grava bien graduada
Más del 50% es retenido en tamiz #200	Más del 50% de la fracción gruesa es retenida en tamiz #4	Menos de 5% de finos	$C_u < 4$ y/o $1 > C_e > 3$	GP	Grava mal graduada
		Gravas con finos	Finos clasifican como ML o MH	GM	Grava limosa
		Más de 12% de finos	Finos clasifican como CL o CH	GC	Grava arcillosa
	Arenas	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_e \leq 3$	SW	Arena bien graduada
	50% o más de la fracción gruesa pasa el tamiz #4	Menos de 5% de finos	$C_u < 6$ y/o $1 > C_e > 3$	SP	Arena mal graduada
		Arenas con finos	Finos clasifican como ML o MH	SM	Arena limosa
		Más de 12% de finos	Finos clasifican como CL o CH	SC	Arena arcillosa
SUELOS FINOS	Limos y arcillas	Inorgánico	$IP > 7$ y cae sobre o arriba de la recta "A"	CL	Arcilla de baja plasticidad
Más del 50% pasa el tamiz #200	$LL < 50$		$IP < 4$ o cae debajo de la recta "A"	ML	Limo de baja plasticidad
		Orgánico	$LL < 0.75$	OL	Arcilla orgánica
				OL	Limo orgánico
	Limos y Arcillas	Inorgánico	IP cae sobre o arriba de la recta "A"	CH	Arcilla de alta plasticidad
	$LL \geq 50$		IP cae debajo de la recta "A"	MH	Limo de alta plasticidad
		Orgánico	$LL < 0.75$	OH	Arcilla orgánica
				OH	Limo orgánico
SUELOS MUY ORGANICOS	Prima la materia orgánica, color oscuro y hedor orgánico			PT	Turba

A.3 NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL

GRUPO	NOMBRES TÍPICOS DEL MATERIAL
GW :	Grava bien gradada, mezclas gravosas, poco o ningún fino.
GP :	Grava mal gradada, mezclas grava – arena, poco o ningún fino.
GM :	Grava limosa, mezclas grava, arena, limo.
GC :	Grava arcillosa, mezclas grava – arena arcillosas.
SW :	Arena bien gradada.
SP :	Arena mal gradada, arenas gravosas, poco o ningún fino.
SM :	Arenas limosas, mezclas arena – limo.
SC :	Arenas arcillosas, mezclas arena – arcilla.
ML :	Limos inorgánicos y arenas muy finas, polvo de roca, limo arcilloso, poco plástico, arenas finas limosas, arenas finas arcillosas.
CL :	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas gravosas, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas magras (pulpa)
OL :	Limos orgánicos, arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.
MH :	Limos inorgánicos, suelos limosos o arenosos finos micáceos o diatomáceos (ambiente marino, naturaleza orgánica silíceo), suelos elásticos.
CH :	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas.
OH :	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta, limos orgánicos.
Pt :	Turba (carbón en formación) y otros suelos altamente orgánicos.

A.4 CARACTERÍSTICAS Y USOS DE LOS SUELOS (GRUPO DEL SUCS)

Grupo	VALORACIÓN ATRIBUTOS				APTITUDES SEGÚN USOS	
GW	+++	++	+++	+++	Mantos de presas, terraplenes, erosión de canales.	
GP	++	+++	++	+++	Mantos de presas y erosión de canales.	
GM	++	-	++	+++	Cimentaciones con flujo de agua.	
GC	++	--	+	++	Núcleos de presas, revestimientos de canales.	
SW	+++	++	+++	+++	Terraplenes y cimentación con poco flujo.	
SP	m	++	++	++	Diques y terraplenes de suave talud.	
SM	m	-	++	+	Cimentación con flujo, presas homogéneas.	
SC	++	--	+	+	Revestimiento de canales, capas de pavimento	
ML	m	-	M	m	Inaceptable en pavimentos, licuable.	
CL	+	--	M	m	Revestimiento de canales, pero es erodable.	
OL	m	-	--	m	No recomendable, máximo si hay agua.	
MH	--	-	-	---	Inaceptable en cimentaciones o bases (hinchable)	
CH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentación (hinchable)	
OH	--	--	--	---	Inaceptable en cimentaciones o terraplenes.	
CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES	Facilidad de tratamiento en obra	Permeabilidad	Resistencia al corte	Compresibilidad	Sobresaliente	+++
					Muy alto	++
					Alto	+
					Moderado	m
					Deficiente	-
					Bajo	--
					Muy bajo	---

