

148
PRICES SUBJECT TO CHANGE

1228

PB 222 001

COMBUSTION PRODUCTS FROM THE INCINERATION
OF PLASTICS

Michigan University

Prepared for

Environmental Protection Agency

]973

DISTRIBUTION STATEMENT A

Approved for public release;
Distribution Unlimited

DISTRIBUTED BY:

NTIS

National Technical Information Service
U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE

19960424 053

PLASTECH

22316

DTIC QUALITY INSPECTED 1

BIBLIOGRAPHIC DATA SHEET	1. Report No. EPA-670/2-73-049	2.	3. Recipient's Accession No. PB 222-001
4. Title and Subtitle COMBUSTION PRODUCTS FROM THE INCINERATION OF PLASTICS			5. Report Date 1973-issuing date
7. Author(s) E. A. Boettner, G. L. Ball, and B. Weiss			6.
9. Performing Organization Name and Address University of Michigan School of Public Health Environmental and Industrial Health Ann Arbor, Michigan 48104			8. Performing Organization Rept. No.
12. Sponsoring Organization Name and Address U.S. Environmental Protection Agency National Environmental Research Center Office of Research & Development Cincinnati, Ohio 45268			10. Project/Task/Work Unit No.
15. Supplementary Notes			11. Contract/Grant No. EP-00386
16. Analysis of the combustion products of plastics was undertaken for three reasons: to provide scientists and engineers with information needed to design incinerators in order to maximize their efficiency while minimizing maintainance and pollution; to identify products of incomplete combustion potentially recoverable for their fuel or crude chemical value; and to identify products of incomplete combustion which would be acutely toxic in an accidental fire. Plastics studied were polyvinyl chloride, polysulfone, polyurethanes, polyimide, Lopac ^R , Barex ^R , phenol formaldehyde, urea formaldehyde, polyethylene, polypropylene, polystyrene, polycarbonate, polyphenylene oxide, polyester, synthetic fabrics (Dacron ^R , Orlon ^R , nylon), and natural products (wood and wool). One- to three-gram samples were heated at a controlled rate from 5 to 50 C/min in the presence of a measured flow of air or air plus oxygen. By this method plastics were never completely combusted to carbon dioxide and water, but rather generated large numbers of gaseous and condensed products. Additional gaseous products included straight-chain saturated and unsaturated hydrocarbons through hexane, aromatic hydrocarbons, hydrogen chloride, sulfur dioxide, cyanides, ammonia, and oxides of nitrogen. Liquefied fractions produced by most plastics were complex mixtures of 10 to 50 compounds, including heterocyclic and polycyclic hydrocarbons.			
17. Key Words and Document Analysis. 17a. Descriptors *Combustion, *Plastics, *Incinerators, Air pollution, Maintenance, Identifying, Fuels, Chemical properties, Toxicity, Fires, Oxygen, Samples, Heat, Air, Condensing, Hydrocarbons, Polyvinyl chloride, Polyethylene, Polypropylene, Polystyrene, Synthetic fibers, Natural fibers			
17b. Identifiers/Open-Ended Terms Solid waste disposal, Resource recovery, Gaseous products, Polysulfone, Polyurethanes, Polimide, Polycarbonate, Polyphenylene oxide, Polyester, Lopac ^R , Barex ^R , Phenolformaldehyde, Urea formaldehyde			
17c. COSATI Field/Group 13-B, 11-E			
18. Availability Statement Release to public			
19. Security Class (This Report) UNCLASSIFIED		21. No. of Pages	
20. Security Class (This Page) UNCLASSIFIED		22. Price	

REVIEW NOTICE

The Solid Waste Research Laboratory of the National Environmental Research Center - Cincinnati, U.S. Environmental Protection Agency, has reviewed this report and approved its publication. Approval does not signify that the contents necessarily reflect the views and policies of this laboratory or of the U.S. Environmental Protection Agency, nor does mention of trade names or commercial products constitute endorsement or recommendation for use.

The text of this report is reproduced by the National Environmental Research Center, Cincinnati, in the form received from the Grantee; new preliminary pages have been supplied.

FOREWORD

Man and his environment must be protected from the adverse effects of pesticides, radiation, noise and other forms of pollution, and the unwise management of solid waste. Efforts to protect the environment require a focus that recognizes the interplay between the components of our physical environment--air, water, and land. The National Environmental Research Centers provide this multidisciplinary focus through programs engaged in

- studies on the effects of environmental contaminants on man and the biosphere, and
- a search for ways to prevent contamination and to recycle valuable resources.

In an attempt to investigate the problems of solid waste disposal and pollution, this study analyzed combustion products of plastics. Special consideration was given to technical information and incomplete combustion.

A. W. Breidenbach, Ph.D.
Director
National Environmental
Research Center, Cincinnati

ABSTRACT

Analysis of the combustion products of plastics was undertaken for three reasons: to provide scientists and engineers with information needed to design incinerators in order to maximize their efficiency while minimizing maintenance and pollution, to identify products of incomplete combustion potentially recoverable for their fuel or crude chemical value; and to identify products of incomplete combustion which would be acutely toxic in an accidental fire. Plastics studied were polyvinyl chloride, polysulfone, polyurethanes, polyimide, Lopac^R, Barex^R, phenol formaldehyde, urea formaldehyde, polyethylene, polypropylene, polystyrene, polycarbonate, polyphenylene oxide, polyester, synthetic fabrics (Dacron^R, Orlon^R, nylon), and natural products (wood and wool). One-to three-gram samples were heated at a controlled rate from 5 to 50 C/min in the presence of a measured flow of air or air plus oxygen. By this method plastics were never completely combusted to carbon dioxide and water, but rather generated large numbers of gaseous and condensed products. Additional gaseous products included straight-chain saturated and unsaturated hydrocarbons through hexane, aromatic hydrocarbons, hydrogen chloride, sulfur dioxide, cyanides, ammonia, and oxides of nitrogen. Liquefied fractions produced by most plastics were complex mixtures of 10 to 50 compounds, including heterocyclic and polycyclic hydrocarbons.

TABLE OF CONTENTS

Abstract	iv
Figures	vii
Tables	xii
Conclusions	1
Recommendations	2
Introduction	3
Methodology	6
Polyvinyl Chloride	19
Polysulfone	36
Polyurethanes	47
Polyimide	57
Lopac ^R	63
Barex ^R	68
Urea Formaldehyde	73
Phenol Formaldehyde	76
Polyethylene	80
Polypropylene	87
Polystyrene	90
Polycarbonate	94
Polyphenylene Oxide	106
Polyester	123
Synthetic Fabrics (Dacron ^R , Orlon ^R , Nylon)	124
Natural Products (Wood and Wool)	132
Acknowledgments	135
References	136
Publications Resulting From Research	140

TABLE 33
IDENTIFICATION OF WOOD CHROMATOGRAM PEAKS

Scan Number	Molecular Weight	Identification
1	44	Carbon dioxide
2	28	Ethylene
3	30	Ethane
4	18	Water
5	--	Unidentified
6	42	Propylene
7	32	Methanol
	44	Propane
8	32	Methanol
	50	1,3-Butadiyne?
	52	1-Buten-3-yne?
9	44	Acetaldehyde
10	60	n-Propanol
11	54	Butadiene
	56	Butene or Isobutene
12,13	56	Butene (Isomer?)
14	56	Butene (Isomer?)
15	58	Butane
	68	Pentadiene

TABLE 2
IDENTIFICATION OF POLYVINYL CHLORIDE CHROMATOGRAM PEAKS

Peak no.	Identification
1	Methane
2	Ethylene
3	Ethane
4	Propylene
5	Propane, Methyl chloride
6	Vinyl chloride
7	1-Butene, Isobutane, Butadiene
8	Butane
9,10	trans-2-Butene, cis-2-Butene
11	3-Methyl-1-butene
12	Isopentane, 1,4-Pentadiene
13	1-Pentene
14	Pentane
15,16	trans-2-Pentene, cis-2-Pentene
17	2-Methyl-2-butene
18	cis or trans-1,3-Pentadiene
19	cis or trans-2-Penten-4-yne
20	Cyclopentene
21	Cyclopentane
22	2-Methylpentane
23	1-Hexene, 3-Methylpentane
24	Hexane
25	2-Hexene
26	Methylcyclopentane
27	1-Methylcyclopentene
28	Benzene
29	Cyclohexane
30	1-Heptene
31	1,4-Dimethylcyclopentene*
32	Heptane
33	Unidentified
34	3-Ethylcyclopentene
35	Methylcyclohexane
36	Ethylcyclopentane
37	1,2-Dimethylcyclopentene
38	1-or 4-Ethylcyclopentene
39	1-Methylcyclohexene
40	Toluene
41,42	Unidentified
43	Octane
44-47	Unidentified
48	Ethylbenzene
49-51	o-, m-, p-Xylene

*Tentative

TABLE 5
IDENTIFICATION OF POLYSULFONE RESIDUE CHROMATOGRAM PEAKS

Peak Number	Molecular Weight	Identification
1	92	Toluene
2	106	Ethylbenzene (or Xylene)
3	104	Styrene
4	120	Methyl ethylbenzene*
	126	Chlorotoluene?
5	106	Benzaldehyde
	118	Benzofuran
	116	Indene
6	132	Methylbenzofuran
	130	Methylindene
	120	Trimethylbenzene*
7	128	Naphthalene
	142	Methylnaphthalene
8	94	Phenol†
	154	Biphenyl
9	170	Diphenyl ether (or Phenyl phenol)
10	108	Cresol
11	168	Dibenzofuran
	184	Phenyl-p-tolyl ether†
	156	Dimethylnaphthalene
	122	Ethylphenol
12	198	aryl-Ethylphenyl phenyl ether*
13	212	2-Hydroxyphenyl-2-phenyl propane
14	226	Unidentified
15	224	Unidentified

* Or isomer

† Major component

TABLE 9
COMBUSTION PRODUCTS OF POLYURETHANE FOAMS A AND B
AT SEVERAL COMBUSTION CONDITIONS

Air flow, cc/min	100	100	100
Oxygen flow, cc/min	0	40	0
Heating rate, C/min	5	5	50
Foam A			
Carbon dioxide*	712.	661.	533.
Carbon monoxide	193.	207.	169.
Cyanide ion (as HCN)	46.2	34.6	19.3
Ammonia	1.60	4.42	0.24
Methane	1.73	2.02	21.2
Ethylene	1.95	3.55	16.9
Ethane	0.18	0.60	3.9
Propylene	2.31	10.55	67.3
Propane	0.22	0.60	7.3
Methanol	13.2	9.3	6.6
Acetaldehyde	17.7	20.5	10.2
Propionaldehyde	7.2	13.7	7.8
Acetone	13.6	14.0	12.5
%Nitrogen accounted for	53.3	45.4	21.1
%Plastic accounted for	38.3	38.2	42.8
Foam B			
Carbon dioxide	657.	568.	521.
Carbon monoxide	116.	159.	211.
Cyanide ion (as HCN)	40.5	32.7	19.3
Ammonia	N.A.†	N.A.	N.A.
Methane	1.86	2.23	21.6
Ethylene	2.32	4.01	17.6
Ethane	0.33	0.73	5.0
Propylene	2.84	10.40	42.8
Propane	0.30	0.40	10.7
Methanol	13.6	4.7	14.2
Acetaldehyde	18.2	20.9	28.5
Propionaldehyde	7.5	17.7	21.9
Acetone	15.2	15.6	34.3
% Nitrogen accounted for	45.5	36.7	21.6
%Plastic accounted for	33.1	33.2	44.8

*The quantity of each combustion product is reported in milligrams per gram of sample.

†Not analyzed.

TABLE 19
COMBUSTION PRODUCTS OF LOW-DENSITY POLYETHYLENE (POWDER)
AT SEVERAL COMBUSTION CONDITIONS

Air flow, cc/min	100	100	100
Oxygen flow, cc/min	0	40	0
Heating rate, C/min	5	5	50
Carbon dioxide*	88.	1610.	178.
Carbon monoxide	312.	171.	110.
Methane	10.4	6.82	16.8
Ethylene	39.6	33.4	70.4
Ethane	4.65	2.83	11.2
Propylene	29.4	14.0	33.1
Propane	5.06	2.58	7.25
1-Butene	16.7	7.65	19.0
Butane	4.15	2.35	6.45
trans-2-Butene	5.68	4.23	9.0
cis-2-Butene	0.95	0.50	1.41
1-Pentene	9.13	4.30	11.8
Pentane	2.28	1.06	3.35
1,3-Pentadiene?	23.0	8.44	32.0
1-Hexene	10.0	4.92	14.7
2-Hexene	4.11	2.04	5.72
%Plastic accounted for	32.3	60.7	33.8

*The quantity of each combustion product is reported in milligrams per gram of sample.

using a five-foot-long, 1/4-in.-diameter column of low K¹ Durapak resulted in a chromatogram composed of about ten peaks spaced in a pattern characteristic of a homologous series of compounds. Chromatographic retention times of the peaks matched well with those of C₈-to C₂₄-saturated hydrocarbons, but identifications could not be made by mass spectrometry because the molecular ions, and thus the molecular weights of the compounds, could not be determined. Molecular ions of hydrocarbons often do not appear in mass spectra, as they are very much less likely to form than fragmentation ions. A homologous series of unsaturated hydrocarbons would actually seem more likely to form than one of saturated hydrocarbons from polyethylene combustion.

Quantitative analysis. Carbon dioxide and carbon monoxide were quantitated by infrared spectrophotometry. Most of the hydrocarbon products were quantitated by gas chromatography on the same columns

Discussion

The major component of polystyrene combustion in both the gas and liquid phases is the monomer styrene, although many other compounds are present in significant amounts. There is considerable potential for monomer recovery, as mentioned in a recent TRW report.³³ Aromatic liquid-residue components are chemically quite interesting, as well as potentially toxic.

TABLE 23
IDENTIFICATION OF POLYSTYRENE LIQUID RESIDUE CHROMATOGRAM PEAKS

Peak Number	Molecular Weight	Identification
1	78	Benzene
2	92	Toluene
3	106	Ethylbenzene
4,5	104	Styrene
6	106	Benzaldehyde
	118	Methylstyrene
7	94	Phenol
8	118	Methylstyrene
9	120	n-Propyl benzene
10	116	Indene
11	120	Acetophenone
12	130	Methyl indene
13	---	Unidentified
14	128	Naphthalene
15	134	Cinnamyl alcohol
16	142	Methylnaphthalene
17,18	154	Biphenyl or Acenaphthene
19	168	Methylbiphenyl
20	182	Diphenylethane

TABLE 24

IDENTIFICATION OF POLYCARBONATE RESIDUE CHROMATOGRAM PEAKS

Peak Number	Molecular Weight	Identification
1	78	Benzene
2	92	Toluene
3	106	Ethylbenzene or Xylene
4	104	Styrene
5	102	Phenylacetylene
6	120	Isopropyl benzene or Ethyl toluene
7	118	Isopropenyl benzene
8	118	Indan (2,3-Dihydroindene)
9	116	Indene
10	134	sec-Butyl benzene or isomer
11	132	Methylindan
12	132	Cinnamaldehyde or Vinyl benzaldehyde
13	130	Methylindene
14	128	Naphthalene
15	136	O-Phenylene cyclic carbonate
	146	Dimethylindan or Ethylindan
16	134	Methylacetophenone or Cymene
	144	2-Naphthol, 3-Phenylfuran or 2-Vinyl benzofuran
17	142	Methylnaphthalene
18	94	Phenol
19	154	Biphenyl
	168	Methylbiphenyl
	170	Diphenyl ether
20	108	Cresol
	152	O-Vanillin
21	122	Ethylphenol
	166, 168	Unidentified
	182	2-Ethylbiphenyl
	184	Phenyl-p-tolyl ether
22	136	Isopropyl phenol
	166	Unidentified
	182	Unidentified
	196, 198	Unidentified
23	150	Unidentified
	210, 212	Unidentified
24	228	Bisphenol A
	240	Unidentified
25	198?	Unidentified
	242	Unidentified
26	256	Unidentified
27	270	Unidentified
28	284	Unidentified

boiling organic compounds account for the remainder of the plastic.

TABLE 28
IDENTIFICATION OF POLYPHENYLENE OXIDE RESIDUE CHROMATOGRAM PEAKS

Peak Number	Molecular Weight	Identification
1	78	Benzene
2	92	Toluene
3	106	Ethylbenzene or Xylene
4	104	Styrene
5	120	Trimethylbenzene*
6	118	Indan
7	116	Indene
8	---	Unidentified
9	---	Unidentified
10	132	Phenyl propynyl ether*
11	134	o-Cymene*
	128	Naphthalene
12	136	o-Cresyl ethyl ether*
13	146	Dimethylindan
14	150	Unidentified
15	---	Unidentified
16	142	Methylnaphthalene
17	122	2,6-Dimethylphenol
18	108	o-Cresol
19	136	Trimethylphenol
20	122	2,4-Dimethylphenol
	166	2-(x-Xylyloxy) ethanol?
21	136	Trimethylphenol
22	196	Unidentified

*Or isomer.

Sample 1 was employed to test the effect of combustion conditions on amounts of products generated. Several runs were made using the 5-C/min heating rate and varying amounts of air. The first air supply was about half that required to convert all the carbon of the plastic to carbon dioxide. The second air supply, when integrated over the entire run, was just sufficient to convert all the carbon to carbon dioxide. The addition of pure oxygen to the third air supply provided an excess. Results are shown in Table 30. The run with deficient oxygen shows the least amount of carbon monoxide. This is explained by the fact that the plastic requires about a one-half-hour exposure at 800 C, the maximum temperature of our apparatus, to combust completely in this air

United States
Environmental Protection
Agency

Office of Research
and Development
Washington, DC 20460

149
EPA-600/R-97-115
October 1997



Emisiones al Aire de la Combustión de Llantas Usadas

Preparado para:

Office of Air Quality Planning and Standards

y
U.S. - México Centro Información sobre Contaminación de Aire/CICA

C I C A



ADVERTENCIA SOBRE LA REVISIÓN DE LA EPA

Este reporte ha sido revisado administrativamente por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. EPA. la cual lo ha aprobado para publicación. Mención de nombres de fábrica o productos comerciales no constituyen endorso o recomendación para su uso. Este documento está disponible para el público a través de el *National Technological Information Service* de los EE. UU.

PROLOGO

El Centro de Información sobre Contaminación de Aire (CICA) para la frontera de EE.UU. - México, fue establecido por la U.S. Environmental Protection Agency (EPA), Office of Air Quality Planning and Standards (OAQPS) para proveer asistencia y apoyo técnico en la evaluación de problemas de contaminación del aire a lo largo de la frontera. Estos servicios y productos son gratis para las Agencias Federales, Estatales y Locales como también para las Universidades de México. Otras entidades pueden usar estos servicios dependiendo de los recursos disponibles.

CICA provee acceso inmediato a información y tecnología de la EPA, mediante el personal de las oficinas de Planificación y Estándares de Aire, OAQPS, la oficina de investigación y desarrollo/ Office of Research and Development (ORD) y contratistas particulares.

SERVICIOS DEL CICA

CICA provee asistencia de las siguientes maneras:

LINEAS OF COMUNICACIÓN DEL CICA

CICA ofrece servicios de comunicación bilingüe (ingles & español) para tratar problemas de contaminación de aire a lo largo de la frontera.

Líneas de Información

- Teléfono de emergencia: (919) 541-1800.
- Servicio gratis desde México solamente: (800) 304-1115
- Fax: (919) 541-0242

Internet (WWW) Home Page

- <http://www.epa.gov/ttn/catc/cica/>

E-mail

Use el CICA Home Page o envíelo directamente a: catcmail@epamail.epa.gov

- ASISTENCIA DE INGENIERÍA/ GUÍA TÉCNICA
- DOCUMENTOS y HERRAMIENTAS para PROGRAMAS DE COMPUTADORA
- ASSISTANCE EN LÍNEA

Servicios y productos del Centro de Tecnología sobre Aire Limpio/clean Air Technology Center (CATC) WWW, incluyendo la base de datos; RACT/BACT/LAER Clearinghouse (RBLCL) su tecnología de control y prevención de la contaminación; Acceso a otros servicios de información y la red electrónica de EPA/Technology Transfer Network (TTN)

EPA-600/R-97-115
October 1997

EMISIONES AL AIRE DE LA COMBUSTION DE LLANTAS USADAS

Preparado por:

Joel I. Reisman
E.H. Pechan & Associates, Inc.
2880 Sunrise Boulevard, Suite 220
Rancho Cordova, CA 95742

EPA Contrato No. 68-D30035
Asignación de Trabajo No. III-111

Gerente de Proyecto:

Paul M. Lemieux
Air Pollution Technology Branch
Air Pollution Prevention and Control Division
National Risk Management Research Laboratory
U.S. Environmental Protection Agency
Research Triangle Park, NC 27711

Preparado para:

U.S.-México Centro Información sobre Contaminación de Aire/CICA

y
Office of Air Quality Planning and Standards
U.S. Environmental Protection Agency
Research Triangle Park, NC 27711

y
Office of Research and Development
U.S. Environmental Protection Agency
Washington, DC 20460

RESUMEN

Entre dos y tres mil millones ($2-3 \times 10^9$) de llantas usadas son dispuestas en rellenos sanitarios y en montones a través de los E.U.A., y aproximadamente una llanta usada por persona es generada cada año. Las llantas usadas representan tanto un problema de disposición como un posible recurso útil (es decir, como un combustible y en otras aplicaciones). De los muchos impactos negativos ambientales, tanto como de salud, que se asocian con las montones de llantas usadas, el presente estudio se enfoca a los siguientes temas: (1) examinar las emisiones al aire relacionadas a la quema a cielo abierto de llantas y sus impactos potenciales a la salud, y (2) difundir los datos de emisiones de las cámaras de combustión bien diseñadas que han utilizado llantas usadas como combustible.