A.5 CLASIFICACIÓN AASHTO

5.2 Clasificación de la AASHTO.

Este es el sistema del Departamento de Caminos de U.S.A., introducido en 1929 y adoptado por la “American Association of State Highway Officials” entre otras. Es de uso especial para la construcción de vías, en especial para manejo de subrasantes y terraplenes.

Los grupos de suelos son 7, subdivididos en otros más (para llegar a 12)

- a) Grueso granulares: 35% o menos pasa el T-200 comprende
 - A-1, si menos del 20% pasa el T-200 y menos del 50% pasa el T-40, pero en el P40 el $IP < 6\%$.
 - A-2, si menos del 35% pasa el T-200, (limoso o arcilloso), y el material no cumple con A-1 ni A-3.
 - A-3, si menos del 10% pasa el T-200 y 51% o más pasa el T-40, pero si el P40 no es plástico.
- b) Suelos fino granulares (grupo limo arcilla): más del 35% pasa el T-200
 - A-4 si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \leq 40\%$
 - A-5 si $IP \leq 10$ (limo) y $LL \geq 41\%$
 - A-6 si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \leq 40\%$
 - A-7 si $IP \geq 11$ (arcilla) y $LL \geq 41\%$

En consecuencia: A-1 = cascajo y arena; A-3 = arena fina; A-2 = cascajos y arenas limosas o arcillosas; A-4 y A-5 suelos limosos, y A-6 y A-7 suelos arcillosos

A-1 y A-3 son suelos excelentes y buenos, A-2 buenos y moderados, y A-6 y A-7 son suelos de moderados a pobres.

Grupo Suelos.	Permeabilidad	Elasticidad.	Cambio de volumen.	Capilaridad.	Bases de pavimentos.	Sub bases.	Terraplenes.	Valoración escala.
A-1	--	---	--	-	++	++	++	+++ Sobresaliente.
A-2	-	++	+	m	-	M	+	++ Muy alto.
A-3	+	-	--	-	+	+	+	+ Alto.
A-4	-	+	+-	+++	-	-	+-	m Moderado.
A-5	-	m	++	+++	---	-	--	- Deficiente.
A-6	---	-	++	++	--	--	-	-- Bajo.
A-7	--	m	++	++	--	--	--	--- Muy bajo.

Tabla 5.3 Características de suelos –según la AASHTO–

A.6 IMPORTANCIA Y VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS

IMPORTANCIA DEL IMPACTO	
3 (valor intensidad) + 2 (valor extensión) + valor del momento + valor de reversibilidad	
Fuente: Gómez Orea, 1994, modificado.	

VALORACIÓN DE IMPACTOS	
Impacto Total = C X (P + I + O + E + D + R)	
Negativo (-)	
Severo	$\geq (-) 15$
Moderado	$(-) 15 \geq (-) 9$
Compatible	$\leq (-) 9$
Positivo (+)	
Alto	$\geq (+) 15$
Mediano	$(+) 15 \geq (+) 9$
Bajo	$\leq (+) 9$

R

REFERENCIAS

BIBLIOGRÁFICAS

- ☞ Robinson, William D., The solid waste handbook. J Wiley
- ☞ Tchobanoglous, G., 1993. Integrated Solid Waste Management. Mc. Graw-Hill
- ☞ Tchobanoglous, G. y Kreith, Frank, 2002. Handbook of solid waste management. Mc. Graw-Hill
- ☞ Canter, L. Manual de evaluación de impacto ambiental. Mc. Graw-Hill
- ☞ Juárez M., Miguel A., 2003. Tesis: Análisis de la base técnica de manifestaciones de impacto ambiental. Posgrado en Ingeniería Ambiental, UNAM, México.
- ☞ Vega, Ricardo E., 2001. Tesis: Reciclaje y reaprovechamiento de residuos de la construcción y demolición. Posgrado en Ingeniería Ambiental, UNAM, México.
- ☞ Vesilind, P. Aarne, 1981. Unit Operations in Resource Recovery Engineering. Prentice-Hall
- ☞ Casanova del Ángel F., Páramo Figueroa V.H., 2000. Impacto Ambiental en Obra civil. Logiciels.
- ☞ Fermín Martín, 1992. Contaminación en México. Libra
- ☞ Brandenburg Technical Guidelines for the Recycling of Building Materials in Road Construction - Production, Testing, Delivery and Installation - (BTR RC-StB). Federal Republic of Germany, Issue 2002/ Version 2004.
- ☞ Dieter, Hafemeister. Recycling demolition rubble in Berlin (West). Recycling