Este estudio se trata de las emisiones al aire de dos tipos de combustión de llantas usadas: combustión no controlada y combustión controlada. Las fuentes no controladas son incendios de llantas a cielo abierto, las cuales producen compuestos insalubres llamados "productos incompletos de combustión" que se liberan directamente a la atmósfera. Las fuentes de combustión controladas, que se identifican en este reporte como "combustores", incluyen calderas y hornos específicamente diseñados para la combustión eficiente de combustible sólido.

En la actualidad, hay muy poca información acerca de las emisiones que provienen de equipos que cuentan con un diseño para utilizar llantas usadas como combustible. Estas fuentes constan de chimeneas, estufas que queman leña, hornos chicos, incineradores chicos, o cualquier aparato con malas características de combustión. Es probable que las emisiones al aire que provienen de estas fuentes estén entre las de la quema a cielo abierto y las de un combustor bien diseñado. Sin embargo, hay una preocupación muy seria que las emisiones sean más parecidas a las de los incendios de llantas a cielo abierto que las de un combustor.

Se presentan datos acerca de los incendios de llantas a cielo abierto. Se presentan datos que fueron recolectados en una serie de ensayos de laboratorio, que trataban de la quema incontrolada de trozos de llantas, y el monitoreo ambiental realizado alrededor de algunos incendios de llantas a cielo abierto. Se caracterizan estas emisiones. Se comparan las emisiones de compuestos mutagénicos liberadas durante la quema a cielo abierto de llantas usadas con las emisiones de compuestos mutagénicos liberadas durante la quema de otros combustibles en fuentes controladas y no controladas.

Se presentan una lista de 34 compuestos principales o "blancos", que representan el más alto de grado de efectos nocivos en la salud que arrojan los incendios de llantas al air libre. Se puede utilizar esta lista para diseñar un plan de monitoreo ambiental para evaluar los riesgos potenciales durante incidentes futuros.

Se revisan los métodos utilizados para prevenir y manejar incendios de llantas. Se presentan recomendaciones para el diseño de sitios de almacenamiento, evacuación de civiles, y técnicas para combatir incendios.

Se examinan datos de emisiones al aire provenientes de fuentes que utilizan llantas usadas como combustible. Se presentan los resultados de un programa de ensayos donde cuantificaron las emisiones provenientes de la quema de "combustible derivado de llantas" (TDF) [*tire-derived fuel*] en un horno rotatorio simulador de incineración (RKIS). Basado en los resultados del programa de muestras RKIS, se concluyó que, salvo con las emisiones de zinc, no se espera que las emisiones potenciales de la quema de TDF sean muy diferentes a las de la combustión de otros combustibles fósiles convencionales, siempre que la combustión se lleve a cabo en un combustor bien diseñado, bien operado, y bien mantenido.

Se presentan datos de muestras en chimenea de 22 fuentes industriales que han utilizado TDF: 3 hornos (2 cementeros y 1 de cal) y 19 calderas (central térmica, papel, y aplicaciones industriales generales). Por lo general, los resultados indican que combustores bien diseñados que actualmente queman combustible sólido pueden suplementar sus combustibles típicos (carbón, leña, y varios combinaciones de carbón, leña, combustóleo o diesel, coque, y lodo orgánico) con 10 a 20% TDF y seguir cumpliendo con los límites ambientales. Además, los resultados que provienen de una fuente donde queman nada más que TDF (100% TDF) indican que es posible tener emisiones mucho menor de las que emiten las calderas existentes que queman combustible sólido (on a heat input basis), cuando la fuente sea bien diseñada y controlada.

RECONOCIMIENTOS

Este documento fue preparado para el Sr. Paul M. Lemieux de *EPA's National Risk Management Research Laboratory (NRMRL)* por el Sr. Joel I. Reisman de *E. H. Pechan and Associates, Inc.*, Sacramento, CA. El autor querría agradecerle al Sr. Michael Blumenthal del *Scrap Tire Management Council* por su ayuda en la recolección de datos de muestras en chimenea y por sus referencias valiosas y acertados pensamientos en cuanto a la utilización de llantas usadas para propósitos útiles. También se extienden las gracias al Sr. Paul Ruesch, EPA Región 5, por proveer el autor de puntos de contacto y otros datos útiles. Los demás profesionales que aportaron ayuda valiosa son el Sr. Rich Nickle, *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*; el Sr. Paul Koziar, *Wisconsin Department of Natural Resources*; el Sr. Bruce Peirano, EPA ORD; el Sr. Alan Justice, *Illinois Department of Commerce and Community Affairs*; el Sr. Jim Daloia, *EPA Response and Prevention Branch*, Edison, NJ; y el Sr. Gary Foureman, *EPA National Center for Environmental Assessment*.

CONTENIDO

RESUMEN	ii
RECONOCIMIENTOS	iv
LISTA DE TABLAS Y FIGURAS	vi
ABREVIACIONES Y ACRONIMOS	vii
SUMARIO EXECUTIVO	ix
1.0 INTRODUCCION	1
2.0 EMISIONS DE INCENDIOS DE LLANTAS A CIELO ABIERTO	2
2.1 MUESTRAS TOMADAS EN EL LABORATORIO	2
2.2 MUTAGENICIDAD DE EMISIONES DE INCENDIOS DE LLANTAS	9
2.3 MUESTRAS DE CAMPO - DATOS DEL MONITOREO DEL AIRE CERCA DE INCENDIOS DE LLANTAS	12
2.4 ESTUDIOS DE CASOS	14
2.4.1 Rhinehart Incendio de Llantas - Winchester, VA	14
2.4.2 Somerset, Wisconsin incendio de llantas	17
2.5 PREVENCIÓN Y MANEJO DE INCENDIOS DE LLANTAS	22
2.5.1 Diseño del Sitios de Almacenamiento	22
2.5.2 Evacuación de Civiles	23
2.5.3 Técnicas para Combatir Incendios	23
2.6 COMPUESTOS "BLANCOS" EMITIDOS DE UN INCENDIO DE LLANTAS ..	24
3.0 LLANTAS COMO COMBUSTIBLE	32
3.1 Simulación en Laboratorio de Emisiones de TDF	32
3.2 Muestras en Chimenea - Centrales Térmicas y Fuentes Industriales	40
4.0 REFERENCIAS	44
APENDICES: DATOS DE EMISIONES DE LA QUEMA CONTROLADA DE LLANTAS	A-1

LISTA DE TABLAS Y FIGURAS

Tablas

1. EMISIONES DE LA QUEMA A CIELO ABIERTO: COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES	3
2. EMISIONES DE LA QUEMA A CIELO ABIERTO: COMPUESTOS ORGANICOS SEMI-VOLATILES	5
3. QUEMA A CIELO ABIERTO: RESUMEN DE EMISIONES DE ORGANICOS TOTALES	7
4. QUEMA A CIELO ABIERTO: EMISIONES DE PAH	8
5. QUEMA A CIELO ABIERTO: EMISIONES DE PARTICULAS	10
6. QUEMA A CIELO ABIERTO: EMISIONES DE METALES	11
7. QUEMA A CIELO ABIERTO: CONCENTRACIONES AMBIENTALES < 305 m (1000 ft) VIENTO ABAJO	15
8. QUEMA A CIELO ABIERTO: CONCENTRACIONES AMBIENTALES > 305 m (1000 ft) VIENTO ABAJO	16
9. CONCENTRACIONES DE PAH EN EL PENACHO - RHINEHART INCENDIO DE LLANTAS	18
10. COMPARACION DE CONTAMINANTES DETECTADOS A LOS LIMITES TLV Y IDLH	20
11. CONCENTRACIONES MAXIMAS DE LOS DATOS DE LA EPA	26
12. COMPUESTOS BLANCOS POR CRITERIO	28
13. CONCENTRACIONES MAXIMAS REPORTADAS PARA LOS COMPUESTOS CARCINOGENICOS	29
14. COMPUESTOS CON CONCENTRACIONES MAXIMAS REPORTADAS QUE EXCEDEN 33% DE SUS TLVs	30
15. COMPUESTOS CON CONCENTRACIONES MAXIMAS REPORTADAS QUE EXCEDEN UN RFC SUBCRONICO O CRONICO	30
16. ANALISIS COMPARATIVA DE COMBUSTIBLE POR PESO (JONES, 1990)	33
17. ANALISIS PROXIMO Y ULTIMO DEL TDF UTILIZADO EN EL RKIS	35
18. ESTIMACIONES DE EMISIONES DE COVs - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL RKIS (COMBUSTIBLE DE BASE - GAS NATURAL)	36
19. ESTIMACIONES DE EMISIONES DE METALES - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL RKIS (COMBUSTIBLE DE BASE - GAS NATURAL)	38
20. CONCENTRACIONES DE PARTICULAS (PM) - PROGRAMA DE MUESTRAS RKIS	39
21. EMISIONES DE CONTAMINANTES CRITERIOS DE LAS CENTRALES TERMICAS UTILIZANDO TDF	41

Figuras

1. FACTORES DE EMISIONES MUTAGENICAS PARA VARIOS PROCESOS DE COMBUSTION	13
---	----

ABREVIACIONES AND ACRONIMOS

ATSDR	Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades [Agency for Toxic Substances and Disease Registry]
AWMA	Asociación de la Administración de Aire y Desechos [Air and Waste Management Association]
BaP	benzo(a)pireno [benzo(a)pyrene]
BTU	Unidad Termal Británica [British thermal unit]
CTPV	volátiles de brea de carbón [coal tar pitch volatiles]
EPA	Agencia de Protección del Medio Ambiente de los E.U.A. [U.S. Environmental Protection Agency]
ERT	Equipo de Respuesta a Emergencias [EPA's Emergency Response Team]
ESP	precipitador electrostático [electrostatic precipitator]
GC/MS	cromatografía de gas/espectroscopía de masa [gas chromatography/mass spectroscopy]
HAP	contaminante tóxico [hazardous air pollutant]
HPLC	cromatografía líquida de alta presión [high-pressure liquid chromatography]
IAFC	Asociación Internacional de Jefes de Bomberos [International Association of Fire Chiefs]
IDLH	Peligro Inminente a la Vida y Salud [Immediately Dangerous to Life and Health]
NAAQS	Estándares Nacionales de Calidad del Aire Ambiental [National Ambient Air Quality Standard]
NIOSH	Instituto Nacional para la Salud y Seguridad Ocupacional [National Institute for Occupational Safety and Health]
NSP	Northern States Power [nombre propio de compañía de centrales térmicas]
PAH	hidrocarburo aromático polinuclear [polynuclear aromatic hydrocarbon]
PCB	bifenilo policlorado [polychlorinated biphenyl]
PCDD	p-dibenzodioxinas policloradas [polychlorinated p-dibenzodioxins]
PCDF	p-dibenzofuranos policlorados [polychlorinated dibenzofurans]
PIC	productos de combustión incompleta [product of incomplete combustion]
PM	partículas [particulate matter]
PM ₁₀	partículas menos de 10 µm en diámetro aerodinámico [particulate matter less than 10 µm in aerodynamic diameter]
PNA	hidrocarburo aromático polinuclear [polynuclear aromatic hydrocarbon]
RfC	concentración de referencia para inhalación [inhalation reference concentration]
RKIS	horno rotatorio simulador de incineración [rotary kiln incinerator simulator]
STMC	Consejo de Manejo de Llantas Usadas [Scrap Tire Management Council]
TDF	combustible derivado de llantas [tire-derived fuel]

(a continuación)

ABREVIACIONES AND ACRONIMOS (a continuación)

TLV	nivel del inicio de efectos nocivos en ambientes ocupacionales <i>[threshold limit value]</i>
TPCHD	Departamento de Salud del Condado de Tacoma-Pierce <i>[Tacoma-Pierce County Health Department]</i>
TSP	partículas suspendidas totales <i>[total suspended particulate]</i>
TWA	promedio a través del tiempo <i>[time-weighted average]</i>
UPA	United Power Association <i>[nombre propio de compañía de centrales térmicas]</i>
VOC	compuesto orgánico volátil <i>[volatile organic compound]</i>
VOST	Trén de monitoreo para compuestos orgánicos volátiles <i>[Volatile Organic Sampling Train]</i>
WDNR	Departamento de Recursos Naturales del Estado de Wisconsin <i>[Wisconsin Department of Natural Resources]</i>
WP&L	Wisconsin Power and Light <i>[nombre propio de compañía de centrales térmicas]</i>

SUMARIO EJECUTIVO

De dos a tres mil millones ($2-3 \times 10^9$) llantas usadas son dispuestas en rellenos sanitarios y en montones a través de los E.U.A., y aproximadamente una llanta usada por persona es generada cada año. Llantas usadas representan tanto un problema de disposición como un posible recurso útil (es decir, como combustible y otras aplicaciones). De los muchos impactos negativos ambientales, como de salud, que se asocian con las montones de llantas usadas, el presente estudio se enfoca a los siguientes temas: (1) examinar las emisiones al aire relacionadas a la quema a cielo abierto de llantas y sus impactos potenciales a la salud, y (2) difundir los datos de emisiones de las cámaras de combustión (es decir, combustores) bien diseñadas que han utilizado llantas usadas como combustible.

Este estudio se trata de las emisiones al aire de dos tipos de combustión de llantas usadas: combustión no controlada y combustión controlada. Las fuentes no controladas son incendios de llantas a cielo abierto, los cuales producen compuestos insaludables llamados "productos incompletos de combustión" que se liberan directamente a la atmósfera. Las fuentes de combustión controladas (los combustores) incluyen calderas y hornos específicamente diseñados para la combustión eficiente de combustible sólido. Las emisiones de los combustores son mucho menor las de las fuentes no controladas, y normalmente los combustores tienen aparatos apropiados para el control de las emisiones de partículas.

En la actualidad, hay muy poca información acerca de las emisiones que provienen de equipos que cuentan con un diseño pobre para utilizar llantas usadas como combustible. Estas fuentes constan de chimeneas, estufas que queman leña, hornos chicos, incineradores chicos, o cualquier aparato con malas características de combustión. Es probable que las emisiones al aire que provienen de estas fuentes estén entre las de la quema a cielo abierto y las de un combustor bien diseñado. Hay una preocupación muy seria que las emisiones sean más parecidas a las de los incendios de llantas a cielo abierto que las de un combustor. Sin embargo, se tendría que tomar muestras de las emisiones para confirmar esto.

Incendios de Llantas a Cielo Abierto

Se ha demostrado que las emisiones al aire provenientes de la quema de llantas a cielo abierto son más tóxicas, por ejemplo mutagénicas, que las provenientes de un combustor, sin considerar el combustible. Las emisiones provenientes de la quema de llantas a cielo abierto incluyen: contaminantes "criterio", tales como partículas, monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Estos también incluyen contaminantes peligrosos "no criterio" (HAPs), tales como hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), dióxinas, furanos, cloruro de hidrógeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBs); y metales tales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo, y vanadio. Ambas formas de emisiones, criterios and HAP, de un incendio de llantas a cielo abierto pueden representar peligros agudos (a corto plazo) y crónicos (a largo plazo) para la salud de los bomberos y los residentes cercanos. Dependiendo de la duración y grado de exposición, los efectos a la salud podrían incluir irritación a la

piel, ojos y membranas mucosas, trastornos a las vías respiratorias, sistema nervioso central, depresión y cáncer. Los bomberos y trabajadores que se desempeñan cercanos a un incendio grande de llantas se deberían equipar con equipo de protección personal, tales como respiradores especiales y protectores para la piel. La exposición sin protección al penacho (pluma) de humos visibles se debería evitar.

Se presentan los datos de: (1) pruebas de laboratorio de la quema a cielo abierto de trocitos de llantas; y (2) muestras de monitoreo ambiental de incendios de llantas a cielo abierto. También se presentan perfiles de emisiones de estos dos tipos de fuentes. Los datos de emisiones mutagénicas de la quema de llantas usadas a cielo abierto se han comparado con las emisiones de otros tipos de combustión. Se ha estimado que las emisiones de las quemas de llantas a cielo abierto son 16 veces más mutagénicas que la combustión de madera residencial (leña) en las chimeneas caseras y 13,000 veces más mutagénicas que las emisiones de carbón mineral en un equipo eficiente de combustión con controles anti-contaminantes.

Se ha desarrollado una lista de 34 compuestos principales, o "blancos", que representan el impacto potencial más grande que hay para las vías respiratorias derivadas de los incendios de llantas a cielo abierto. La lista fue desarrollada por medio del análisis de pruebas de laboratorio y datos colectados de nueve incendios de llantas. El listado puede ser usado para diseñar un plan de monitoreo con el propósito de evaluar los riesgos potenciales a la salud en eventos futuros.

Los métodos para la prevención y manejo de incendios de llantas se presentan en este reporte. Se presentan recomendaciones para el diseño de sitios de almacenamiento, evacuación a la población civil y tácticas de eliminación del fuego. Por ejemplo, los montones de llantas no deberán exceder los 6 m (20 pies) y 76 m (250 pies) de ancho. Los rompefuegos en el interior de la propiedad deberán tener una anchura de 18 m (60 pies) por lo menos. Los civiles deberán ser evacuados cuando estén expuestos al penacho de humo. Las tácticas de eliminación del fuego están delimitadas a incidentes específicos y los bomberos deberán recibir entrenamiento especializado para tratarlo bien.

Otros Impactos que Proviene de la Quema de Llantas a Cielo Abierto

El alcance de este reporte está limitado a las emisiones arrastradas por el aire. Sin embargo, se pueden generar cantidades significantes de líquidos y sólidos con contenidos químicos dañinos derivadas de la fundición de llantas. Estos productos pueden contaminar el suelo, la superficie del agua y los mantos acuíferos. Hay que tomar precauciones adecuadas para minimizar estos impactos también.

Combustión Controlada

Los resultados de las pruebas de laboratorio sobre incineración controlada del "combustible derivado de llantas" (TDF) en un horno rotatorio simulador de incineración (RKIS) son presentados. Se hicieron un total de 30 corridas, con el TDF variando de 0 a 21.4% del calor en la alimentación. Las condiciones de las pruebas se lograron variando el flujo del quemador del horno, el flujo de aire de combustión y el flujo de alimentación de las

llantas. La mayoría de las pruebas se llevaron a cabo en estado estable de alimentación de TDF. Sin embargo, las variaciones en el modo de la alimentación del TDF fueron simuladas en dos pruebas para evaluar el impacto de cambios transitorios en las emisiones a la atmósfera.

Basados en los resultados del programa de pruebas del RKIS, se concluyó que, con excepción de las emisiones de zinc, las emisiones potenciales del TDF no se espera que varíen mucho de la quema de combustibles fósiles convencionales, siempre que la combustión se lleve a cabo en cámaras de combustión bien diseñadas, bien operadas, y bien mantenidas. Sin embargo, como en el caso de la mayoría de los combustores que queman combustible sólido, es probable que se necesite un aparato para controlar las emisiones de partículas para obtener una licencia de funcionamiento ante las jurisdicciones en los E.U.A.

Se presentan datos de pruebas de 22 industrias que han usado TDF: 3 hornos (2 de cemento y uno de cal) y 19 calderas (centrales térmicas, pulpa y papel, y aplicaciones industriales generales). Todas las fuentes tenían algún tipo de control de partículas. Un resumen de datos de emisiones "criterio" de 7 calderas que han fundido varias cantidades de TDF como adición al combustible principal son presentados en la Tabla 2. En general, los resultados indican que las cámaras de combustión de combustibles sólidos propiamente diseñadas pueden suplementar sus combustibles normales, los cuales normalmente son de madera, carbón, coque, y varias combinaciones entre sí, con el 10 a 20% TDF y todavía satisfacer los límites de emisiones al ambiente. Además, los resultados que provienen de una fuente donde queman nada más que TDF (100% TDF) indican que es posible tener emisiones mucho menor de las que emiten las calderas existentes que queman combustible sólido (*on a heat input basis*), cuando la fuente sea bien diseñada y controlada.

Dependiendo del diseño de los equipos de combustión, en ocasiones es necesario dar otro procesamiento a las llantas antes de ser utilizadas como combustible. El procesamiento incluye el desalambrado y trituración y/o algunas otras técnicas para ajustar el tamaño. En algunos calderas y hornos de cemento especialmente diseñados, se han elaborado sistemas de alimentación que acepten llantas enteras.

Se ha utilizado TDF exitosamente en combustores bien diseñados con buen control de combustión y equipos anti-contaminantes apropiados, particularmente controles para partículas, tales como precipitadores electrostáticos o filtros de mangas. Las emisiones resultantes normalmente pueden satisfacer los límites ambientales vigentes aún cuando el TDF representa hasta 10 a 20% de los requisitos caloríficos. Se considera que veinte por ciento TDF es el límite tope en la mayor parte de los calderas existentes por limitaciones en las características del combustible o rendimiento. Sin embargo, combustores específicamente diseñados para quemar TDF como su único combustible han logrado flujos de emisiones mucho menor las de la mayoría de combustores de combustibles sólidos.

Conclusión

Las emisiones al aire de la quema de llantas a cielo abierto y del TDF quemado en combustores bien diseñados han sido documentadas. Se ha confirmado en estudios de laboratorio y estudios de campo que la quema a cielo abierto produce gases tóxicos que

pueden resultar en significantes impactos agudos y crónicos a la salud. Sin embargo, estudios de campo han confirmado que se puede usar TDF satisfactoriamente, en un 10 a 20% de la demanda calorífica total, como combustible suplementario en combustores propiamente diseñados y controles anti-contaminantes, es decir precipitadores electrostáticos o filtros de mangas. Además, un combustor específicamente diseñado para quemar TDF como su único combustible ha logrado flujos de emisiones mucho menor las de la mayoría de combustores de combustibles sólidos.

No hubo datos disponibles para los combustores que no agregaron equipo de control para partículas. Las pruebas de laboratorio de RKIS indicaron que la combustión eficiente de TDF suplementario puede destruir muchos contaminantes volátiles y semi-volátiles. Sin embargo, es poco probable que los combustores que queman combustible sólido puedan satisfacer los niveles de emisión requeridos en los E.U.A. sin controles para partículas.

No hubo datos disponibles de equipos diseñados empíricamente "hechizos" sin equipos de control adicional. Las emisiones al aire que se desprenden de estos equipos dependen del diseño, tipo de combustible, método de alimentación y otros parámetros. Hay una preocupación muy seria concerniente a que las emisiones puedan ser más parecidas a las que se desprenden de las quemas de llantas a cielo abierto que las que se desprenden de los combustores bien diseñados. Sin embargo, se tendría que tomar muestras en chimenea y analizarlas para confirmar esto.

1.0 INTRODUCCION

El propósito de este estudio es resumir la información disponible acerca de las emisiones al aire y los impactos potenciales en la salud de la combustión de llantas usadas. El estudio se trata de la quema incontrolada, por ejemplo de incendios de llantas, y la quema controlada, donde se utilizan llantas procesadas, o combustible derivado de llantas (TDF) [*tire-derived fuel*] como un combustible suplementario en una fuente de combustión como una caldera o horno. La quema controlada implica que se ha diseñado el sistema de una manera apropiada para quemar con eficiencia y además podría incluir otros controles para los contaminantes del aire, especialmente para el control de partículas.

Las emisiones al aire que produce la quema de llantas a cielo abierto incluyen los contaminantes "criterio", tales como partículas, monóxido de carbono (CO), óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), y compuestos orgánicos volátiles (COVs). Incluyen también los contaminantes peligrosos "no criterio" (HAPs), tales como hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs), dióxinas, furanos, cloruro de hidrógeno, benceno, bifenilos policlorados (PCBs); y metales como arsénico, cadmio, níquel, zinc, mercurio, cromo, y vanadio. Cuando se habla de incendios a cielo abierto, estas emisiones pueden representar peligros significativos a la salud de los bomberos y la gente que vive cerca, tanto peligros agudos (de corta duración) y peligros crónicos (de larga duración). Estos efectos insaludables pueden incluir irritación de la piel, ojos, y membranas mucosas, depresión del sistema nervioso central, efectos respiratorios, y cáncer.

Se ha utilizado el TDF exitosamente en los combustores diseñados adecuadamente con buen control de combustión y controles apropiados, en particular para partículas, tales como precipitadores electrostáticos (ESPs) o filtro de mangas. Las emisiones atmosféricas que caracterizan la combustión de TDF son típicas de la combustión de la mayoría de los combustibles sólidos, como carbón y leña. Las emisiones resultantes normalmente están por debajo de los límites ambientales, aún cuando el TDF representa de 10 a 20% del suministro de combustible. Veinte por ciento de combustible suplementario en forma de TDF se estima como el tope en la mayor parte de las calderas existentes debido a las limitaciones en el combustible o rendimiento (Clark et al., 1991). Sin embargo, las fuentes tipo "llantas-a-energía", las cuales están diseñadas específicamente para la quema de TDF como su único combustible, han logrado niveles de emisiones mucho menor de las de la mayoría de combustores que utilizan combustible sólido.

2.0 EMISIONES DE INCENDIOS DE LLANTAS A CIELO ABIERTO

Se ha sospechado desde hace mucho tiempo que las emisiones de los incendios de llantas a cielo abierto representan un serio impacto negativo a la salud y el medio ambiente. Sin embargo, debido a la falta de datos suficientes, no se sabía a ciencia cierta cuales eran los contaminantes emitidos, ni cuales cantidades se emitían, ni cual era el grado de peligrosidad asociado a estas emisiones, especialmente tomando en cuenta las personas sensibles (por ejemplo niños y los ancianos). En los años recientes, se han llevado a cabo algunos estudios de laboratorio y de campo para identificar y cuantificar estas emisiones. Se resumen en esta sección los resultados de algunos estudios claves, y además se tocan ciertos aspectos de la prevención y manejo de incendios de llantas.

2.1 MUESTRAS TOMADAS EN EL LABORATORIO

La EPA (Ryan, 1989) condujo un programa de muestras basado en una simulación controlada con el fin de identificar y cuantificar los productos orgánicos e inorgánicos de emisiones que se emitían durante la simulación de la quema de llantas a cielo abierto. Se documentó aún más este programa de muestras en un ponencia patrocinada por la *Air and Waste Management Association* [(AWMA) Lemieux and Ryan, 1993]. Se resume en detalle esta ponencia importante abajo.

Se quemaron cantidades pequeñas de 4.5 a 9 kilogramos {kg [10 a 20 libras (lb)]} de trozos por debajo de dos condiciones controladas en una "choza de incendios" equipada con un sistema de ventilación y monitores que medía 2.4 x 2.4 x 2.4 m [8 x 8 x 8 pies (ft)]. Se quemaban dos tamaños de material de llantas: "trozos," que andaban entre 1/6 a 1/4 de una llanta entera y "tira", donde los pedacitos medían 5 x 5 centímetros {cm [2 x 2 pulgadas (in)]}. Se utilizó el *Hazardous Air Pollutants Mobile Laboratory* de la EPA para monitorear los gases fijos de combustión. Se tomaron muestras de gases orgánicos utilizando el tren de muestreo para COVs (compuestos orgánicos volátiles) y otro tren de muestreo para compuestos semi-orgánicos utilizando resina XAD-2 y filtros para partículas. Se tomaron muestras de partículas para evaluar las concentraciones de metales y para cuantificar la cantidad de partículas menos de 10 micras (μm) en diámetro aerodinámico (PM_{10}). Se analizaron los componentes orgánicos utilizando cromatografía de gas/espectroscopía de masa (GC/MS), cromatografía de gas/detector ionizador de flama, y cromatografía líquida de alta presión (HPLC).

Se presentaron los resultados de este programa en las Tablas 1 a 4. Se presentan en la Tabla 1 dos promedios de tres muestras cada uno, uno para "trozos" y el otro para "tiras". Se tomaron las muestras utilizando un tren de muestreo para compuestos orgánicos volátiles (VOST). Se tomaba cada muestra en periodos diferentes de la quema. Se emitió grandes cantidades de benceno bajo ambas condiciones. La mayoría de las emisiones de COVs

TABLA 1. EMISIONES DE LA QUEMA A CIELO ABIERTO: COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES^{a,b} (SIMULACION DE LABORATORIO)

Compound	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
Benzaldehyde	0.260	299.2	0.5984	0.215	330	0.660
Benzene	1.910	2,156.3	4.3126	1.40	2,205	4.410
Benzodiazine	0.017	13.7	0.0274	0.014	17.4	0.0348
Benzofuran	0.049	25.1	0.0502	ND	ND	ND
Benzothiophene	0.014	26.3	0.0526	0.011	14.7	0.0294
1,3-Butadiene	0.152	308.4	0.6168	0.096	160	0.320
Cyclopentadiene	0.081	48.6	0.0972	ND	ND	ND
Dihydroindene	0.013	40.6	0.0812	0.021	42.8	0.0856
Dimethyl benzene	0.413	779.7	1.559	0.629	1,078	2.156
Dimethyl hexadiene	0.008	28.3	0.0566	0.049	90.9	0.182
Dimethyl methyl propyl benzene	ND	ND	ND	0.008	14.9	0.298
Dimethyl dihydroindene	0.007	22.0	0.0440	0.008	17.7	0.0354
Ethenyl benzene	0.678	941.8	1.88	0.395	611.4	1.223
Ethenyl cyclohexane	0.006	26.2	0.0524	0.060	107.6	0.2152
Ethenyl dimethyl benzene	0.014	7.2	0.014	0.014	23.7	0.0474
Ethenyl methyl benzene	0.016	14.1	0.0282	0.014	19.5	0.0390
Ethenyl dimethyl cyclohexane	ND	ND	ND	0.193	350.4	0.7008
Ethenyl methyl benzene	0.129	221.6	0.4432	0.028	40.9	0.0818
Ethyl benzene	0.182	460.8	0.9216	0.164	295.1	0.5902
Ethyl methyl benzene	0.120	334.5	0.6690	0.262	475.8	0.9516
Ethynyl benzene	0.322	190.0	0.3800	0.110	131.5	0.2630
Ethynyl methyl benzene	0.562	530.6	1.061	0.226	258.7	0.5174
Isocyanobenzene	0.341	348	0.696	0.191	290	0.580
Limonene	0.011	27.5	0.055	0.513	893	1.79
Methyl benzene	0.976	1,606	3.21	0.714	1,129	2.26
Methyl cyclohexane	0.005	21.1	0.420	0.023	40.1	0.080
Methyl hexadiene	0.021	71.3	0.143	0.068	127	0.254

(a continuación)

TABLA 1. EMISIONES DE LA QUEMA A CIELO ABIERTO: COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (SIMULACION DE LABORATORIO)
(a continuaci3n)

Compound	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
Methyl indene	0.138	316	0.632	0.087	140	0.280
Heptadiene	0.009	25.4	0.051	0.028	51.4	0.103
Methyl naphthalene	0.287	312	0.624	0.135	197	0.394
Methyl thiophene	0.006	5.5	0.011	0.007	12.6	0.025
Methyl ethenyl benzene	0.027	55.7	0.111	0.045	76.6	0.153
Methyl methylethenyl benzene	0.046	98.0	0.196	0.373	683	1.37
Methyl methylethyl benzene	0.041	111	0.222	0.165	283	0.566
Methyl methylethyl cyclohexane	ND	ND	ND	0.086	170	0.340
Methyl propyl benzene	ND	ND	ND	0.020	41.6	0.083
Methylene indene	0.038	48.5	0.097	0.022	34.4	0.069
Methylethyl benzene	0.045	135	0.270	0.092	169	0.338
Naphthalene	1.29	1,130	2.26	0.607	824	1.65
Pentadiene	0.077	164	0.388	0.680	1,163	2.33
Phenol	0.002	0.5	0.001	0.016	14.3	0.029
Propyl benzene	0.026	72.4	0.145	0.046	84.2	0.168
Tetramethyl benzene	ND	ND	ND	0.130	256	0.512
Thiophene	0.023	54.6	0.109	0.021	27.9	0.056
Trichlorofluoromethane	0.158	57.6	0.115	ND	ND	ND
Trimethyl benzene	0.022	46.9	0.0938	0.042	74.9	0.150
TOTALS	8.53	11.182	22.364	8.03	13.068	26.136

^a Concentrations determined using system responses to toluene.

^b These data are averaged over six sets of VOST tubes taken over 2 days.

ND = None detected.

TABLA 2. EMISIONES DE LA QUEMA A CIELO ABIERTO: COMPUESTOS ORGANICOS SEMI-VOLATILES

Compound	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
1-Methyl naphthalene	0.292	330.7	0.6614	0.133	227.6	0.4552
1,1' Biphenyl,methyl	0.013	11.1	0.0222	ND	ND	ND
1H fluorene	0.187	210.3	0.4206	0.183	308.4	0.6168
2-Methyl naphthalene	0.314	350.7	0.7014	0.255	429.2	0.8584
Acenaphthylene	0.580	633.8	1.267	0.318	531.1	1.062
Benzaldehyde	0.218	244.1	0.4482	0.180	333.9	0.6678
Benzisothiazole	ND	ND	ND	0.094	173.9	0.3478
Benz(b)thiophene	0.050	44.2	0.0884	ND	ND	ND
Biphenyl	0.186	209.5	0.4190	0.193	330.1	0.6602
Cyanobenzene	0.199	223.7	0.4474	0.300	516.8	1.034
Dimethyl benzene	0.254	305.0	0.6100	0.544	935.1	1.870
Dimethyl-naphthalene	0.034	41.1	0.082	0.096	178.1	0.3562
Ethyl benzene	0.181	205.2	0.4104	0.197	337.6	0.6752
Ethyl dimethyl benzene	ND	ND	ND	0.158	272.4	0.5448
Ethynyl benzene	0.254	275.8	0.5516	0.112	187.4	0.3748
Hexahydro-azepinone	0.062	75.1	0.150	0.445	748.5	1.497
Indene	0.462	503.4	1.007	0.201	339.2	0.6784
Isocyano- naphthalene	0.011	9.4	0.019	ND	ND	ND
Limonene	0.047	56.1	0.112	1.361	2,345.5	4.6910
Methyl benzaldehyde	ND	ND	ND	0.047	86.6	0.173
Methyl benzene	1.105	1,212.2	2.4244	0.816	1,390.1	2.7802
Methyl indene	0.093	111.8	0.02360	0.234	400.7	0.8014

(a continuación)

TABLA 2. MISIONES DE LA QUEMA A CIELO ABIERTO: COMPUESTOS ORGANICOS SEMI-VOLATILES (a continuación)

Compound	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
Methyl methylethyl benzene	0.107	127.9	0.2558	0.821	1,426.1	2.8522
Methylethyl benzene	0.040	48.3	0.0966	0.133	229.1	0.4582
Naphthalene	1.578	1,697.9	3.3958	0.671	1,130.7	2.2614
Phenanthrene	0.173	183.7	0.3674	0.119	187.0	0.3740
Phenol	0.330	365.9	0.7318	0.412	700.2	1.400
Propenyl naphthalene	0.027	23.5	0.0470	ND	ND	ND
Propenyl methyl benzene	ND	ND	ND	0.282	523.6	1.047
Propyl benzene	ND	ND	ND	0.127	219.6	0.4392
Styrene	0.605	659.9	1.320	0.380	645.5	1.291
Tetramethyl benzene	ND	ND	ND	0.049	91.9	0.184
Trimethyl benzene	ND	209.4	0.4188	0.446	751.4	1.502
Trimethyl naphthalene	ND	ND	ND	0.185	315.8	0.6316
TOTALS	7.593	8,369.7	16.739	9.492	16,293.1	32.5862

ND - None detected.

TABLA 3. QUEMA A CIELO ABIERTO: RESUMEN DE EMISIONES DE ORGANICOS TOTALES

Organic Component	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
Volatile	8.53	11,182	22.364	8.03	13,068	26.136
Semi-Volatile	3,514.6	9,792.0	19.584	8,473.0	31,686.0	63.3720
Particulate	4,048.0	11,223.5	22.4470	4,151.9	14,888.0	29.7760
TOTALS	7,571.1	32,197.5	64.3950	12,632.93	59,642.0	119.284

**TABLA 4. QUEMA A CIELO ABIERTO: EMISIONES DE PAH
(SIMULACION DE LABORATORIO)**

Compound	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
Naphthalene	0.786	815.9	1.632	0.289	486.0	0.9720
Acenaphthylene	0.802	861.3	1.722	0.334	561.8	1.124
Acenaphthene	0.282	290.3	0.5806	1.404	2,445.7	4.8914
Fluorene	0.243	260.5	0.5210	0.112	186.8	0.3736
Phenanthrene	0.225	237.5	0.4750	0.149	252.5	0.5050
Anthracene	0.053	56.3	0.113	0.029	49.6	0.099
Fluoranthene	0.324	338.7	0.6774	0.273	458.0	0.9160
Pyrene	0.030	33.8	0.0676	0.090	151.7	0.3034
Benz(a)anthracene	0.076	82.2	0.164	0.062	102.4	0.2048
Chrysene	0.068	70.8	0.142	0.056	91.6	0.183
Benzo(b)fluoranthene	0.064	69.4	0.139	0.053	88.4	0.177
Benzo(k)fluoranthene	0.069	74.3	0.149	0.059	99.4	0.199
Benzo(a)pyrene	0.08	84.8	0.170	0.068	113.9	0.2278
Dibenz(a,h)anthracene	0.001	1.1	0.0022	ND	ND	ND
Benzo(g,h,i)perylene	0.060	66.0	0.132	0.095	159.4	0.3188
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	0.049	51.6	0.103	0.051	85.5	0.171
TOTALS	3.212	3,394.5	6.7890	3.124	5,332.7	10.665

pertenecen a compuestos aromáticos como alifáticos, olefínicos, o acetilnicos-sustituídos. Se detectaron la presencia de compuestos cíclicos como *alkanes*, *alkenes*, y dienos. Butadieno, un componente del proceso de fabricación de llantas, también se hizo presente. Se calcularon las emisiones estimadas suponiendo que se agregaba un volumen constante de aire y que la cantidad de aire a la entrada de la choza de quema equivalía la cantidad que salía. Se suponía una condición de mezcla adecuada de aire también (por ejemplo, la muestra tomada en el ducto es representativa de los gases dentro de la choza de quema).

Los datos de emisiones de semi-COVs se muestran en la Tabla 2. Mono-poliaromáticos sustituidos y poliaromáticos eran los "productos de combustión incompletos" (PICs) predominantes. Estos datos representan un promedio de tres muestras tomadas en el curso de un día de muestreo. Se presentan un resumen de las emisiones orgánicas en la Tabla 3.

Se muestran los datos de emisiones de "compuestos orgánicos policíclicos" (PAH) en la Tabla 4. Los 16 PAHs incluyen algunos compuestos comprobados como compuestos carcinogénicos. En particular, la presencia y magnitud de benzo(a)pireno (BaP) es de mayor preocupación. Con frecuencia se pone mucho énfasis en BaP durante las evaluaciones de procesos de combustión, debido a su alta potencia carcinogénica.

Se tomaron muestras de partículas con tres sistemas de muestreo diferentes, un sistema semi-COVs, colección de partículas de metales en el aire, y un monitor para PM10 ambiental de volumen mediano ubicado dentro de la choza de quema [operado a 0.11 metros cúbicos por minuto (m^3/min) o 4 pies cúbicos por minuto (ft^3/min)]. Se presentan los datos de emisiones que produjeron estos tres sistemas en la Tabla 5. Los autores descubrieron que el flujo de emisiones se disminuía a la par con la disminución en el flujo de quema, y que se emiten casi 100 gramos de partículas por cada kilogramo de llanta quemada.

Se utilizó otro sistema para analizar 17 metales que se hallaban en los residuos de cenizas que dejaron las llantas. Se muestran los resultados de los análisis en la Tabla 6. Los únicos metales significativos, en comparación a los filtros testigos, eran plomo y zinc. Los autores concluyeron que tanto la concentración promedio como las emisiones estimadas para zinc aumentan cuando se aumenta el flujo de quema.

2.2 MUTAGENICIDAD DE EMISIONES DE INCENDIOS DE LLANTAS

Lemieux and DeMarini (1992) analizaron datos de emisiones tomados en un estudio de laboratorio para evaluar los impactos potenciales en la salud, en un estudio subsiguiente al de Ryan en 1989. Se utilizó una técnica experimental que se llama *bioassay-directed fractionation* combinada con análisis adicionales de GC/MS para evaluar la cantidad y potencia de compuestos mutagénicos provenientes de los PICs emitidos durante la quema de llantas a cielo abierto. El método *bioassay-directed fractionation* utiliza pruebas de mutagenicidad para identificar clases de compuestos y especies responsables por la

TABLA 5. QUEMA A CIELO ABIERTO: EMISIONES DE PARTICULAS (SIMULACION DE LABORATORIO)

Sample	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Estimated Emissions	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
Organic Particulate Filter	93	97,100	1,940	43.75	73,400	147
Metal Particulate Filter	111.55	105,000	210	37.9	64,500	129
PM ₁₀ Filter ^a	444.14	113,500	227.0	92.85	149,000	298

N/A = not analyzed.

^a The PM₁₀ sampling filter became heavily loaded during the initial part of each run. The results are biased high due to higher burning rates that occurred during this portion of the run.