International: municipal solid waste, sewage sludge, food and beverage industry, packaging, plastics and scrap tyres, building industry, hazardous and non-hazardous industrial waste. Ed. By Karl J. Thomé-Kozmiensky. Berlin, 1984.

- ☞ Gutiérrez, Constantino. Impacto Ambiental de las Obras de Ingeniería Civil. Tesis Facultad de Ingeniería, UNAM, 1980
- ☞ Gutiérrez, Constantino. Transporte de Residuos Sólidos Municipales, Apuntes de clase. UNAM, Septiembre de 2005.
- ☞ Schniering, Alfred. Possibilities of and regulations for reusing construction materials in road construction. Recycling International: municipal solid waste, sewage sludge, food and beverage industry, packaging, plastics and scrap tyres, building industry, hazardous and non-hazardous industrial waste. Ed. By Karl J. Thomé-Kozmiensky. Berlin, 1984.
- ☞ Ulrike Beltrams, 1984. Use of Recycling construction material. Questions concerning tenders and contract settlement. Recycling International: municipal solid waste, sewage sludge, food and beverage industry, packaging, plastics and scrap tyres, building industry, hazardous and non-hazardous industrial waste. Ed. By Karl J. Thomé-Kozmiensky. Berlin, 1984.
- ☞ Meng, Birgit . 19 de Junio de 2003. Materiales de construcción. Introducción general y aspectos especiales de reuso. Coloquio de Doctorado, Medio Ambiente y manejo de recursos. Bundesanstalt für Materialforschungundprüfung, Alemania.
- ☞ Confederación Nacional de Construcción (CNC), 29 de enero de 2004. Jornada sobre residuos de construcción y demolición. Reciclado de RCDs
- ☞ Lave B. Lester, ASCE, 1991. Municipal Solid Waste Recycling Issues. Journal of Environmental Engineering, Vol. 125, No. 10, October, 1999.
- ☞ SCT, IMT 2004. Módulos de resiliencia de agregados provenientes de rocas altamente intemperizadas. Publicación técnica N°. 256, Sanfadila, Querétaro.

- ☞ SEDESOL, Octubre de 2004. Manual Micro Regiones. Programa de caminos rurales y alimentadores, Obras a contrato.
- ☞ Minimización y Manejo de Residuos de la Industria de la Construcción, Diagnóstico 2002.
- ☞ Espinoza, Guillermo. Fundamentos de Evaluación de Impacto Ambiental, Banco Interamericano de Desarrollo – BID, Centro De Estudios Para El Desarrollo – CED SANTIAGO – CHILE, 2001