**TABLA 6. QUEMA A CIELO ABIERTO: EMISIONES DE METALES
(SIMULACION DE LABORATORIO)**

Metals	Chunk (Trozo)			Shred (Tira)		
	Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)		Exhaust Conc. (mg/m ³)	Emission Factor (mass/mass tire)	
		mg/kg	lb/ton		mg/kg	lb/ton
Aluminum	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Antimony	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Arsenic	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Barium	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Calcium	0.0079	8.54	0.0171	0.0028	4.80	0.00960
Chromium	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Copper	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Iron	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Lead	0.0004	0.47	0.0094	0.0001	0.10	0.00020
Magnesium	0.0012	1.26	0.00252	0.0005	0.75	0.0015
Nickel	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Selenium	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Sodium	0.0084	9.51	0.0190	0.0035	5.80	0.0116
Titanium	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vanadium	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Zinc	0.0409	31.17	0.06234	0.0146	24.35	0.04870

ND = Not detected.

actividad mutagénica. Se concluyó que: "El factor de mutagenicidad para las emisiones de la quema de llantas a cielo abierto es mayor de cualquier otro tipo de combustión previamente estudiado. Por ejemplo, es 3-4 grados de magnitud más grande que los factores de mutagenicidad para la combustión de petróleo, carbón, o leña en las calderas de centrales térmicas. (Lemieux and DeMarini, 1992). Se define un compuesto mutagénico como una sustancia que causa mutaciones. Una mutación es un cambio en el material genético de una célula de cuerpo humano. Estas mutaciones pueden encaminarse a defectos al nacer, abortos espontáneos, o cáncer (ATSDR, 1990). Compuestos mutagénicos se preocupan debido a que "la inducción de daños genéticos podría causar un incremento en la incidencia de enfermedades genéticas en las generaciones futuras y contribuir a enfermedades somáticas de células, inclusive cáncer, en la generación actual" (Amdur, 1991).

Se comparan factores de emisiones mutagénicas en el gráfico de barras presentada en Figura 1 para varios procesos de combustión [unidades: *revertants* por kilogramo (*revertants/kg*) de combustible. Un *revertant* se representa por una colonia bacteriana que se forma después de que se mezcle el efluente orgánico, que sobra después de la quema de llantas, con un tipo de bacteria específica. Se cuentan el número de colonias para determinar el número de *revertants* por masa orgánica. Los autores concluyeron que la quema a cielo abierto de llantas, madera o leña, y plásticos resulta en factores de emisiones mutagénicas extremadamente altos y que "la quema a cielo abierto, sin tomar en cuenta el tipo de combustible, resulta en factores de emisiones mutagénicas más altas que la quema controlada que se logra en varios tipos de incineradores o calderas" (Lemieux and DeMarini, 1992).

Los autores encontraron que los factores de emisiones mutagénicas se parecen para las emisiones de compuestos orgánicos semi-volátiles producidas por grandes (trozos) y pequeños (tiras) pedazos de llantas. También determinaron que los factores de emisiones mutagénicas para partículas orgánicas eran mucho más altos que para los compuestos orgánicos.

La conclusión final del reporte sirve como un aviso potencialmente preocupante: "Tomando en cuenta: (a) la relativamente alta potencia mutagénica de partículas orgánicas; (b) los factores de emisiones mutagénicas altos; y (c) la presencia de muchos compuestos mutagénicos/carcinogénicos especialmente PAHs, en el efluente proveniente de la quema a cielo abierto de llantas; tales quemaduras presentan un riesgo indiscutible al medio ambiente y a la salud" (Lemieux and DeMarini, 1992).

2.3 MUESTRAS DE CAMPO - DATOS DE MONITOREO DEL AIRE CERCA DE INCENDIOS DE LLANTAS

Hay una falta de datos de muestras de campo de incendios de llantas. Este es el resultado de las dificultades inherentes que se encuentran cuando se trata de conseguir estos datos debido a problemas de seguridad y la naturaleza variable del evento (por ejemplo,

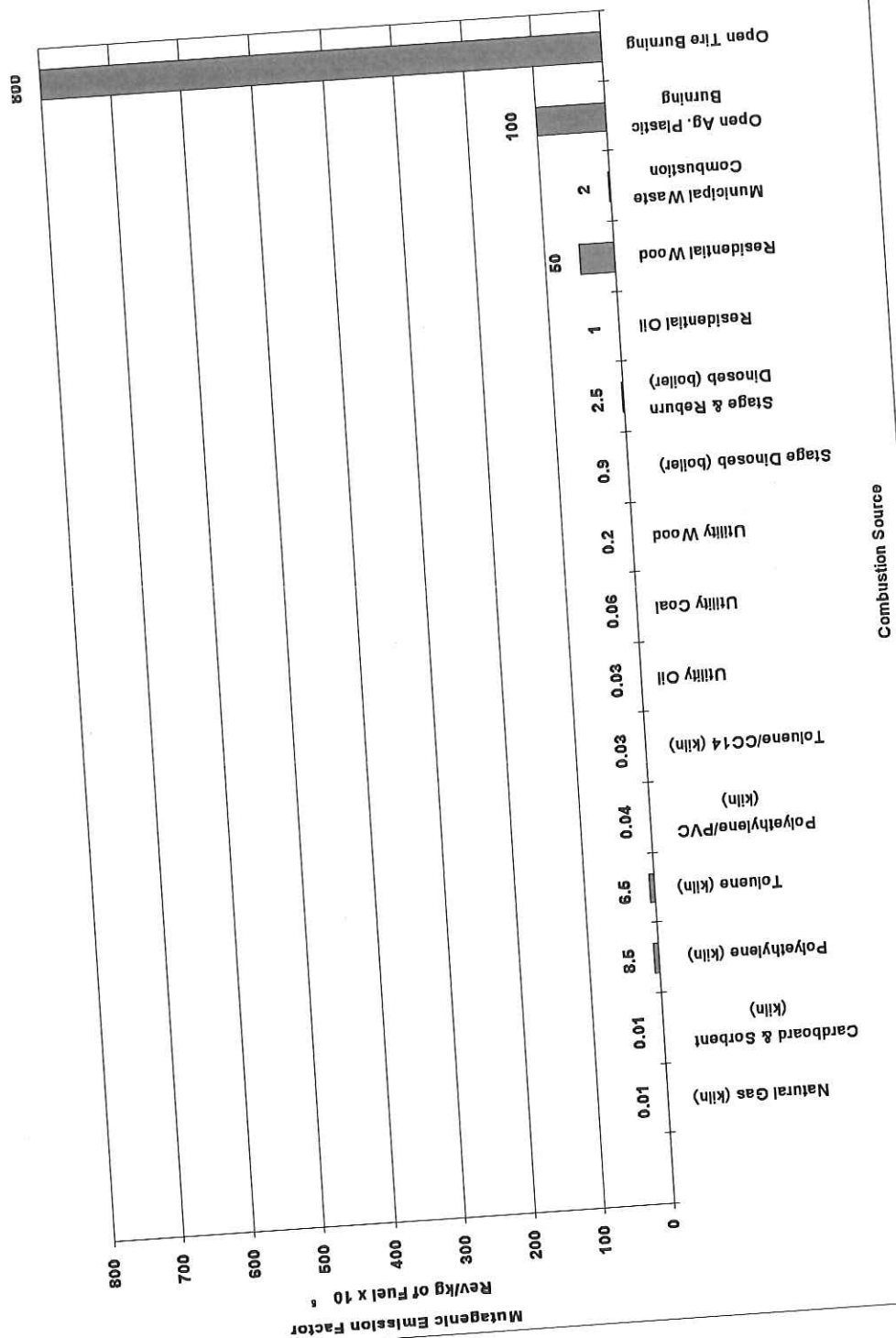


FIGURA 1. FACTORES DE EMISIONES MUTAGENICAS PARA VARIOS PROCESOS DE COMBUSTION

tamaño y duración del incendio, condiciones meteorológicas, efectos de terreno, condiciones de combustión y tareas de extinción de los bomberos). Además, la preocupación principal por parte de los oficiales a cargo es mantener la seguridad y bienestar de la gente que pueda encontrarse afectadas por el calor y el humo proveniente del incendio. TRC Environmental Corporation recolectó, evaluó, y documentó los datos de monitoreo de 22 emergencias de incendios de llantas para la EPA (TRC, 1993). Se recolectaron los datos de concentración de contaminantes principalmente para ayudar a los oficiales públicos identificar las zonas de evacuación en caso de un incendio. Se analizaron 17 compuestos comunmente asociados con incendios de llantas, y todos ellos eran COVs.

Los datos de concentración ambiental se hallaron extremadamente variables. Era de esperarse, tomando en cuenta las dificultades que se encuentran tratando de tomar muestras confiables durante un incendio a cielo abierto de llantas. Los datos se presentan en dos grupos, concentraciones tomadas dentro de 305 m (1000 pies) del incendio y concentraciones tomadas más allá de 305 m (1000 pies). Se presenta un resumen de estadísticas en las Tablas 7 y 8. De los 17 compuestos estudiados, benceno, tolueno, y estireno tenían las concentraciones más altas. El reporte reconoce que las emisiones de partículas que contienen PAHs y metales pesados son contaminantes asociados con incendios de llantas, sin embargo, por falta de datos de monitoreo de partículas, no se tomaban en cuenta estos compuestos. Por lo tanto, los datos disponibles no representan completamente los riesgos potenciales a la salud relacionados a las emisiones de incendios a cielo abierto de llantas.

2.4 ESTUDIOS DE CASOS

2.4.1 Rhinehart Incendio de Llantas - Winchester, VA

Un incendio de origen desconocido se presentó el 31 de Octubre, 1983 en un tiradero en Winchester, Virginia. Este evento se conoce como el Rhinehart Tire Fire. Este tiradero contenía aproximadamente 5 millones de llantas usadas que cubrían un área de 1.6-hectáreas [ha (4-acre)]. Un penacho (pluma) negro alcanzó una altura de 910 m (3000 pies) y se extendió 48 - 80 kilómetros [km (30 - 50 millas)]. El 2 de Noviembre, 1983, la EPA pidió ayuda técnica inmediata del *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) para evaluar la seguridad del sitio y evaluar la exposición de los trabajadores a las emisiones potencialmente peligrosas provenientes del incendio de llantas.

Higiénicos industriales de NIOSH tomaron muestras del aire el 4 de Noviembre y el 9 de Noviembre, 1983 (NIOSH, 1984). Por las condiciones meteorológicas variables, no fue posible tomar muestras cerca de las llantas incendiadas sin encontrarse en el penacho de humo. El análisis de las muestras tomadas en el penacho indicó que había niveles potencialmente peligrosos de CO y PAHs. Las concentraciones de CO variaba entre 50 y 100 partes por millón (ppm). El límite recomendado por NIOSH para los trabajadores, o *Threshold Limit Value* (TLV), para CO es 35 ppm [40 miligramos por metro cúbico (mg/m³)] durante un período de 10 horas *time-weighted average* (TWA). El TLV se refiere a las concentraciones en el aire que un adulto saludable puede aguantar por hasta 10 horas

**TABLA 7. QUEMA A CIELO ABIERTO: CONCENTRACIONES AMBIENTALES
< 305 m (1000 ft) VIENTO ABAJO**

Analyte	n ¹	No. Fires where meas. taken	Concentrations (µg/m ³)					
			Median	90% LCL ²	90% UCL ²	a ³	90th Pcnt ⁴	Max
Benzene	101	21	121	33	525	17	6,375	79,693
Toluene	94	21	220	38	527	16	3,766	206,753
Styrene	86	14	85	20	174	15	2,320	2,705
Xylenes ⁵	41	9	17	ND	607	11	1,424	3,809
m,p-Xylene	30	6	76	1	282	9	912	999
o-Xylene	49	10	35	1	109	12	336	564
Methylene chloride	39	10	8	ND	89	10	565	836
Chloroform	33	9	42	ND	197	9	533	1,085
Ethyl benzene	57	12	49	ND	204	12	502	1,477
Trichloroethene ⁵	45	11	ND	ND	41	11	425	881
1,1,2-Trichloroethane	33	7	ND	ND	82	9	316	542
1,1,1-Trichloroethane	43	12	ND	ND	10	11	39	817
1,1-Dichloroethane	26	10	ND	ND	ND	8	16	42
Chlorobenzene	33	11	ND	ND	ND	9	2	11
Trichloroethane ⁵	17	7	ND	ND	1	7	1	1
Carbon tetrachloride	31	10	ND	ND	ND	9	ND	44
Tetrachloroethene	28	9	ND	ND	ND	9	ND	ND

¹ n = number of measurements

² The 90 percent confidence limits lower and upper as determined for the median.

³ Where a is the number of data values from the median to the upper and to the lower 90 percent confidence limits.

⁴ The analytes in this table are arranged in order of 90th percentile (except for the o-xylene isomer).

⁵ Contains mixed isomers.

ND = Not detected.

**TABLA 8. QUEMA A CIELO ABIERTO: CONCENTRACIONES AMBIENTALES
> 305 m (1000 ft) VIENTO ABAJO**

Analyte	n ¹	No. Fires where meas. taken	Concentrations (µg/m ³)					Max
			Median	90% LCL ²	90% UCL ²	a ³	90th Pcnt ⁴	
Styrene	45	5	1	ND	16	11	554	2,705
Ethyl benzene	18	5	3	ND	172	7	172	1,390
Toluene	45	10	5	1	37	11	156	634
Benzene	47	10	4	ND	29	11	67	524
Xylene ⁵	20	4	ND	ND	ND	7	4	20
m,p-Xylene	28	3	2	1	9	9	14	999
o-Xylene	38	6	1	1	5	10	13	521
Chlorobenzene	29	5	1	ND	1	9	1	1
1,1,1-Trichloroethane	30	5	1	ND	1	9	1	7
Trichloroethane ⁵	34	4	1	ND	1	10	1	3
Carbon tetrachloride	8	4	ND	ND	ND	4	ND	ND
Trichloroethene ⁵	6	4	ND	ND	18	3	ND	18
1,1-Dichloroethane	7	3	ND	ND	ND	3	ND	ND
1,1,2-Trichloroethane	6	2	ND	ND	ND	3	ND	ND
Chloroform	3	3	ND	ND	ND	1	ND	ND
Methylene chloride	14	3	ND	ND	ND	6	ND	660
Tetrachloroethene	8	4	ND	ND	ND	4	ND	ND

¹ n = number of measurements

² The 90 percent confidence limits lower and upper as determined for the median.

³ Where a is the number of data values from the median to the upper and to the lower 90 percent confidence limits.

⁴ The analytes in this table are arranged in order of 90th percentile (except for the o-xylene isomer).

⁵ Contains mixed isomers.

ND = Not detected.

diarias, cinco días a la semana, sin sentir efectos nocivos. Los TLVs son lineamientos para determinar si un ambiente ocupacional es seguro o no, y no son estándares estrictos. El NIOSH TLV no es aplicable a los receptores sensibles como niños y ancianos, quienes podrían sufrir efectos nocivos a niveles más bajos. Se muestran las concentraciones de PAH en el penacho. Se detectaron algunos compuestos PAH, o en la Tabla 9 (NIOSH, 1984). Las concentraciones representan un promedio de una muestra tomada por aproximadamente 405 minutos. No se dispone de detalles acerca de los datos meteorológicos y solamente se presentó un esquema sin escala en el reporte que describió la ubicación del monitoreo con respecto al incendio. Se tomaron muestras ocupacionales colocando bombas portátiles de muestreo a la ropa de trabajadores, operadores de equipo, y otro personal del sitio. Sin embargo, por problemas con la toma de muestras y el análisis, los autores concluyeron que los resultados de las muestras ocupacionales representaban estimaciones equivocadas (bajo) de exposición. Por lo tanto, no se reportan los resultados de las muestras ocupacionales en este documento.

Las concentraciones de plomo, hierro, y zinc en el penacho eran 11 mg/m³, 14 mg/m³, y 122 mg/m³, respectivamente. Las concentraciones de los demás metales se hallaban por debajo de 2 mg/m³. Se tomaron las muestras de metales desde un sitio fijo ubicado en el penacho. El método utilizado incluía el uso de una bomba de muestreo de bajo volumen (flujo de flujo de 1.0 litros por minuto) y un filtro de membrana de ester celulosa. Se analizaron los filtros utilizando el método *low temperature ashing nitric acid digestion* seguido por *inductively coupled argon plasmography, atomic emission spectroscopy* (aunque no se citó un método específico, estos procedimientos van acordes con NIOSH Method 7300).

El análisis de los residuos de las llantas mostró la complejidad de la muestra, que contenía miles de compuestos individuales. También se analizó una muestra de aire tomada del espacio del tubo de ensayo (que contenía el residuo de llantas) encima del residuo, utilizando la técnica GC/MS.

Se detectaron concentraciones bajas de tolueno, benceno, xilenos y limoneno. Los análisis GC/MS más amplios mostraron *alkanes, substituted benzenes, substituted hydrazines, ketones, halogenated hydrocarbons, substituted phenols, nitriles, benzoic acids, y substituted benzene amines*. Se detectaron también algunos PAHs, inclusive *anthracene, pyrene, naphthalene, y fluoranthene*. Un ensayo Ames para determinar la mutagenicidad del residuo de llantas mostró actividad mutagénica positiva.

2.4.2 Somerset, Wisconsin Incendio de Llantas

Stofferahn y Simon (1987) presentaron un resumen de los eventos que rodeaban el incendio de llantas que empezó el 13 de Octubre, 1986 cerca de Somerset, Wisconsin. Se consumieron aproximadamente seis millones de llantas de un inventario de ocho a nueve millones de llantas usadas. La pila de llantas ocupaba aproximadamente 6 hectáreas (15 acres) de una propiedad de 10 hectáreas (25 acres). El penacho de humo estaba visible hasta "varias millas viento abajo". Un incendio intenso duró tres días, después de que se menguó y la amenaza de que el incendio se ampliara fuera de la propiedad se eliminó. El incendio se apagó después de un período de aproximadamente dos semanas.

**TABLA 9. CONCENTRACIONES DE PAH EN EL PENACHO - RHINEHART
INCENDIO DE LLANTAS**

PAH	Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)*	Limit of Detection(μg)
Naphthalene	461	5
Acenaphthylene	ND	7
Acenaphthene	9	1
Fluorene	26	0.5
Phenanthrene	54	0.2
Anthracene	35	0.3
Fluoranthene	16	0.005
Pyrene	11	0.1
Benz(a)anthracene	6	0.005
Chrysene	18	0.10
Benzo(b)fluoranthene	1	0.003
Benzo(k)fluoranthene	1	0.005
Benzo(a)pyrene	3	0.005
Dibenz(a,h)anthracene	ND	0.05
Benzo(g,h,i)perylene	ND	0.05
Indenopyrene	3	0.02
TOTAL PAHs	644	--

*Sample duration = 405 min.

ND - Not detected

Sampling Method: Zefluor filter + ORBD 43 sorbent; flow rate 1.0 LPM.

Analytical Method: HPLC with UV detection.

Un parque de casas sobre ruedas (trailers) se encontraba aproximadamente 0.8 km (media milla) al norte del borde de la propiedad. Durante la etapa inicial del incendio, un penacho de humo negro y grueso alcanzó el parque. Los oficiales a cargo decidieron evacuar el parque, tomando en cuenta que no se sabía de la naturaleza de las amenazas potenciales a la salud que pudieran presentarse como resultado de la exposición a tal penacho. La evacuación estuvo vigente por un día, después de que un cambio en la dirección del viento eliminó la exposición grande que ocurrió el primer día.

Se difundieron recomendaciones al público por medio de las estaciones locales de radio:

- Los que estaban experimentando malestar por el humo tendrían que evacuar el área impactada por el penacho o quedarse dentro en casas bien selladas; y
- Cosas que normalmente se encuentran afuera, las cuales la gente suelen tocar o usar de una manera rutinaria (por ejemplo, autos, ropa colgada después de lavarse, muebles de patio) o que se ingieren (por ejemplo, verduras del jardín) deben lavarse detalladamente.

El monitoreo del aire conducido por el US EPA Emergency Response Team (ERT) indicó que la concentración de "partículas suspendidas totales" (TSP) excedía el estándar primario de 260 mg/m^3 [National Ambient Air Quality Standard (NAAQS)] que estaba vigente en aquel entonces. También el ERT concluyó que el humo se hizo visible a una concentración de aproximadamente 250 mg/m^3 TSP. La relación cruda entre la concentración del humo visible y el estándar primario resultó en la recomendación al personal de respuesta que se pusiera protección respiratoria o evitara las áreas donde se viera el penacho de humo. No se dieron detalles del método de monitoreo ni del análisis.

Se analizaron muestras del aire tomadas por el Wisconsin Department of Natural Resources (WDNR) por *total coal tar pitch volatiles* (CTPV). En ciertos casos, estas concentraciones se rebasaban el *threshold limit value time-weighted average* (TLV-TWA) de 0.2 mg/m^3 .

Los autores compararon los niveles de concentraciones medidos por ERT y WDNR al sitio Somerset a las reportadas de los dos otros incendios grandes de llantas, el de Everest, Washington (25 de Septiembre a 10 de Octubre, 1984) y del de Rhinehart, Winchester, Virginia, 1984 (presentado arriba). Estos resultados se presentan en la Tabla 10. Como punto de referencia, se muestran también los valores de TLV-TWA y *Immediately Dangerous to Life and Health* (IDLH). Las concentraciones de IDLH representan las máximas concentraciones desde que, en el evento de una falla en el dispositivo respiratorio de un trabajador, el trabajador podría escapar dentro de 30 minutos sin experimentar: (1) ningún tipo de daño que podría obstaculizar su salida, o (2) un efecto nocivo irreversible a la salud.

Los autores concluyeron que "aunque no se puede asumir ninguna consistencia con respecto a los métodos de muestreo o evaluación entre estos tres incidentes, los datos no sugieren que se presenten amenazas severas ni agudas a la salud". Sin embargo, los

**TABLA 10. COMPARACION DE CONTAMINANTES DETECTADOS A LOS LIMITES
TLV Y DLH (mg/m³)**

Compound	TLV- TWA	IDLH	Wisconsin		Washington	Virginia
			ERT	DNR		
Sulfur dioxide	5	--	--	--	--	--
Carbon monoxide	55	--	--	--	--	--
Zinc	--	--	--	0.013	--	0.122
Lead	0.15	--	--	--	--	0.011
Iron	--	--	--	--	--	0.014
Cadmium	--	40	--	--	--	--
Chromium	--	--	--	--	--	--
Copper	--	--	--	--	--	--
Benzene	30	--	0.22	--	9.68-10.6	--
Toluene	375	--	0.140	--	0.03-6.70	--
Styrene	215	--	0.043	--	0.04-3.41	--
Xylenes	435	--	0.072	--	total styrene/ toluene	--
Ethyl benzene	435	--	0.047	--	--	--
Ethyl toluene	--	--	0.011	--	--	--
Methyl chloride	(350)	--	0.003	--	--	--
1,1,1-Trichloroethene	1,900	--	0.024	--	--	--
Acetone	1,780	--	--	--	0.55-0.57	--
Heptane	1,600	--	--	--	<0.02	--
Hexane	180	--	--	--	0.18-0.21	--
Hexene	--	--	--	--	<0.02	--
Naphthalene	50	--	--	--	0.82-1.32	0.461
Pentane	1,800	--	--	--	0.61-0.66	--
Ibiophene	--	--	--	--	0.25-0.30	--
Benzo(a)pyrene	--	--	--	0.013	--	0.003

(a continuación)

**TABLA 10. COMPARACION DE CONTAMINANTES DETECTADOS A LOS LIMITES
TLVE DLH (mg/m³) (a continuación)**

Compound	TLV- TWA	IDLH	Wisconsin		Washington	Virginia
			ERT	DNR		
Pyrene	--	--	--	--	--	0.011
Chrysene	--	--	--	0.446	--	0.018
Flourene	--	--	--	--	--	0.026
Anthracene	--	--	--	--	--	0.033
Phenanthrene	--	--	--	--	--	0.054
Perylene	--	--	--	2.623	--	--
Coal tar pitch volatiles	0.2	400	--	4.218	--	--

-- = not measured.

+ = detected, value not reported.

() = estimated values in 1987.

autores anotaron que, como se considera que la mezcla de polvo de carbón y PAHs es carcinogénica, el penacho de humo o sus residuos podrían presentar una amenaza a la salud a largo plazo.

2.5 PREVENCIÓN Y MANEJO DE INCENDIOS DE LLANTAS

El *Scrap Tire Management Council* [(Council, o STMC) Washington D.C.] es un organismo independiente creado por la industria norteamericana de llantas, que aboga por los intereses de esta industria. La meta primordial del Council es crear suficiente capacidad en el mercado para consumir todas las llantas usadas generadas anualmente. El Council provee ayuda en el desarrollo y promoción de la utilización de llantas usadas como un recurso valioso.

El Council ofrece un seminario (cobran por gastos y un aporte al *STMC Education and Research*) que trata de la prevención y manejo de incendios de llantas. En el seminario, el Council utiliza un documento, el cual se desarrolló en concierto con la *International Association of Fire Chiefs* (IAFC), que se llama *Guidelines for the Prevention and Management of Scrap Tire Fires* [(Guidelines) IAFC y STMC, 1992]. STMC también pone a la venta este documento. El seminario y las guías se desarrollaron con la contribución de más de una docena de jefes de bomberos y personal de respuesta crítica.

La prevención y manejo de incendios de llantas es un asunto complejo. Hay que tomar en cuenta muchos temas que tienen que ver exclusivamente con el sitio. Solamente un número reducido de estos temas se revisan en las siguientes sub-secciones:

2.5.1 Diseño del Sitio de Almacenamiento

Las Guías recomiendan los siguientes parámetros de diseño para el sitio de almacenamiento:

- se limita la altura de las montones de llantas a 6 m (20 pies) con dimensiones máximas de 76 m (250 pies) por 6 m (20 pies);
- los bordes de la pila deben estar por lo menos 15 m (50 ft) de la cerca del perímetro y esta área debe estar libre de obstáculos o vegetación;
- los rompefuegos en el interior de la propiedad deben tener una anchura de 18 m (60 pies) por lo menos;
- una área que extiende 60 m (200 pies) del perímetro de los montones de llantas deben estar libre de vegetación;
- edificios, vehículos, etcétera deben estar por lo menos 60 m (200 pies) de las montones;
- el sitio debe ser plano, con una base de concreto o arcilla dura, y diseñado para captar y contener la escorrentía;
- No se debe ubicar el sitio de almacenamiento sobre pantanos, áreas sujetas a inundaciones, arroyos, cañones, o cualquier superficie que cueste mucho;
- Cualquier quema a cielo abierto debe estar por lo menos 305 m (1000 pies) alejada de la pila de llantas;

- Los dispositivos que generan calor (por ejemplo una máquina de soldadura) no debe utilizarse dentro de 60 m (200 pies) de la pila; y
- pararrayos deben instalarse, en un sitio alejado de los montones de llantas.

2.5.2 Evacuación de Civiles

La evacuación de civiles debe considerarse la prioridad más importante por parte del jefe de los servicios de auxilio. Las Guías sugieren que se deban anticipar cuales son las áreas que serán sujetas a evacuación durante el proceso de planificación antes de un incendio (todos los sitios de almacenamiento de las llantas usadas y productos de goma deben considerarse como sitios de alto riesgo, y se debe planificar acorde a este concepto). Las Guías recomiendan que "todo sitio expuesto al penacho de humo, o sujeto a tal exposición por un cambio en la dirección del viento, debe ser evacuado como medio preventivo".

Lugares de agrupamiento, tiempo de traslado, y requerimientos de equipo deben ser planificados cuidadosamente. No se debe dejar que las personas que se van a evacuar puedan regresar al área impactada hasta que se hayan tomado muestras ambientales y se haya determinado que el área esté segura y habitable.

2.5.3 Tácticas para Combatir Incendios

Por una variedad de razones, las tácticas convencionales para combatir incendios son solamente parcialmente efectivas en el control de incendios de llantas usadas. La forma de las llantas hace que sea extremadamente difícil alcanzar todas las superficies encendidas, y permite que el aire atrapado siga respaldando la combustión en todas partes de la pila. El calor intenso que se generan las llantas encendidas complica todavía más las dificultades.

Las Guías recomiendan que el objetivo primordial cuando hablan de hacer frente al incendio de llantas es la separación de llantas todavía sin quemarse (combustible) del combustible encendido. Se debe dejar que el combustible encendido siga quemándose lo más libremente posible. Equipo pesado (por ejemplo, front-end loaders, track excavators, mid-size bulldozers) son necesarios para este tipo de trabajo. Se puede extraer las secciones de goma encendidas de la pila, colocarlas en un sitio aislado, y luego extinguirlas utilizando mangueras con boquillas ajustadas para chorrear en un patrón "neblina" (por ejemplo, un chorro ancho dispersado), o si hay una presa de agua disponible, sumergirlas.

La aplicación directa de agua no es siempre efectiva, tomando en cuenta el calor intenso y las características de goma cuando esté encendida. Sin embargo, si se toma la decisión de utilizar técnicas convencionales, las boquillas que emiten una neblina a presión constante son más efectivas que chorros de agua.

En muchos casos, el control del fuego se ha logrado cubriendo las secciones encendidas con tierra o material similar. Sin embargo, a pesar de estar cubierto, el fuego puede seguir quemándose en las profundidades del montón por semanas. Por lo tanto, hay que seguir vigilando y monitoreando.

Puede ser necesario formar rompefuegos y/o rutas de ingreso al montón. Los

rompefuegos deben ser 18 m (60 pies) de ancho o más ancho todavía si hay vientos fuertes. También, como los montones tienden a ser inestables, hay que proveer los bomberos de plataformas fuertes que se estacionen encima del monton. Paletas de madera sirven bien para tal propósito.

Los resúmenes de algunas de Las Guías (véase arriba) solamente tratan de un número reducido de las cuestiones y problemas que rodean la prevención y manejo de un incendio de llantas. Para proteger efectivamente la salud, seguridad, y bienes del público, un equipo capacitado en las técnicas adecuadas para combatir incendios de llantas debe ser seleccionado para planificar y efectuar el control de tal evento.

2.6 COMPUESTOS "BLANCOS" EMITIDOS DE UN INCENDIO DE LLANTAS

Reconociendo los peligros a la salud y medio ambiente asociados a los incendios de llantas, el *Tacoma-Pierce County Health Department* (TPCHD) condujo un estudio de los compuestos tóxicos emitidos al aire. TPCHD publicó un reporte que identificó, por medio de una serie de pasos preliminares, un sub-grupo de 34 compuestos blancos (basado en toxicidad y concentraciones anticipadas en el aire) que deben considerarse como candidatos para monitoreo durante un incendio de llantas (Adolfson Associates, 1994).

Se identificó un potencial para una variedad de efectos a la salud provenientes de la exposición a hidrocarburos, metales, gases y vapores inorgánicos. Los impactos a la salud incluyen la irritación de la piel, ojos, y membranas mucosas, sistema nervioso central, depresión, efectos respiratorios, y cáncer.

Para desarrollar la lista de compuestos blancos, los autores recolectaron datos de monitoreo del aire de nueve lugares que experimentaron incendios de llantas (Wisconsin, Washington, Virginia, Arkansas, Colorado, North Carolina, New York, Pennsylvania, y Utah), tanto como los datos de las pruebas de laboratorio que se presentaron ya en este reporte (Ryan, 1989; Lemieux and DeMarini, 1992). Se agregaron a la lista automáticamente los compuestos identificados como compuestos carcinogénicos potenciales o comprobados, sin tomar en cuenta las concentraciones medidas o niveles de emisión. Como grupo de compuestos, no se reportaron por separado los PAHs en concentraciones bajas, y se usó CTPV como sustituto por la familia de los compuestos PAH. Sin embargo, se reportaron por separado los compuestos individuales PAHs con concentraciones suficientemente altas para calificarse como un compuesto blanco.

También se evaluaron los compuestos desde la óptica de cuales tenían concentraciones máximas encima de 33% del TLV para ese compuesto. Si la concentración máxima estaba encima de 33% del TLV, se consideraba el compuesto un compuesto blanco. Se seleccionó 33% del TLV para aproximar una dosis equivalente de un trabajador, considerando que la exposición a un incendio pudiera ocurrir 24 horas al día, comparado al TLV que se basa en una exposición de 8 horas.

El último criterio de evaluación que aplicaron los autores era comparar la razón de valor detectado a las *subchronic* y *chronic inhalation reference concentrations* (RfC). La RfC

es un estimado de la concentración que no resulta en un riesgo apreciable a la salud. Se ordenaron los compuestos por razones decrecientes (es decir, de la concentración detectada a la RfC subcrónica). Se agregaron los primeros 25% de los compuestos en cada juego de datos a la lista de compuestos blancos.

Si todavía no se identificó un compuesto como un compuesto blanco acorde a los métodos anotados arriba, se condujo una revisión más amplia. El proceso incluyó la evaluación de otros aspectos de la toxicología y concentraciones potenciales del compuesto. Si faltaba información, se incluyó el compuesto en la lista de compuestos blancos.

Una lista de todos los compuestos monitoreados en el campo por la EPA, y sus valores máximos, se presentan en la Tabla 11. Se presentaron datos de las pruebas de laboratorio para los "trozos" de llantas (considerado el más representativo de las emisiones de incendios actuales de llantas por Adolfson en su evaluación) en las Tablas 1 a 6 y no se repiten en la Tabla 11 (Ryan, 1989). En algunos casos, donde los datos son disponibles para el mismo compuesto, los resultados de laboratorio podrían estar más altos que los datos de campo tomados por la EPA. Los autores seleccionaron la concentración más alta de entre los dos juegos de datos.

Vale clarificar más precisamente la referencia de Adolfson Associates. El texto del reporte se refiere a 38 compuestos blancos, sin embargo, se presentan solamente 37. Además, se presentaron datos de concentración para "cloruro" y "floruro". No se reportan estos datos en este escrito debido a que estos valores representan la concentración total de cada ion respectivo en vez de compuestos tóxicos específicos. Adolfson Associates suponió que los datos para zinc eran zinc chromate, un compuesto carcinogénico, y lo reportó como un compuesto blanco. Sin embargo, no se respaldaba esta suposición por los datos que venían de los incendios de llantas, que decían simplemente "zinc". Por lo tanto, el cual no es carcinogénico, se eliminó de la lista de Adolfson. El resultado neto es que se identifican solamente 34 compuestos como compuestos blanco utilizando el método preliminar de evaluación de Adolfson.

Los 34 compuestos blancos y sus criterios de selección se presentan en la Tabla 12. Los compuestos blancos carcinogénicos y sus concentraciones máximas reportadas se presentan en la Tabla 13 (se indica la fuente de los datos, es decir, "*Field*" para datos de campo de la EPA, o "*Lab*" para pruebas de laboratorio). Se presentan los compuestos que habían reportado concentraciones que excedían 33% de sus TLV en la Tabla 14. Compuestos que habían reportado concentraciones que excedían sus concentraciones de referencia subcrónica y/o crónica se presentan en la Tabla 15.

La compilación de los datos reportados en las Tablas 11 y 13 incluyen datos de monitoreo de campo, los cuales muchas veces se recolectan con mucha prisa y se ven

TABLA 11. CONCENTRACIONES MAXIMAS DE LOS DATOS DE LA EPA
(mg/m³)

Compound	Concentration	Compound	Concentration
Acetone	0.3700	Iron	0.0140
Anthracene	0.0330	Lead	0.0110
Benz(a)anthracene	0.0018	Methyl ethyl ketone	0.5800
Benzene	10.59	Methylene chloride	2.1000
Benzo(a)pyrene	0.0130	3-Methylstyrene	0.0960
Benzylchloride	0.0190	4-Methylstyrene	0.0500
Bromochloromethane	1.1360	Methylstyrene, alpha-	0.0500
4-tert-Butyl toluene	0.1310	Naphthalene	1.3200
Carbon monoxide	114.00	n-Nitrate	220.00
Carbon tetrachloride	0.0500	Nitric acid	0.2550
Chloroform	2.0580	N-octane	0.0850
Chrysene	0.4460	Orthophosphate	280.00
Coal tar pitch volatiles	4.2180	Pentane	0.6600
Cumene	0.0940	N-pentane	0.2960
Cyclohexane	0.0630	Phenanthrene	0.0340
1,2-Dichlorobenzene	0.0696	Phosphoric acid	0.2650
1,4-Dichlorobenzene	0.1187	Pyrene	0.0001
1,2-Dichloropropane	0.0350	Pyrylene	2.6230
Ethyl benzene	0.1554	Styrene	5.4100
Ethyl toluene	0.0540	Sulfate	230.00
Ethylene dichloride	0.3230	Sulfur dioxide	2.7000
Ethyltoluene, meta	0.5800	Sulfuric acid	0.7900
Fluoranthene	0.0040	Thiophene	0.3000

(a continuación)

TABLA 11. CONCENTRACIONES MAXIMAS DE LOS DATOS DE LA EPA (mg/m³)
(a continuación)

Compound	Concentration	Compound	Concentration
Fluorene	0.0260	Toluene	6.7000
Heptane	0.0200	1,1,1-Trichloroethane	0.0760
n-Heptane	0.0830	1,1,2-Trichloroethane	0.0030
Hexachloroethane	0.2980	Trichloroethylene	1.5600
Hexane	0.2100	Trichlorofluoromethane	0.0510
n-Hexane	0.1580	m,p-Xylene	131.00
Hexene	0.0200	m-Xylene	0.8400
Hydrobromic acid	0.2550	o-Xylene	1,564.00
Hydrochloric acid	4.0000	Zinc	0.0130
Hydrofluoric acid	0.2700		

Note: Above data was taken directly from reference; no adjustment was made to significant digits.

TABLA 12. COMPUESTOS BLANCOS POR CRITERIO

Target Compound	Criteria			
	CA	TLV	Subchronic RfC	Chronic RfC
Acenaphthene	X			
Acenaphthylene	X			
Arsenic	X			X
Barium				
Benz(a)anthracene	X			
Benzene	X			
Benzo(a)pyrene	X			
Benzo(b)fluoranthene	X			
Benzylchloride	X			
Butadiene		X		
Carbon monoxide	X			
Carbon tetrachloride	X			
Chloroform	X			
Chromium	X			
Chrysene	X	X		
Coal tar pitch volatiles			X	X
Cumene	X		X	
1,2-Dichloropropane	X			
Dibenz(a,h)anthracene	X			
Ethylene dichloride	X			
Hexachloroethane			X	X
Hexane	X			
Lead	X			
Methylene chloride	X			
Nickel	X			
Phenol	X			X
Styrene		X		X
Sulfur dioxide		X		X
Sulfuric acid			X	
Toluene	X			
1,1,2-Trichloroethane	X			
Trichloroethylene		X		
Vanadium		X		
o-Xylene				

CA = Suspected or Confirmed Human Carcinogen.
 TLV = Reported Value is 33% of Threshold Limit Value.
 RfC = Inhalation Reference Concentration.

**TABLA 13. CONCENTRACIONES MAXIMAS REPORTADAS PARA LOS
COMPUESTOS CARCINOGENICOS**

Compound	Concentration (mg/m³)	Data Source
Acenaphthene	1.027	Lab
Acenaphthylene	0.897	Lab
Arsenic	0.0002	Lab
Benz(a)anthracene	0.226	Lab
Benzene	10.59	Field
Benzene	3.872	Lab
Benzo(a)pyrene	0.481	Lab
Benzo(a)pyrene	0.013	Field
Benzo(a)pyrene	0.344	Lab
Benzo(b)fluoranthene	0.019	Field
Benzyl chloride	0.314	Lab
Butadiene	0.052	Field
Carbon tetrachloride	2.058	Field
Chloroform	0.012	Lab
Chromium (Assumed to be all Cr VI ⁺)	0.446	Field
Chrysene	0.368	Lab
Chrysene	4.218	Field
Coal tar pitch volatiles	0.007	Lab
Dibenz(a,h)anthracene	0.035	Field
1,2-Dichloropropane	0.323	Field
Ethylene dichloride	0.298	Field
Hexachloroethane	0.0007	Lab
Lead (inorganic dust)	0.011	Field
Lead (inorganic dust)	0.210	Field
Methylene chloride	0.007	Lab
Nickel	0.473	Lab
Phenol	5.41	Field
Styrene	0.795	Lab
Styrene	0.003	Field
1,1,2-Trichloroethane	1.6	Field
Trichloroethylene		

TABLA 14. COMPUESTOS CON CONCENTRACIONES MAXIMAS REPORTADAS QUE EXCEDEN 33% DE SUS TLVs

Compound	Concentration mg/m ³	TLV mg/m ³	% TLV
Carbon monoxide	116.0000	29	400.00
Coal tar pitch volatiles	4.2180	0.2	2,109
Sulfur dioxide	2.7500	5	52.00
Sulfuric acid	0.7900	1	79.00
Vanadium (as pentoxide)	0.0175	0.05	35.00

TABLA 15. COMPUESTOS CON CONCENTRACIONES MAXIMAS REPORTADAS QUE EXCEDEN UN RFC SUBCRONICO O CRONICO (mg/m³)

Compound	Concentration	Subchronic RfC	Chronic RfC
Barium	0.0035	0.005	0.0005
Cumene	0.094	0.09	0.009
1,2-Dichloropropane	0.035	0.013	0.004
Hexane	0.21	0.2	0.2
Styrene	5.41	none	1
Toluene	6.7	2	0.4

afectados por los cambios en las condiciones del incendio, variaciones meteorológicas, y otros factores. Por eso hay que cuestionar la calidad de los datos, y no se hizo ningún evaluación a fondo de los datos individuales de monitoreo como parte de este estudio. Sin embargo, los datos son útiles para identificar los compuestos que sin duda están presentes durante un incendio de llantas.

Se recomienda que se conduzca el monitoreo ambiental durante la primera etapa y hasta el fin del incendio. Estos datos de monitoreo ayudarían al personal a carga tomar decisiones acerca del tipo de equipo de protección que se llevaría y la evacuación de civiles. Se recomiendan monitores que tomen lecturas directas para la respuesta inicial al incendio. Este tipo de equipo puede ser útil para proveer de datos inmediatos acerca de las condiciones IDLH, niveles tóxicos de contaminantes del aire, y atmósferas inflamables. Estos datos permitirían al equipo de respuesta evaluar la situación y empezar a tomar decisiones informadas. Para información más completa acerca del tipo y concentración de contaminantes específicos del aire durante el incendio, se deben suplementar los datos tomados con monitores de lectura directa con la recolección y análisis de muestras del aire.

Un incendio de llantas se puede arder sin llama por meses. Esta fase puede producir emisiones excesivas por el hecho de que no es una fase de quema completa y por tanto no resulta en una combustión completa. Por lo tanto, hay que seguir tomando muestras del aire, y seguir evaluando los datos, durante la fase de arder sin llama para asegurarse que se tomen decisiones apropiadas en cuanto a la salud y seguridad.

El desarrollo de un plan de monitoreo y/o recomendaciones acerca de equipo para tomar muestras del aire o métodos de monitoreo están fuera del alcance de este documento. Sin embargo, Adolfson et al., (1994) presentan una discusión detallada de estos temas.