ELECTRÓNICAS

- ☞ R.J. Peploe, Bartley, et. al. Environmental Impacts of Industrial by-products in Road Construction – a Literatura Review. Wellington, New Zeland 2006. Disponible en: <http://landtransport.govt.nz/research/reports/308.pdf>
- ☞ Harpa, Birgisdóttir. Lyfe cycle assessment model for road construction and use of residues from waste incineration. Institute of Environment and Resources, Technical University of Denmark, July 2005. Disponible en: <http://www2.er.dtu.dk/publications/fulltext/2005/MR2005-106.pdf>
- ☞ Harpa, Birgisdóttir. Life cycle assessment tool ROAD-RES. Institute of Environment and Resources, Technical University of Denmark, 2005. Disponible en: www.gjenbruksprosjektet.net/filemanager/download/1272/22%20%20Birgisdottir&Christensen.pdf
- ☞ ECODES, 2007. Impactos ambientales de la edificación. Disponible en: <http://www.ecodes.org/pages/areas/vivienda/impactos.asp>
- ☞ BID, 2001. Fundamentos de Impacto Ambiental. Disponible en: www.iadb.org/sds/doc/ENVFundamentosEvaluImpactoAmbiental.pdf
- ☞ IHOBE, 2004. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. Monografía sobre residuos de la construcción y demolición. Departamento de Ordenación del Territorio y Medio Ambiente del Gobierno Vasco. Disponible en: http://www4.gipuzkoa.net/sostenibilidad/archivos/Documentos/5152006123627%20PM_es.pdf
- ☞ US Census Bureau, 2000. USA Fact Sheet. Disponible en: http://factfinder.census.gov/servlet/SAFFFacts?_event=&geo_id=01000US&_geoContext=01000US&_street=&_county=&_cityTown=&_state=&_zip=&_lang=en&_sse=on&ActiveGeoDiv=&_useEV=&pctxt=fph&pgsl=010&_submenuId=factsheet_1&ds_name=

ACS_2006_SAFF&_ci_nbr=null&q_r_name=null®=null%3Anull&_keyword=&_industry=

- ☞ JICA, 1999. *Estudio para el manejo de los residuos sólidos para la Ciudad de México. Agencia de Cooperación Internacional del Japón (Vol. I) Kokusai Kogyo Co., LTD.* Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/rsolidos/06/01clave.pdf>
- ☞ Natalini, Mario; Klees, Delia R., 2000. Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición. Universidad Nacional del Nordeste. Argentina. Disponible en: http://www.unne.edu.ar/cyt/2000/7_tecnologicas/t_pdf/t_013.pdf
- ☞ INAFED, 2007. Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Saneado el 98% del tiradero Rincón Verde. Noticia disponible en: http://www.e-local.gob.mx/wb2/INAFED2006/INAF_Enero18#estadodemexico2
- ☞ El universal, 2006. Deslave de basura ocasiona el cierre de una carretera. Noticia disponible en: <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad/76902.html>
- ☞ LA UNIÓN EUROPEA, 2007. Recuperado el 15 de mayo de 2007. Disponible en: <http://club.telepolis.com/geografo/regional/europa/UE.htm>
- ☞ EPA, 2004. RCRA IN FOCUS. Construction, Demolition and Renovation. Solid Waste and Emergency Response. Disponible en: <http://yosemite.epa.gov/osw/rcra.nsf/topics!OpenView&Start=1&Count=1000&Expand=18#18>
- ☞ PAOT, 2004. Informe 2004, Capítulo III Valoración de los primeros resultados. México. Disponible en: <http://www.paot.org.mx/centro/paot/informe2004/documentos/captres.html>
- ☞ NRMCA, 2003. National Ready Mixed Concrete Association. Concreto Estructural de Peso Liviano. Disponible en: http://nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP_36_ES_p.pdf
- ☞ ATSDR, Septiembre de 2001. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Asbesto (Amianto) ToxFAQs. Disponible en: http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts61.html
- ☞ Agostini, Arelys, 2007. Asbesto: un Asesino Corporativo peor que el Tabaco. Recuperado el 25 de octubre de 2007, de:

<http://www.educar.org/comun/articulos/asbestos.asp#Peligros>

- ☞ OSHA, 2002. Departamento de Trabajo de los EUA, Administración de Seguridad y Salud Ocupacional. Asbesto, Hoja Informativa. Disponible en:
http://www.osha.gov/OshDoc/data_AsbestosFacts/asbestos-factsheet-spanish.pdf
- ☞ Construction & Demolition Waste Management & Sustainable Building Design - P2 Opportunities . Disponible en:
<http://wrrc.p2pays.org/p2rx/subsection.cfm?hub=447&subsec=4&nav=4&CFID=1348839&CFTOKEN=28509955>
- ☞ Ambientum, 2001. Reciclaje de residuos de construcción. Disponible en:
http://www.ambientum.com/revista/2001_18/2001_18_SUELOS/RCRSCNS4.htm
- ☞ Nicholas J. Garber, Lester A. Hoel, 2005. Ingeniería de tránsito y carreteras. Tercera edición. Editorial Thomson. Disponible en:
<http://books.google.com.mx/books?vid=ISBN9706863648&id=G9zxVrbzctcC&pg=PA223&lpg=PA223&ots=XwAmtlQA8m&dq=qu%C3%A9+es+un+camino+secundario%3F&sig=rL6lGw5c9nZbGVhaGf98AV4qAlo#PPP1,M1>
- ☞ Bolumburu Ana, 2004. Noticia: UN ESTUDIO PRESENTA LOS BENEFICIOS DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS CON ÁRIDOS RECICLADOS. Disponible en:
<http://www.puc.cl/noticias/ficha/pub1131.html>
- ☞ Davis, 2003. Recycling Construction Debries. Disponible en:
www.architectureweek.com
- ☞ Biocycle, 2003. Survey statistics “Analyzing what is recyclable in C&D debris”. Disponible en: www.biocycle.com
- ☞ Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. SEMARNAT. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA). [Versión electrónica]. México D.F. Recuperado el 18 de Agosto de 2005, de <http://portal.semarnat.gob.mx/semarnat/portal>

- œ Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) [Versión electrónica]
- œ Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (LRSDF) [Versión electrónica]
- œ Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Impacto Ambiental [Versión electrónica]
- œ Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos [Versión electrónica]
- œ Norma Ambiental del Distrito Federal NADF-007-RNAT-2004 [Versión electrónica]
- œ Integrated Waste Management Board. State Waste Characterization Study, California USA, December 2004. [Versión electrónica]. Recuperado el 11 de diciembre de 2006, de <http://www.ciwmb.ca.gov/Publications/>
- œ Secretaría de Medio Ambiente. Planes de Manejo de Residuos Sólidos. México, septiembre de 2004. Disponible en: www.sma.df.gob.mx
- œ USEPA, 1998. Characterization of Building-Related Construction and Demolition Debris in the United States. Disponible en: <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/sqg/c&d-rpt.pdf>
- œ El uso de residuos en la construcción, disponible en: <http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc33/inti3.php>
- œ Producción de residuos de construcción y reciclaje, disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n2/aconst1.html>
- œ Plan Nacional de Residuos de Construcción y Demolición, disponible en: <http://www.gea-es.org/bioconstruccion/planresconstr.html>
- œ Reciclado de residuos de construcción, Waste magazine, disponible en: <http://waste.ideal.es/inertes.htm>

- ☞ INE, SEMARNAT, 1999. Minimización y Manejo ambiental de los residuos sólidos.
- ☞ Yarim Rodríguez, México. Construcción de subbases. Recuperado el 1º de abril de 2007. Disponible en <http://www.arqhys.com/construccion/subbase-construccion.html>
- ☞ SENER, CONAE, 24 de abril de 2002. Subcomisión para el ahorro de energía en el transporte. Recuperado el 1º de abril de 2007. Disponible en:
- ☞ <http://www.conae.gob.mx/work/sites/CONAE/resources/LocalContent/4386/3/siete240402.pdf>
- ☞ Cortinas, Cristina. Bases para integrar planes de manejo de residuos de la construcción. Red Queretana de Manejo Ambiental de los Residuos de la Construcción. Recuperado el 18 de mayo de 2007. Disponible en: www.reqmar.org
- ☞ Alarcón, Ingrid; Alva, Jorge. Ensayos de permeabilidad en materiales de baja permeabilidad compactados. Ponencia presentada en el XII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Huanuco, Perú, 1999.
- ☞ Ramírez, Aurelio. Construcción Verde España. Consejo. La Construcción sostenible. (España, 2006)
- ☞ Normativa para la Infraestructura del Transporte, SCT. Última actualización: 19/12/2005. Disponible en: <http://normas.imt.mx/default.htm>
- ☞ WRRRC. The DoD - Construction and Demolition Topic: P2 Opportunities. Construction & Demolition Waste Management & Sustainable Building Design - P2 Opportunities. Disponible en: [www. P2rx.org](http://www.P2rx.org). (USA, 2005)
- ☞ Martínez, Carlos Manuel. Impacto de la nueva Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Revista: Temas no fiscales para fiscalistas. (México, 2004)