3.0 LLANTAS COMO COMBUSTIBLE

Combustible derivado de llantas (TDF) ha sido exitosamente utilizado como una fuente de energía en la fabricación de cemento y cal, la generación de vapor para producir electricidad, y otros procesos industriales. Los resultados de reportes de muestras tomadas en chimeneas se resumen por categoría de fuente. Fuentes típicas que han tenido éxito en la integración de TDF con otros combustibles son:

- Hornos cementeros;
- Molinos de pulpa y papel;
- Centrales térmicas (inclusive las dedicadas a la quema de llantas); y
- Calderas industriales en general.

Se ha reconocido TDF como un combustible potencial desde hace mucho tiempo. Se compara favorablemente a carbón, como se presenta en la Tabla 16. Tiene un valor calorífico más alto que el de carbón, y menor contenido de agua. TDF contiene más carbón (elemento), un contenido de azufre parecido al de carbón "de azufre medio", pero mucho menos nitrógeno enlazado al combustible.

Hay que tomar en consideración varias cuestiones cuando se quema TDF en una fuente nueva o como una modificación a una fuente actual. Una consideración es la necesidad de convertir las llantas usadas a un combustible manejable. Esto se requiere un sistema para desalambrar, y triturar, o manipular el tamaño de una manera u otra, para que el combustor pueda acomodarlo. El TDF cortado a la medida, que facilita la alimentación, generalmente permite una combustión más eficiente. Sin embargo, algunos combustores grandes, por ejemplo hornos cementeros, calderas con fondos mojados, y calderas tipo *stoker-grate* se pueden modificar para aceptar llantas enteras. Modificaciones al equipo, manejo de combustión y/o otras prácticas de operación podrían ser necesarios para quemar TDF. Estas modificaciones son específicas al caso, y deben ser evaluadas por el equipo de ingenieros cuando se considera el uso de TDF.

3.1 SIMULACIÓN EN LABORATORIO DE EMISIONES DE TDF

Se condujeron pruebas de emisiones de TDF a escala piloto en un horno rotatorio simulador de incineración (RKIS) de 73 kW (250,000 BTU/hr) en el Environmental Research Center de la EPA en Research Triangle Park, NC (Lemieux, 1994). Se ha comprobado que este simulador exhibe las mismas características claves que las de unidades a escala grande con capacidades 20 a 40 veces más grande.

Se emprendió el programa de pruebas para proveer a las agencias de los Estados y agencias locales de ayuda técnica para establecer lineamientos para las licencias de funcionamiento, y para evaluar las solicitudes provenientes de fuentes que querían quemar llantas o TDF como combustible suplementario. Una lista de los compuestos blancos bajaría los costos de tomar muestras en chimenea.

TABLA 16. ANALISIS COMPARATIVA DE COMBUSTIBLE POR PESO (JONES, 1990)

Fuel	Composition (percent)						Heating Value		
	Carbon	Hydrogen	Oxygen	Nitrogen	Sulfur	Ash	Moisture	kJ/kg	Btu/lb
TDF	83.87	7.09	2.17	0.24	1.23	4.78	0.62	36,023	15,500
Coal	73.92	4.85	6.41	1.76	1.59	6.23	5.24	31,017	13,346

Los propósitos de este programa de pruebas eran: (1) generar un perfil de los compuestos blancos para guiar el diseño de un programa de muestreo en chimenea a escala completa, y (2) proveer una comprensión mejor de las cuestiones técnicas relacionadas a la combustión controlada de llantas usadas. Debido a las diferencias en escala, por ejemplo el fenómeno de la mezcla fase-gas y otros factores específicos al equipo, Lemieux hace notar que los factores de emisiones del RKIS no se pueden extrapolar directamente a fuentes de escala grande.

Además, hay diferencias significantes entre hornos y otros equipos de combustión, y no se trata de estos temas en este estudio. Sin embargo, el simulador es útil para examinar los fenómenos fundamentales de combustión de TDF y para comprender las tendencias cualitativas que se encontrarían en un horno rotatorio a escala grande.

El TDF que se utilizó en las pruebas TDF era goma "de migas" desalambrada con un diámetro <0.64 cm ($<1/4$ in.). Se quemó en varias combinaciones de flujo de alimentación, temperatura, y concentración de oxígeno en el horno. Se quemó el TDF utilizando el gas natural como el combustible primario. Se tomaron muestras de los compuestos orgánicos y semi-volátiles, PCDD/PCDF, y aerosoles de metales. Se recolectaron datos para determinar los efectos de flujo de alimentación, tipo de alimentación, por ejemplo la alimentación continua comparada a la alimentación intermitente, y los efectos de control de combustión en las emisiones. Se tomaron estos datos de los gases de escape antes de cualquier tipo de equipo de control anti-contaminantes. El estudio evaluó dos cuestiones: (1) la influencia del modo de alimentación de las llantas, es decir llantas enteras o llantas trituradas, en la formación de PICs, y (2) el potencial para emitir compuestos tóxicos que no se encuentran normalmente cuando se queman combustibles convencionales.

Se analizaron los componentes químicos del TDF usados en el programa de pruebas y los resultados de los análisis próximo y último de los metales se presentan en la Tabla 17. El TDF contiene cantidades significantes de zinc. El zinc se utiliza extensivamente en el proceso de la fabricación de llantas.

Se hicieron un total de 30 corridas, con el TDF variando de 0 a 21.4% del calor en la alimentación. Las condiciones de las pruebas se lograron variando el flujo del quemador del horno, el flujo de aire de combustión y el flujo de alimentación de las llantas. La mayoría de las pruebas se llevaron a cabo en estado estable de alimentación de TDF. Las variaciones en el modo de la alimentación del TDF fueron simuladas en dos pruebas. En una de estas pruebas, se incrementó y se bajó el flujo de aire al horno cada 10 minutos ("*ramp*") para cambiar la concentración de oxígeno para simular operaciones transitorias. En la otra prueba, se introdujo el TDF en lotes de 300 g cada diez minutos ("*batch*") para simular operaciones transitorias, como la alimentación de llantas enteras a intervalos periódicos.

Se tomaron muestras de COVs utilizando un tren de muestreo para COVs (VOST) y se analizaron con cromatografía de gas/espectroscopía de masa (GC/MS). La mayoría de los COVs estaban cerca o debajo de los límites de detección del aparato. Se presentan estimaciones de los COVs de cinco corridas representativas en la Tabla 18.

TABLA 17. ANALISIS PROXIMO Y ULTIMO DEL TDF UTILIZADO EN EL RKIS

Proximate Analysis

Moisture	0.84%
Volatile Matter	65.52%%
Ash	7.20%
Fixed Carbon	26.44%

Ultimate Analysis

Moisture	0.84%
Carbon	76.02%
Hydrogen	7.23%
Kjeldahl Nitrogen I Nitrogen Nitro	0.34%
Sulfur	1.75%
Total Halogens	0.31%
(calculated as chlorine)	
Ash	7.20%

Metals

Cadmium	<5 ppm
Chromium	<5 ppm
Iron	295 ppm
Lead	51 ppm
Zinc	2.14%

Heating Value

37,177 kJ/kg

**TABLA 18. ESTIMACIONES DE EMISIONES DE COVs - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS
EN EL RKIS (COMBUSTIBLE DE BASE - GAS NATURAL)**

Compound	0% TDF (Natural Gas Only)		7% TDF (steady-state)		17% TDF (steady-state)		19% TDF (ramp)		15% TDF (batch)	
	ng/J	lb/MMBtu	ng/J	lb/MMBtu	ng/J	lb/MMBtu	ng/J	lb/MMBtu	ng/J	lb/MMBtu
1,1,1 Trichloroethane	2.24E-04	5.21E-07	3.75E-04	8.72E-07	4.41E-04	1.03E-06	2.24E-04	5.21E-07	2.17E-04	5.05E-07
2-Methyl propene	9.60E-04	2.23E-06	2.30E-03	5.35E-06	1.94E-03	4.51E-06	7.37E-04	1.71E-06	2.33E-04	5.42E-07
2-Methyl-2-propanol benzene	2.13E-04	4.95E-07	2.15E-04	5.00E-07	1.81E-03	4.21E-06	2.24E-04	5.21E-07	2.33E-04	5.42E-07
Benzene	6.71E-04	1.56E-06	1.25E-04	2.91E-07	1.25E-04	2.91E-07	7.36E-03	1.71E-05	2.19E-02	5.09E-05
Bromomethane	2.00E-04	4.65E-07	2.15E-04	5.00E-07	2.58E-04	6.00E-07	1.22E-03	2.84E-06	3.82E-04	8.88E-07
Carbon disulfide	2.13E-04	4.95E-07	3.43E-04	7.98E-07	2.30E-04	5.35E-07	2.24E-04	5.21E-07	9.43E-04	2.19E-06
Chlorobenzene	2.13E-04	4.95E-07	2.15E-04	5.00E-07	2.30E-04	5.35E-07	2.24E-04	5.21E-07	2.20E-04	5.12E-07
Chloromethane	2.40E-04	5.58E-07	7.15E-04	1.66E-06	3.90E-03	9.07E-06	2.38E-02	5.53E-05	5.16E-02	1.20E-4
Ethylbenzene	2.13E-04	4.95E-07	2.15E-04	5.00E-07	2.70E-04	6.28E-07	2.24E-04	5.21E-07	4.96E-04	1.15E-06
Heptane	2.13E-04	4.95E-07	2.83E-04	6.58E-07	2.48E-04	5.77E-07	2.24E-04	5.21E-07	2.33E-04	5.42E-07
Hexane	2.01E-04	4.67E-07	2.45E-04	5.70E-07	2.45E-04	5.70E-07	2.24E-04	5.21E-07	2.36E-04	5.49E-07
Iodomethane	2.13E-04	4.95E-07	2.15E-04	5.00E-07	2.30E-04	5.35E-07	2.35E-04	5.47E-07	2.33E-04	5.42E-07
m,p-Xylene	6.21E-04	1.56E-06	4.17E-04	9.70E-07	1.06E-03	2.47E-06	2.64E-04	6.14E-07	1.78E-03	4.14E-06
Nonane	2.77E-04	6.44E-07	7.29E-04	1.70E-06	4.25E-04	9.88E-07	2.24E-04	5.21E-07	2.71E-04	6.30E-07
o-Xylene	1.85E-04	4.30E-07	2.15E-04	5.00E-07	3.18E-04	7.40E-07	2.24E-04	5.21E-07	5.24E-04	1.22E-06
Styrene	2.63E-04	6.12E-07	7.85E-04	1.83E-06	7.16E-04	1.67E-06	7.03E-04	1.63E-06	7.80E-04	1.81E-06
Toluene	3.97E-04	9.23E-07	5.02E-04	1.17E-06	4.64E-04	1.08E-06	3.48E-04	8.09E-07	1.29E-03	3.00E-06

Se analizaron los PAHs con un monitor continuo de emisiones (CEM) de PAH. Las emisiones de se hallaban más o menos insensibles a la temperatura y concentración de oxígeno para todas las condiciones estudiadas, sin embargo, incrementando el flujo de alimentación de TDF tendía a incrementar las emisiones de PAH para todos los niveles de oxígeno. En general, se observó que el hecho de suplementar el gas natural con TDF tendía a incrementar las emisiones de PAH levemente, siempre que se mantenga la combustión en estado estable.

Los compuestos orgánicos semi-volátiles (SVOC) y partículas totales se recolectaron utilizando el protocolo de muestreo isocéntrico con un tren de monitoreo *Modified Method 5* (MM5). Los datos indicaron que los SVOC se hallaban en concentraciones detectables. Lemieux (1994) concluye que cuando se quema TDF en un combustor bien diseñado y bien operado, las emisiones de SVOCs se parecen mucho a las de la quema de gas natural.

Se tomaron muestras de PCDD y PCDF durante dos condiciones de prueba: 0% TDF y 17% TDF (estado estable). No se detectaron PCDD/PCDF en estas las pruebas.

Se tomaron muestras de aerosoles de metales durante dos condiciones de prueba; 0% TDF and 17% TDF (estado estable). Se presentan estimaciones de las emisiones de metales provenientes de estas pruebas en la Tabla 19. La columna identificada como "*TDF-only*" (solo TDF) es una extrapolación lineal y se calculó dividiendo los valores en la columna "*TDF+natural gas*" (TDF+gas natural) por 17% (0.17). Se hallaron emisiones elevadas de arsénico, plomo, y zinc en los gases de escape. Las concentraciones de zinc fueron significantes.

Se tomaron muestras de partículas totales (PM) utilizando los trenes de monitoreo MM5 y MultiMetals. Los resultados de PM se presentan en la Tabla 20. Estas emisiones de PM representan emisiones incontroladas, tal como se encuentra antes de la instalación de un equipo de control de partículas. Como es de esperar, las emisiones de PM durante la quema de TDF son mayores a las de la combustión de gas natural solamente.

Los resultados de PM de la corrida donde se alimentó el horno con lotes de goma son los más altos que cualquier otra corrida. Esto podría sugerir que la quema de TDF en lotes, que se aproxima la alimentación con llantas enteras, tiene el potencial para formar emisiones transitorios significantes. Este fenómeno se podría exacerbar en un sistema que exhiba una estratificación vertical significativa, o que opere a niveles bajos de aire excesivo, como los hornos cementeros. Sin embargo, Lemieux (1994) cree que el tamaño de la fuente servirá para mitigar la intensidad de las emisiones transitorias que resultan de la carga de lotes de TDF, debido a que para una fuente extremadamente grande, un flujo constante de llantas enteras podría equivaler la combustión a estado estable. A pesar de esto Lemieux (1994) avisa que el potencial por la generación de emisiones transitorias grandes no debe ignorarse, especialmente en fuentes pequeñas.

Basado en este programa de pruebas, se ha concluido que, con la excepción de emisiones de zinc, no se espera que las emisiones potenciales de TDF sean muy diferentes a las de otros combustibles convencionales, siempre que la combustión se lleve a cabo en un

**TABLA 19. ESTIMACIONES DE EMISIONES DE METALES - RESULTADOS DE LAS PRUEBAS EN EL RKIS
(COMBUSTIBLE DE BASE - GAS NATURAL)**

Metal	0% TDF (Natural Gas Only)		17% TDF (steady-state)		TDF Only (estimated)	
	ng/J	lb/MMBTU	ng/J	lb/MMBTU	ng/J	lb/MMBTU
Antimony	7.72E-05	1.80E-07	9.05E-04	2.10E-06	5.32E-03	1.24E-05
Arsenic	4.80E-04	1.12E-06	1.59E-02	3.70E-05	9.35E-02	2.17E-04
Beryllium	nd	nd	2.14E-05	4.98E-08	1.26E-04	2.93E-07
Cadmium	1.76E-04	4.09E-07	4.54E-04	1.06E-06	2.67E-03	6.21E-06
Chromium	2.78E-04	6.46E-07	1.66E-03	3.86E-06	9.76E-03	2.27E-05
Lead	3.45E-03	8.02E-06	2.83E-02	6.58E-05	1.66E-01	3.86E-4
Manganese	1.21E-03	2.81E-06	2.48E-03	5.77E-06	1.46E-02	3.40E-05
Nickel	3.00E-04	6.98E-07	1.50E-03	3.29E-06	8.82E-03	2.05E-05
Selenium	3.56E-04	8.28E-07	1.93E-03	4.49E-06	1.14E-02	2.65E-05
Zinc	1.23E-01	2.86E-04	15.21	3.54E-02	89.47	2.08E-01

TABLA 20. CONCENTRACIONES DE PARTICULAS (PM) - PROGRAMA DE MUESTRAS RKIS

% TDF	Feed Type	Particulate Loading (mg/Nm³)¹
0.00	Steady-state	4.14
0.00	Steady-state	17.37
14.97	Batch	285.46
15.50	Steady-state	95.28
16.95	Steady-state	43.67
17.14	Steady-state	137.24
17.30	Steady-state	101.01
19.18	Ramp	132.95

¹ Nm³ is a normal cubic meter of gas at 0° C and 1 atmosphere pressure.

combustor bien diseñado, bien operado, y bien mantenido. Si las emisiones de zinc resultan en concentraciones de partículas inaceptables, se necesitaría instalar un equipo apropiado para controlar partículas.

3.2

MONITOREO EN CHIMENEA - CENTRALES TÉRMICAS Y FUENTES INDUSTRIALES

Se han recolectado datos de monitoreo en chimenea de una variedad de fuentes y se presentan estos datos en la Tabla 21 y Apéndice Tablas A-1 a A-22. Los datos de monitoreo de emisiones de contaminantes "criterio" de siete centrales térmicas se resumen en la Tabla 21. Por lo general, se disminuían las partículas y NO_x mientras el porcentaje de TDF se aumentaba. Las emisiones de SO_x no seguían el mismo patrón. No hay suficientes datos de monitoreo de CO para sacar conclusiones.

Los resúmenes del monitoreo de campo se presentan en el Apéndice. Empezando con la Tabla A-1, cada tabla se divide en dos partes. La parte "a" presenta un resumen de información de la fuente, tipo de fuente, combustibles, controles anti-contaminantes, condiciones de prueba, métodos de prueba, y datos de alimentación de combustible, si son disponibles. La parte "b" de la tabla presenta los datos de monitoreo en chimenea.

Datos para centrales térmicas individuales se presentan en las Tablas A-1 a A-8. La Tabla A-1 presenta datos de emisiones de la central térmica "A", la única fuente que utiliza exclusivamente llantas como combustible de todas las fuentes examinadas en este reporte. Los datos para las centrales térmicas B a H se presentan en las Tablas A-2 a A-8, respectivamente. Todas las plantas queman carbón como combustible principal, salvo la Planta E, que quema madera, y la Plant G, la cual quema carbón y madera, y la Planta H, la cual quema carbón y/o coque.

Se presentan los datos de dos hornos cementeros y un horno de cal en las Tablas A-9 a A-11. Los hornos cementeros queman una variedad de combustibles. La Fuente I quema gas natural y carbón, mientras la Fuente J quema una mezcla de carbón y coque. La Fuente K, un horno de cal, quema gas natural. La combinación de mucho tiempo en la cámara de combustión y altas temperaturas hace que los hornos cementeros sean un ambiente idóneo para TDF. Las emisiones de los hornos no se ven afectados negativamente por el uso de TDF en comparación a los combustibles de base, y muchas veces el uso de TDF representa un mejoramiento (Clark, et al., 1991).

Las emisiones de molinos de pulpa y papel se presentan en las Tablas A-12 a A-17 para las Fuentes L a Q, respectivamente. Los molinos de pulpa y papel queman una variedad de mezclas de madera, carbón, combustóleo o diesel, y lodo orgánico proveniente del sistema de tratamiento de aguas industriales. Para los calderas utilizados por los molinos incluidos en este reporte, partículas, zinc, y SO_2 tienden a incrementarse cuando se incrementa el porcentaje de TDF agregado. Las emisiones de PAHs de la Fuente M se disminuyeron, mientras las de la Fuente L se variaron. Se utiliza zinc en el proceso de fabricar las llantas, y se anticipa que las emisiones de zinc se incrementen mientras se incrementa el porcentaje

**TABLA 21. EMISIONES DE CONTAMINANTES CRITERIOS DE LAS CENTRALES TERMICAS
UTILIZANDO TDF**

Power Plant	Particulates (Total)		Sulfur Oxides		Nitrogen Oxides		Carbon Monoxide	
	g/MJ	lb/MMBTU	g/MJ	lb/MMBTU	g/MJ	lb/MMBTU	g/MJ	lb/MMBTU
<u>Facility A</u> 100% Tires	9.5 x10 ⁻⁷	2.2 x10 ⁻⁶	6.0 x10 ⁻⁶	1.4 x10 ⁻⁵	4.2 x10 ⁻⁵	9.8 x10 ⁻⁵	3.1 x10 ⁻⁵	7.2 x10 ⁻⁵
<u>Facility B</u> 0% TDF	0.090	0.21	0.606	1.41	0.34	0.78	NT	NT
5% TDF	0.0064	0.015	0.774	1.80	0.25	0.58	NT	NT
10% TDF	0.004	0.009	0.658	1.53	0.13	0.30	NT	NT
<u>Facility C</u> 0% TDF	0.22	0.52	0.490	1.14	0.34	0.79	0.654	1.52
7% TDF	0.060	0.14	0.37	0.87	0.39	0.91	3.12	7.26
<u>Facility D</u> 0% TDF	0.027	0.063	2.28	5.30	0.258	0.601	NT	NT
5% TDF	0.0308	0.0717	2.46	5.73	0.219	0.510	NT	NT
10% TDF	0.0242	0.0564	2.46	5.71	0.188	0.436	NT	NT
15% TDF	0.0350	0.0815	2.35	5.47	0.190	0.443	NT	NT
20% TDF	0.0195	0.0453	2.30	5.34	0.166	0.387	NT	NT
<u>Facility E</u> 0% TDF	0.036	0.083	0.0090	0.021	0.082	0.19	NT	NT
7% TDF	0.133	0.310	0.032	0.074	0.0537	0.125	NT	NT
<u>Facility F</u> 2% TDF	0.073	0.17	2.49	5.78	NT	NT	NT	NT

NT = Not tested or data not available.

Note: Above data taken directly from reference; no adjustment was made to significant digits.

de TDF. Además, el óxido de zinc tiene un diámetro pequeño y es posible que un depurador venturi no se lo controle eficazmente.

Se presentan las emisiones de calderas industriales utilizados en aplicaciones generales en las Tablas A-18 a A-22 para las Fuentes R a V, respectivamente. Estas fuentes queman carbón, salvo la Fuente V que quema madera. Estas fuentes sirven para la cogeneración y la generación de calor para la fabricación de bienes y para el procesamiento de comestibles.

Los datos presentados en las tablas del Apéndice se han recolectado de muchas fuentes de datos y se presentan en una variedad de formatos. Algunos datos se expresan en el formato de factores de emisión, es decir, masa de contaminante por unidad de valor calorífico [por ejemplo, gramos por megajoule (g/MJ) o libras por millón British Thermal Units (lb/MMBTU)]. Este formato es el más útil, debido a que se pueden comparar a otros sistema de combustión/control parecido. Sin embargo, no se debe considerar estos datos como factores de emisión reconocidos, porque no se han sometido a todas las pruebas de calidad y análisis estadístico que requeriría la EPA antes de que los validara.

Debido a que se tomaron muchas de las muestras en chimenea en respuesta a un requerimiento de su licencia de funcionamiento, se reportan como un límite de emisiones en forma de masa por unidad de tiempo (por ejemplo, kg/hr o lb/hr). Este tipo de datos es menos útil cuando se quiere comparar con otras fuentes. En estos casos, la mejor información que se puede sacar es una comparación entre el flujo de emisiones cuando está quemándose el TDF, con el flujo de emisiones cuando no está quemándose el TDF para cualquier contaminante.

En el resumen, o la Sección "a" de las tablas, los "métodos de prueba" [*Test Methods*] pueden indicar "no se sabe" [*Unknown*]. Aunque los detalles no estén disponibles, todas las fuentes con la referencia "Clark, et al., (1991)," refieren al reporte de la EPA llamado *Burning Tires for Fuel and Tire Pyrolysis: Air Implication*. La EPA revisó y comprobó la validez de los métodos y los procedimientos utilizados en las pruebas como una condición antes de incluir los datos en el reporte.

Es sumamente difícil establecer un factor de emisión universal, o un rango de factores de emisión como función de la cantidad de TDF agregada, debido a la cantidad limitada de datos de emisiones en comparación a las demás variables que influyen el flujo de emisiones de cualquier contaminante, por ejemplo:

- Combustible de base y variabilidad, por ejemplo azufre, nitrógeno, ceniza, metales, cloro, contenido de agua, etcétera. Además, se tomaron muestras de muchas fuentes que utilizaban combustibles múltiples (es decir, carbón y leña), que hacía más difícil identificar el impacto de TDF.
- La eficiencia del aparato de control anti-contaminantes se varía con el tipo de combustible. Por ejemplo, la eficiencia de un depurador venturi típicamente

decae cuando se trata de las partículas más pequeñas comunmente asociadas a la quema de TDF. Filtos de mangas y precipitadores electrostáticos son preferibles para el control de partículas emitidas de la quema de TDF.

- Diseño del combustor. Hay varios diseños para calderas; suspensión (lecho fluidizado y tipo ciclón) y "quema en lecho" *grate firing (traveling, reciprocating, and chain stokers; stokers may be either spreader, underfeed, or overfeed)*. La eficiencia de la combustión de TDF varía con cada tipo de diseño. Por ejemplo, típicamente es difícil quemar TDF en suspensión (por ejemplo en lechos fluidizados o calderas tipo ciclón), por su tamaño y peso. Sin embargo, se podría remediar este problema por medio de investigaciones adicionales. Hasta la fecha, el *spreader stoker* ha sido el diseño más exitoso y más utilizado para quemar TDF. Sin embargo, la mayoría de combustores que queman combustible sólido, y que están bien mantenidos, pueden acomodar exitosamente el TDF como combustible suplementario con un procesamiento consistente y bien controlado (es decir, tamaño y desalambramiento) de TDF.

La cantidad y tipo de procesamiento/ajuste de tamaño que se utilizan para convertir las llantas usadas a TDF. El tamaño de TDF (llantas enteras, trozo, tiras, or miga de goma) y tipo (con alambre o desalambrado) influencia el flujo y tipo de emisiones al aire.

4.0 REFERENCIAS

Adolfson Associates, Inc., 1994. Adolfson Associates, Inc., in association with Kim Coble, "Tire Fire Contingency Plan - Toxicology Aspects," prepared for Tacoma-Pierce County Health Department, Tacoma, WA, September 1994.

Amdur, 1991. Editors M. Amdur, J. Doull, C. Klaassen, "Casarett and Doull's TOXICOLOGY," Pergamon Press, 1991.

Am Test, Inc., 1991. Am Test, Inc., "Source Emission Evaluation, Volume I - State of Washington, Department of Ecology, Rubber Tire Chip Trial Burn at Holnam Incorporated Industries Stack Testing & Chemical Analysis, October 15-19, 1990," January 23, 1991.

ATSDR, 1990. Agency for Toxic Substances and Disease Registry Toxicological Profiles, "Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons," U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Atlanta, GA, 1990.

CAE, 1989. Clean Air Engineering (CAE), "Report on Diagnostic Testing Performed at Nekoosa Packaging, Tomahawk Mill, Units 7, 8, and 10," prepared for State of Wisconsin, Department of Natural Resources, CAE Project No. 4842/2, November 7, 1989.

CAE, 1991. Clean Air Engineering (CAE), "Report on Diagnostic Testing - Manitowoc Power Station, Manitowoc, WI," CAE Project No. 5727/3, December 4, 1991.

Clark, et al., 1991. C. Clark, K. Meardon, and D. Russell, Pacific Environmental Services, "Burning Tires for Fuel and Tire Pyrolysis: Air Implications," prepared for U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Control Technology Center, EPA-450/3-91-024 (NTIS PB-92-145358), Research Triangle Park, NC, December 1991.

Compliance Services, 1996. Compliance Services, Inc., "Source Test Report Boiler No. 8 Coal Trial Burn (PM10, SOx, NOx, and CO)," John Deere Works-Waterloo, Waterloo, IA, January 16, 1996.

Dennis, 1991. Daniel Dennis, "TDF - Report on Test-Burning of Tire-Derived Fuel in Solid Fuel Combustores, Revision 2," source test of Monsanto K. G. Krummrich Plant, Sauget, IL, prepared for Illinois Department of Commerce and Community Affairs, July 22, 1991.

IAFC and STMC, 1992. International Association of Fire Chiefs and the Llantas usada Management Council, "Guidelines for the Prevention and Management of Llantas usada Fires," available through the Llantas usada Management Council, Washington, D.C.

Interpoll, 1991. Interpoll Laboratories, "Results of the May 21 - 23, 1991 Air Emission Tests in Support of a Trial Burn at the NSP Bay Front Plant," Northern States Power Company, Eau Claire, WI, Report Number 1-3301, September 6, 1991.

Interpoll, 1992. Interpoll Laboratories, "Results of the December 9 - 14, 1991 Air Emission Tests in Support of the Iowa DNR Alternative Solid Fuels Testing Program at the University of Iowa in Iowa City," Report Number 1-3473, Submitted to State of Iowa Department of Natural Resources, Des Moines, IA, February 27, 1992.

Interpoll, 1993. Interpoll Laboratories, "Results of the June 30 and July 1, 1993 Air Emission Compliance Tests on the No. 1-2-3 Boilers Baghouse at the Cargill Plant in Eddyville, Iowa," Report Number 3-9827, Submitted to Cargill Incorporated, Corn Milling Division, Eddyville, IA, August 5, 1993.

Jones, 1990. R.M. Jones, J.M. Kennedy, Jr., and N.L. Heberer, "Supplementary Firing of Tire-Derived Fuel (TDF) in a Combination Fuel Boiler," TAPPI Journal, May 1990.

Lemieux, and Ryan, 1993. P. M. Lemieux and J. V. Ryan, "Characterization of Air Pollutants Emitted from a Simulated Llantas usada Fire," Journal of the Air and Waste Management Association, Volume 43: 1106-1115, August 1993.

Lemieux and DeMarini, 1992. P. M. Lemieux and D. DeMarini, "Mutagenicity of Emissions from the Simulated Open Burning of Scrap Rubber Tires," U.S. Environmental Protection Agency, Control Technology Center, Office of Research and Development, EPA-600/R-92-127 (NTIS PB-92-217009), July 1992.

Lemieux, 1994. P.M. Lemieux, "Pilot-Scale Evaluation of the Potential for Emissions of Hazardous Air Pollutants from Combustion of Tire-Derived Fuel," U.S. Environmental Protection Agency, Control Technology Center, EPA-600/R-94-070, April 1994.

Malcolm Pirnie, 1991. Malcolm Pirnie, Inc., "Air Emissions Associated with the Combustion of Llantas usadas for Energy Recovery," prepared for Ohio Air Quality Development Authority, May 1991.

NIOSH, 1984. National Institute for Occupational Safety and Health, "Rhinehart Tire Fire, Winchester, VA," U.S. Department of Health and Human Service, " - Health Hazard Evaluation Report," HETA 84-044-1441, March 1984.

Ohio Edison, 1990. Ohio Edison Company, "Results for the Ohio Edison Tire Burn Test at Ohio Edison Company, Toronto Plant, Toronto, Ohio, May 21 through 25, 1990 - Results for: Air Emissions Tests, Bottom Ash Transport Water Tests, Fly Ash Waste Analysis, and Bottom Ash Waste Analysis," prepared for Ohio Environmental Protection Agency, August, 1990.

Pace, 1988. Pace Laboratories, Incorporated, "Results for the October 28-30, 1987 Criteria and Non-Criteria Emission Compliance Testing on the Unit 3 Stack at the Champion International Facility Located in Sartell, Minnesota; Volume 1 of 2 - Results," February 3, 1988.

Pace, 1990. Pace Laboratories, Incorporated, "Results for the March 12-16, 1990 Tire Derived Fuel Trial Burn Testing on the Unit 3 Stack at the Champion International Corporation Facility Located in Sartell, Minnesota," Minneapolis, MN, May 24, 1990.

Radian, 1988. Radian Corporation, "Modesto Energy Company, Waste Tire to Energy Facility, Westley, California, Final Emission Test Report," prepared for Oxford Energy Company, Boston, MA, Research Triangle Park, NC, April 1988.

Ryan, 1989. J. Ryan, Acurex Corporation, "Characterization of Emissions from the Simulated Open Burning of Llantas usadas," U.S. Environmental Protection Agency, Control Technology Center, EPA-600/2-89-054 (NTIS PB90-126004), Research Triangle Park, NC, October 1989.

State of Washington, 1986a. State of Washington, Department of Ecology, "Source Test Summary of Emissions to Atmosphere at Boise Cascade, Wallula, Source Test 86-08," July 16, 1986.

State of Washington, 1986b. State of Washington, Department of Ecology, "Polynuclear Aromatic Hydrocarbons and Metals Emitted from the Burning of Tires at Boise Cascade, Wallula, May 20 and 21, 1986 - Source Test 86-08a," November 25, 1986.

State of Washington, 1986c. State of Washington, Department of Ecology, "Measurement of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons and Metals Emitted from the Burning of Tires at Crown Zellerbach, Port Angeles, Source Test 86-10a," November 25, 1986.

State of Washington, 1986d. State of Washington, Department of Ecology, "Source Test Summary of Emissions to Atmosphere - Crown Zellerbach, Port Angeles, Source Test 86-10," 1986.

State of Washington, 1986e. State of Washington, Department of Ecology, "Source Test Summary of Emissions to Atmosphere - Port Townsend Paper Company, Port Townsend, Source Test 86-01," 1986.

Stofferahn and Simon, 1987. Jeffery A. Stofferahn and Verneta Simon, "Emergency Response to a Large Tire Fire: Reducing Impacts to Public Health and the Environment," presented at Haztech International Conference, St. Louis, MO, August 1987.

The Almaga Corp., 1990. The Almaga Corporation, "Summary of Emission Rates," prepared for Oxford Energy Company, 1990.

TRC, 1993. TRC Environmental Corporation, "Analysis of the Ambient Monitoring Data in the Vicinity of Open Tire Fires," EPA-453/R-93-029 (NTIS PB94-156197), U.S. Environmental Protection Agency, Office of Air Quality Planning and Standards, Research Triangle Park, NC, July 1993.

**APENDICE: DATOS DE EMISIONES DE LA QUEMA
CONTROLADA DE LLANTAS**

LISTA DE TABLAS

Tablas	Página
A-1a. Fuente A - Central Térmica Dedicada a la Quema de Llantas	A-5
A-1b. Fuente A - Central Térmica Dedicada a la Quema de Llantas	A-6
A-2a. Fuente B - Central Térmica que Quema Carbón	A-10
A-2b. Fuente B - Central Térmica que Quema Carbón	A-11
A-3a. Fuente C - Central Térmica que Quema Carbón	A-12
A-3b. Fuente C - Central Térmica que Quema Carbón	A-13
A-4a. Fuente D - Central Térmica que Quema Carbón	A-14
A-4b. Fuente D - Central Térmica que Quema Carbón	A-15
A-5a. Fuente E - Central Térmica que Quema Leña	A-16
A-5b. Fuente E - Central Térmica que Quema Leña	A-17
A-6a. Fuente F - Central Térmica que Quema Carbón	A-18
A-6b. Fuente F - Central Térmica que Quema Carbón - 2% TDF	A-19
A-7a. Fuente G - Central Térmica que Quema Carbón y Leña	A-20
A-7b. Fuente G - Central Térmica que Quema Carbón y Leña	A-21
A-8a. Fuente H - Central Térmica que Quema Carbón y Coque	A-23
A-8b. Fuente H - Central Térmica que Quema Carbón y Coque	A-24
A-9a. Fuente I - Horno Cementero	A-25
A-9b. Fuente I - Horno Cementero	A-26
A-10a. Fuente J - Horno Cementero	A-27
A-10b. Fuente J - Horno Cementero	A-28
A-11a. Fuente K - Horno de Cal	A-30
A-11b. Fuente K - Horno de Cal	A-31
A-12a. Fuente L - Molino de Pulpa	A-33
A-12b. Fuente L - Molino de Pulpa - PNA y Emisiones de Metales	A-34
A-13a. Fuente M - Molino de Pulpa y Papel	A-36
A-13b. Fuente M - Molino de Pulpa y Papel - PNA y Emisiones de Metales	A-37
A-14a. Fuente N - Molino de Pulpa y Papel	A-39
A-14b. Fuente N - Molino de Pulpa y Papel - PM	A-40
A-14c. Fuente N - Molino de Pulpa y Papel - Resultados de Muestras No-Partículas	A-41
A-15a. Fuente O - Molino de Papel	A-43
A-15b. Fuente O - Molino de Papel	A-44
A-16a. Fuente P - Molino de Pulpa y Papel	A-45
A-16b. Fuente P - Molino de Pulpa y Papel	A-46
A-17a. Fuente Q - Molino de Pulpa y Papel	A-49
A-17b. Fuente Q - Molino de Pulpa y Papel	A-50
A-18a. Fuente R - Cogeneración	A-51
A-18b. Fuente R - Cogeneración	A-52

(a continuación)

LISTA DE TABLAS (a continuación)

A-19a. Fuente S - Caldera Industrial	A-53
A-19b. Fuente S - Caldera Industrial	A-54
A-20a. Fuente T - Caldera Industrial	A-56
A-20b. Fuente T - Caldera Industrial	A-57
A-21a. Fuente U - Caldera Industrial	A-58
A-21b. Fuente U - Caldera Industrial	A-59
A-22a. Fuente V - Caldera Industrial	A-60
A-22b. Fuente V - Caldera Industrial	A-61

GLOSARIO INGLES/ESPAÑOL DE LOS TERMINOS UTILIZADOS EN LAS TABLAS DEL APENDICE

Término o Frase en Inglés;

air pollution control device
cement kiln
coal
cogeneration
conveyor
dedicated tire-to-energy utility boiler

fabric filter
facility
fuel handling/feeding
hammer mills
industrial boiler
lime kiln
multiclone
petroleum coke
pulp and paper mill
pulp mill
selective non-catalytic reduction
source type
Table
test conditions
test methods
total energy feed rate
wet scrubber with lime injection
whole tires
wood
wood chips
wood waste

Término o Frase en Español

equipo anti-contaminante
horno cementero
carbón
cogeneración
cinta transportadora
central térmica dedicada a la quema de
llantas
filtro de mangas
fuente
alimentación de combustible
molinos de martillo
caldera industrial
orno de cal
ciclón múltiple
coque
molina de pulpa y papel
molino de pulpa
reducción selectiva no catalítica
tipo de combustor
Tabla
condiciones de prueba
métodos de prueba
flujo de alimentación de energía
depurador con inyección de cal
llantas enteras
leña o madera
pedacitos de madera
desechos de madera

Table A-1a. Facility A - Dedicated Tires-to-Energy Power Plant

Source Description	
Facility Name, Location:	Modesto Energy Company Westley, CA
Facility Type:	Utility - Dedicated Tires-to-Energy
Source Type:	Two Boilers (designed for 100% TDF).
Test Dates:	December 4-5, 1987, January 9 - 12, 1988, October 9-11, 1990
Other fuel(s):	None
Air pollution control device(s) used:	NO _x : Selective non-catalytic reduction (ammonia injection). PM: Fabric filter with Gore-Tex® bags. SO _x : Wet scrubber with lime injection.
Test Conditions:	100% TDF
Test Methods:	CARB Methods 5, 8, 100, 421, Method 5 (metals), Modified Method 5 (Semi-VOST), Modified Method 6 (NH ₃)
Fuel Handling/Feeding:	Whole tires up to 4 feet in diameter, 350 to 400 tires per hour feed rate (assuming 20 lb/tire; approximately 7,000 to 8,000 lbs/hr), total energy feed rate 190 MMBtu.
Testing Company:	Radian (1988), The Almaga Corp. (1990)
Environmental Agency:	Stanislaus County APCD (now San Joaquin Valley Unified APCD)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates	X		
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-1b. Facility A - Dedicated Tires-to-Energy Power Plant

Pollutant	Limit				1988		October 9-11, 1990 ^a		October 9-11, 1990 ^a	
	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	g/MJ	lb/MMBtu
<u>Criteria</u>										
CO	157.4	346.4	112.6	247.8	141.6	311.5			3.1 x10 ⁻⁵	7.2 x10 ⁻⁵
NO _x	227.2	500.0	174.7	384.3	193.0	424.6			4.2 x10 ⁻⁵	9.8 x10 ⁻⁵
PM	51.36	113.0	14.2	31.2	42.32	93.12			9.4 x10 ⁻⁶	2.2 x10 ⁻⁵
SO _x	113.6	250.0	57.7	127	28.1 ^b	61.9 ^b			6.0 x10 ^{-6(b)}	1.4 x10 ^{-5(b)}
HC	67.44	148.4	0.294	0.646	NT	NT			NT	NT
<u>Metals</u>										
Lead	N/A	N/A	0.012	0.026	0.003 ^c	0.006 ^c			5.5 x10 ^{-7(c)}	1.3 x10 ^{-6(c)}
Cadmium	N/A	N/A	0.00082	0.0018	0.0073	0.016			1.6 x10 ⁻⁶	3.7 x10 ⁻⁶
Chromium (total)	N/A	N/A	0.00050	0.0011	0.0091	0.020			2.0 x10 ⁻⁶	4.7 x10 ⁻⁶
Mercury	N/A	N/A	<0.00001	<0.00003	0.001	0.003			2.9 x10 ⁻⁷	6.7 x10 ⁻⁷
Arsenic	N/A	N/A	0.0012	0.0026	ND	ND			ND	ND
Zinc	N/A	N/A	3.52	7.75	0.283	0.623			6.0 x10 ⁻⁴	1.4 x10 ⁻⁴
Chromium (hex)	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND			ND	ND
Copper	N/A	N/A	0.0068	0.015	0.015 ^c	0.032 ^c			3.2 x10 ⁻⁶	7.5 x10 ⁻⁶
Manganese	N/A	N/A	0.011	0.023	0.003	0.007			6.9 x10 ^{-7(c)}	1.6 x10 ^{-6(c)}

(Continued)

Table A-1b. Facility A - Dedicated Tires-to-Energy Power Plant (Cont.)

Pollutant	Limit		1988		October 9-11, 1990 ^a		October 9-11, 1990 ^a	
	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	g/MJ	lb/MMBtu
Nickel	N/A	N/A	NT	NT	0.012 ^c	0.027 ^c	2.7 x10 ^{-6(c)}	6.3 x10 ^{-6(c)}
Tin	N/A	N/A	NT	NT	0.0082	0.018	1.8 x10 ⁻⁶	4.2 x10 ⁻⁶
Aluminum	N/A	N/A	0.13	0.28	0.0459 ^c	0.101 ^c	9.9 x10 ^{-6(c)}	2.3 x10 ^{-5(c)}
Iron	N/A	N/A	0.28	0.62	0.144 ^c	0.316 ^c	3.1 x10 ^{-5(c)}	7.3 x10 ^{-5(c)}
Beryllium	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND
Organics								
	N/A	N/A	<10.1	<22.3	NT	NT	NT	NT
Dioxin and Furan	N/A	N/A	1.9 x10 ⁻⁷	4.2 x10 ⁻⁷	NT	NT	NT	NT
PAH	N/A	N/A	0.0054	0.012	NT	NT	NT	NT
PCB	N/A	N/A	2.60 x10 ⁻⁴	5.71 x10 ⁻⁴	NT	NT	NT	NT
Naphthalene	N/A	N/A	NT	NT	0.002 ^c	0.005 ^c	5.1 x10 ^{-7(c)}	1.2 x10 ^{-6(c)}
Acenaphthylene	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND
Acenaphthene	N/A	N/A	NT	NT	1.1 x10 ^{-5(c)}	2.4 x10 ^{-5(c)}	2.4 x10 ^{-9(c)}	5.6 x10 ^{-9(c)}
Fluorene	N/A	N/A	NT	NT	3.3 x10 ^{-5(c)}	7.2 x10 ^{-5(c)}	7.3 x10 ^{-9(c)}	1.7 x10 ^{-8(c)}
Anthracene	N/A	N/A	NT	NT	2.2 x10 ^{-5(c)}	4.8 x10 ^{-5(c)}	4.7 x10 ^{-9(c)}	1.1 x10 ^{-8(c)}
Fluoranthene	N/A	N/A	NT	NT	3.3 x10 ^{-5(c)}	7.2 x10 ^{-5(c)}	7.3 x10 ^{-9(c)}	1.7 x10 ^{-8(c)}

(Continued)

Table A-1b. Facility A - Dedicated Tires-to-Energy Power Plant (Cont.)

Pollutant	Limit			1988			October 9-11, 1990 ^a			October 9-11, 1990 ^a		
	kg/day	lb/day	kg/day	kg/day	lb/day	kg/day	kg/day	lb/day	g/MJ	lb/MMBtu	g/MJ	lb/MMBtu
Pyrene	N/A	N/A	NT	NT	NT	4.4 x10 ^{-5(c)}	4.4 x10 ^{-5(c)}	9.6 x10 ^{-5(c)}	9.5 x10 ^{-9(c)}	2.2 x10 ^{-8(c)}	ND	ND
Benz(a)anthracene	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Chrysene	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzo(b)fluoranthene	N/A	N/A	NT	NT	NT	1.1 x10 ^{-5(c)}	1.1 x10 ^{-5(c)}	2.4 x10 ^{-5(c)}	2.4 x10 ^{-9(c)}	5.6 x10 ^{-9(c)}	ND	ND
Benzo(k)fluoranthene	N/A	NA	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzo(a)pyrene	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Dibenzo(a,h)anthracene	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Benzo(g,h,i)perylene	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Indeno (1,2,3-cd)pyrene	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Phenanthrene	N/A	N/A	NT	NT	NT	1.1 x10 ^{-4(c)}	1.1 x10 ^{-4(c)}	2.4 x10 ^{-4(c)}	2.4 x10 ^{-9(c)}	5.6 x10 ^{-9(c)}	ND	ND
Phenol	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Formaldehyde	N/A	N/A	NT	NT	NT	0.334 ^c	0.334 ^c	0.735 ^c	7.3 x10 ^{-5(c)}	1.7 x10 ^{-4(c)}	ND	ND
Benzene	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Monochlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(Continued)

Table A-1b. Facility A - Dedicated Tires-to-Energy Power Plant (Cont.)

Pollutant	Limit		1988				October 9-11, 1990 ^a		October 9-11, 1990 ^a	
	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	kg/day	lb/day	g/MJ	lb/MMBtu
Dichlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Trichlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Tetrachlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pentachlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Hexachlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Heptachlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nonachlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Decachlorobiphenyl	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Vinyl chloride	N/A	N/A	NT	NT	ND	ND	ND	ND	ND	ND

^a Assumed 24 hr/day operation.

^b As sulfur trioxide; sulfur dioxide not reported.

^c MQL or trip blank showed significant measurement.

N/A = Not applicable.

NT = Not tested or data not available.

ND = Data not determined.

Table A-2a. Facility B - Coal-Fired Power Plant

Source Description	
Facility Name, Location:	United Power Association Elk River, MN
Facility Type:	Utility
Source Type:	Three boilers, TDF tested in 2 stoker-fired with traveling grate, 135,000 lb steam/hr; 12 MW capacity.
Test Dates:	May, 1979
Other fuel(s):	Coal
Air pollution control device(s) used:	Fabric filter
Test Conditions:	100% coal 95% coal, 5% TDF 90% coal, 10% TDF
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Coal/TDF blending system at reclaim hoppers. Variable speed conveyor belt used to control mixture during fuel reclaim. System worked well up to 10% TDF.
Testing Company:	Burns & McDonnell
Environmental Agency:	Illinois Department of Commerce and Community Affairs has been spearheading efforts to support the use of TDF.
Reference:	Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates		X	X
Multiple Baseline Fuels			X
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency			

Table A-2b. Facility B - Coal-Fired Power Plant

Pollutant	0% TDF			5% TDF			10% TDF		
	kg/h r	lb/hr	g/MJ	lb/ MMBtu	kg/h r	lb/hr	g/MJ	lb/ MMBtu	kg/hr
Particulate	2.50	5.49	0.0090	0.021	1.61	3.55	0.0064	0.015	1.19
SO ₂	173	380	0.606	1.41	206	454	0.774	1.80	195
NO _x	91.8	202	0.34	0.78	65.4	144	0.25	0.58	41
H ₂ SO ₄	1.8	4.0	0.0065	0.015	1.6	3.6	0.0060	0.014	1.5
Chloride (as Cl-) inlet to fabric filter	3.7	8.1	0.013	0.029	3.3	7.2	0.013	0.029	3.5
									7.7
									0.012
									0.027

Table A-3a. Facility C - Coal-Fired Power Plant

Source Description	
Facility Name, Location:	Wisconsin Power & Light (WP&L) - Rock River Generating Station, Beloit, WI
Facility Type:	Utility
Source Type:	Two Boilers, cyclone-fired, @ 75 MW capacity; 525,000 lb steam/hr.
Test Dates:	February/March 1991
Other fuel(s):	Coal
Air pollution control device(s) used:	ESPs
Test Conditions:	100% Coal 93% Coal, 7% TDF
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Initially, existing coal crushers did not significantly reduce size of TDF and magnets pulled small crumb rubber from conveyor. Additional coal yard conveyor was added to safely blend TDF with coal downstream from coal crushing equipment.
Testing Company:	Unknown
Environmental Agency:	Wisconsin DNR
Reference:	Clark, et al (1991), Malcolm Pirnie (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	some		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-3b. Facility C - Coal-Fired Power Plant

Pollutant	Emissions Units	100% Coal	7% TDF	% Change
Particulate Matter	g/MJ	0.22	0.060	-73
	lb/MMBtu	0.52	0.14	-73
Sulfur Dioxide	g/MJ	0.490	0.37	-24
	lb/MMBtu	1.14	0.87	-24
Nitrogen Oxides	g/MJ	0.34	0.39	+16
	lb/MMBtu	0.79	0.91	+16
Carbon Monoxide	kg/hr	0.691	3.30	+377
	lb/hr	1.52	7.26	+377
Hydrocarbons (as CH ₄)	kg/hr	2.35	4.668	+99
	lb/hr	5.16	10.27	+99
HCl	kg/hr	11.71	9.040	-23
	lb/hr	25.77	19.89	-23
HF	kg/hr	0.845	0.609	-28
	lb/hr	1.86	1.34	-28

^a Semivolatile organic samples at 4% TDF were lost in a lab accident; thus, baseline results are not included here.

^b Baseline = 82% coal, 13% bark, 5% sludge, 0% TDF.

^c TDF = 80% coal, 12% bark, 4% sludge, 4% TDF.

Table A-4a. Facility D - Coal-Fired Power Plant

Source Description	
Facility Name, Location:	Ohio Edison Toronto, Ohio
Facility Type:	Utility
Source Type:	Boiler - Pulverized coal feed, front-fired, wet bottom, noncontinuous tap.
Test Dates:	May 21 - 25, 1990
Other fuel(s):	Coal
Air pollution control device(s) used:	ESP
Test Conditions:	0%, 5%, 10%, 15%, 20% TDF
Test Methods:	EPA Methods 2, 3, 5, 6, 7A
Fuel Handling/Feeding:	Pulverized coal-fired boiler required modifications; an additional opening was created in the boiler wall to feed whole tires into the boiler.
Testing Company:	Entropy Environmentalists
Environmental Agency:	Ohio EPA
Reference:	Ohio Edison (1990), Clark, et al (1991), Malcolm Pirnie (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates	X		
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency		X	

Table A-4b. Facility D - Coal-Fired Power Plant

	Tire Feed Rate	Particulate			SO ₂		NO _x		Lead	
		g/MJ	lb/MMBtu	g/MJ	lb/MMBtu	g/MJ	lb/MMBtu	g/MJ	lb/MMBtu	
Day 1 0% Tires	Run 1	0.0328	0.0764	2.03	4.71	0.327	0.761	4.03 x10 ⁻⁵	9.38 x10 ⁻⁵	
	Run 2	0.0159	0.0370	2.21	5.15	0.257	0.598	4.00 x10 ⁻⁵	9.31 x10 ⁻⁵	
	Run 3	0.0327	0.0760	2.59	6.03	0.191	0.445	4.39 x10 ⁻⁵	1.02 x10 ⁻⁴	
	Average	0.0271	0.0631	2.28	5.30	0.258	0.601	4.02 x10 ⁻⁵	9.63 x10 ⁻⁵	
Day 2 5% Tires	Run 1	0.0203	0.0472	2.34	5.44	0.168	0.391	4.18 x10 ⁻⁵	9.73 x10 ⁻⁵	
	Run 2	0.0412	0.0959	2.51	5.83	0.235	0.547	4.29 x10 ⁻⁵	9.97 x10 ⁻⁵	
	Run 3	0.0309	0.0719	2.55	5.93	0.255	0.593	4.34 x10 ⁻⁵	1.01 x10 ⁻⁴	
	Average	0.0308	0.0717	2.46	5.73	0.219	0.510	4.27 x10 ⁻⁵	9.93 x10 ⁻⁵	
Day 3 10% Tires	Run 1	0.0178	0.0414	2.42	5.62	0.139	0.324	4.20 x10 ⁻⁵	9.77 x10 ⁻⁵	
	Run 2	0.0384	0.0892	2.48	5.76	0.206	0.478	4.15 x10 ⁻⁵	9.66 x10 ⁻⁵	
	Run 3	0.0166	0.0385	2.47	5.74	0.217	0.504	4.07 x10 ⁻⁵	9.47 x10 ⁻⁵	
	Average	0.0243	0.0564	2.46	5.71	0.188	0.436	4.14 x10 ⁻⁵	9.63 x10 ⁻⁵	
Day 4 15% Tires	Run 1	0.0336	0.0781	2.09	4.85	0.147	0.342	4.00 x10 ⁻⁵	9.31 x10 ⁻⁵	
	Run 2	0.0334	0.0776	2.49	5.80	0.196	0.455	4.24 x10 ⁻⁵	9.86 x10 ⁻⁵	
	Run 3	0.0382	0.0889	2.47	5.75	0.228	0.531	4.22 x10 ⁻⁵	9.82 x10 ⁻⁵	
	Average	0.0350	0.0815	2.35	5.47	0.191	0.443	4.15 x10 ⁻⁵	9.66 x10 ⁻⁵	
Day 5 20% Tires	Run 1	0.0162	0.0377	2.16	5.03	0.135	0.313	3.79 x10 ⁻⁵	8.81 x10 ⁻⁵	
	Run 2	0.0163	0.0380	2.31	5.38	0.175	0.407	4.02 x10 ⁻⁵	9.34 x10 ⁻⁵	
	Run 3	0.0259	0.0603	2.41	5.60	0.201	0.440	3.96 x10 ⁻⁵	9.21 x10 ⁻⁵	
	Average	0.019	0.0453	2.30	5.34	0.166	0.387	3.92 x10 ⁻⁵	9.12 x10 ⁻⁵	

Table A-5a. Facility E - Wood-Fired Power Plant

Source Description	
Facility Name, Location:	Northern States Power Company, French Island Plant French Island, WI
Facility Type:	Utility
Source Type:	Bubbling Fluidized Bed Boiler, 150,000 lb steam/hr capacity.
Test Dates:	1982
Other fuel(s):	Wood waste
Air pollution control device(s) used:	Unknown
Test Conditions:	100% Wood waste 91% Wood waste, 9% Rubber Buffings 93% Wood waste, 7% TDF
Test Methods:	Unknown
Testing Company:	Unknown
Environmental Agency:	Wisconsin DNR
Reference:	Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency			X

Table A-5b. Facility E - Wood-Fired Power Plant

Pollutant	100% Wood-Waste			9% Rubber Buffings				7% TDF				
	kg/hr	lb/hr	g/MJ	lb/MMBtu	kg/hr	lb/hr	g/MJ	lb/MMBtu	kg/hr	lb/hr	g/MJ	lb/MMBtu
Particulate	NT	NT	0.036	0.083	NT	NT	0.11 ^a	0.25 ^a	NT	NT	0.13 ^a	0.31 ^a
SO ₂	3	7	0.086	0.020	NT	NT	NT	NT	23	50	0.032	0.074
NO _x	41	90	0.082	0.19	NT	NT	NT	NT	22	48	0.0538	0.125
CO	1,050	2,300	NT	NT	1,200	2,700	NT	NT	1,000	2,200	NT	NT
Aldehydes	30.3	66.6	NT	NT	6.4	14	NT	NT	5.5	12	NT	NT
Benzene	8.2	18	NT	NT	NT	NT	NT	NT	11	25	NT	NT
Phenols	28	61	NT	NT	NT	NT	NT	NT	6.4	14	NT	NT
Polyaromatic hydrocarbons	59.1	130	NT	NT	NT	NT	NT	NT	77.3	170	NT	NT

a Exceeds Wisconsin limit of 0.15 lb/MMBtu.

NT = Not tested or data not available.

Table A-6a. Facility F - Coal-Fired Power Plant

Source Description

Facility Name, Location:	Illinois Power - Baldwin Generating Station Baldwin, IL
Facility Type:	Utility
Source Type:	Two cyclone fired boilers, universal pressure, balanced draft, turbine rated 560 MW, capacity: 4,199,000 lb steam/hr.
Test Dates:	March 21, 1991
Other fuel(s):	Coal
Air pollution control device(s) used:	ESP (Western Precipitation)
Test Conditions:	2% TDF
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Mixing of coal and TDF occurs at front of closed conveyor system. TDF went through hammer mills at time of test, but size did not decrease appreciably.
Testing Company:	Burns & McDonnell
Environmental Agency:	Unknown
Reference:	Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation

	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form		X	
Baseline Fuel Test Data Available		X	
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency			X

Table A-6b. Facility F - Coal-Fired Power Plant - 2% TD

Pollutant	kg/hr	lb/hr	g/MJ	lb/MMBtu
PM (ESP inlet)	8,147.790	17,926.93	1.478	3.438
PM (ESP outlet)	419.4	922.7	0.0740	0.1722
SO ₂ ^a	NT	NT	2.27	5.28
Beryllium	0.00439	0.00966	NT	NT
Cadmium	0.01085	0.02387	NT	NT
Total Chromium	0.25565	0.56249	NT	NT
Lead	0.03679	0.08095	NT	NT
Zinc (filter catch only)	0.00220	0.00484	NT	NT

^a Stack concentration = 2,396.

NT = Not tested or data not available.

Table A-7a. Facility G - Coal and Wood-Fired Power Plant

Source Description	
Facility Name, Location:	Northern States Power Company, Bay Front Plant Eau Claire, WI
Facility Type:	Utility
Source Type:	Boiler - two drum (Sterling) equipped with Detroit rotograte and spreader stoker (150,000 lb steam/hr capacity) .
Test Dates:	May 21 - 23, 1991
Other fuel(s):	Wood chips, coal
Air pollution control device(s) used:	Electrolyzed gravel bed filter (EFB, Inc., manufacturer)
Test Conditions:	100% wood chips, 95% wood chips, 5% coal, 95% wood chips, 5% TDF
Test Methods:	For PM, SO ₂ , CO: EPA Methods 1 - 6 and 10 CFR Title 40, Part 60, Appendix A (rev. July 1, 1990). (Method 5; front and backhalf extraction.) For benzene: EPA Method 18 For formaldehyde: Modified NIOSH 3500. For PAHs: EPA Method 0010, using modified method 5 sampling train. Analyzed in accordance with EPA Method 8270.
Testing Company:	Interpoll Laboratories, Inc.
Environmental Agency:	Wisconsin DNR
Reference:	Interpoll (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	some		
Baseline Fuel Test Data Available	X		X
Accurate Fuel Feed Rates	X		
Multiple Baseline Fuels			
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-7b. Facility G - Coal and Wood-Fired Power Plant

Compound		Emission Factor or Rate		
		100% Wood Chips	Wood Chips + 5% Coal	Wood Chips +5% TDF
PM	g/MJ	0.0490	0.037	0.040
	lb/MMBtu	0.114	0.085	0.093
SO ₂	g/MJ	0.003	0.001	0.001
	lb/MMBtu	0.006	0.003	0.003
CO	kg/hr	188	50.4	34.5
	lb/hr	414	111	76.0
Formaldehyde	kg/hr	0.0773	0.0727	0.0477
	lb/hr	0.170	0.160	0.105
Benzene	kg/hr	0.0741	≤0.010	≤0.011
	lb/hr	0.163	≤0.022	≤0.023
Benzo(a)anthracene	ug/sec	>66	>66	>66
Benzo(b)fluoranthene	ug/sec	>36	>37	>37
Benzo(a)pyrene	ug/sec	>14	>14	>14
Dibenzo(a,h)anthracene	ug/sec	>32	>33	>33
Indeno(1,2,3)pyrene	ug/sec	>33	>33	>33
Dibenzo(a,h)acridine	ug/sec	>552	>553	>553

(Continued)

Table A-7b. Facility G - Coal and Wood-Fired Power Plant (Cont.)

Compound		Emission Factor or Rate		
		100% Wood Chips	Wood Chips + 5% Coal	Wood Chips +5% TDF
Dibenzo(a,j)acridine	ug/sec	>552	>553	>553
7H-dibenzo(c,g)carbazole	ug/sec	>44	>44	>44
Dibenzo(a,h)pyrene	ug/sec	>737	>738	>738
Dibenzo(a,i)pyrene	ug/sec	>737	>738	>738
Idenol(1,2,3-cd)pyrene	ug/sec	NT	>33	>33

^a Semivolatile organic samples at 4% TDF were lost in a lab accident; thus, baseline results are not included here.

^b Baseline = 82% coal, 13% bark, 5% sludge, 0% TDF.

^c TDF = 80% coal, 12% bark, 4% sludge, 4% TDF.

NT = Not tested or data not available.

Table A-8a. Facility H - Coal and Petroleum Coke-Fired Power Plant

Source Description

Facility Name, Location:	Manitowoc Power Station Manitowoc, WI
Facility Type:	Utility
Source Type:	Circulating fluidized bed boiler (220,000 lb steam/hr capacity).
Test Dates:	May 30-31, 1991, September 25-26, 1991, October 29-30, 1991
Other fuel(s):	Coal, petroleum coke
Air pollution control device(s) used:	Pulse jet baghouse with air-to-cloth ratio of 3:1.
Test Conditions:	Test 1: 100% Coal Test 2: 100% Petroleum coke Test 3: 80% Petroleum coke, 20% TDF
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Clean Air Engineering
Environmental Agency:	Wisconsin DNR
Reference:	CAE (1991)

Source Test Data Evaluation

	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form		X	
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels	X		
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency		X	

Table A-8b. Facility H - Coal and Petroleum Coke-Fired Power Plant

Pollutant	Test 1 - Coal 5/30-31/91	Test 2 - Pet. Coke 9/25-26/91	Test 3 - Pet. Coke/TDF 10/29-30/91	Limit					Compl.	
				g/MJ	lb /MMBtu	kg/yr	lb/yr	kg/hr		lb/hr
TSP	0.0089	0.0069	0.003	0.01	0.03	NT	NT	NT	NT	Y
SO ₂	0.47	0.66	0.51	0.38	0.89	NT	NT	NT	NT	Y
NO ₂	0.061	0.063	0.032	0.24	0.55	NT	NT	NT	NT	Y
CO	0.067	0.013	0.032	0.3	0.74	NT	NT	NT	NT	Y
VOC	0.0012	NT	0.0004	0.069	0.16	NT	NT	NT	NT	Y
HCOH	<124	<32.4	<150	NT	NT	113	250	NT	NT	Y
Benzene	<33	<18.4	10.5	NT	NT	136	300	NT	NT	Y
<u>Metals</u>										
Be	<1.38 x10 ⁻⁶	<1.0 x10 ⁻⁷	<9.9 x10 ⁻⁷	NT	NT	NT	NT	1.8 x10 ⁻⁵	4.0 x10 ⁻⁵	Y
Hg	<7.10 x10 ⁻⁴	<1.57 x10 ⁻²	<1.59 x10 ⁻²	NT	NT	NT	NT	7.7 x10 ⁻³	1.7 x10 ⁻²	Y
Lead	<2.67 x10 ⁻³	<4.05 x10 ⁻³	<5.87 x10 ⁻³	NT	NT	NT	NT	9.1 x10 ⁻⁵	2.0 x10 ⁻⁴	N
Ni	<3.94 x10 ⁻³	<3.42 x10 ⁻³	<3.2 x10 ⁻³	NT	NT	NT	NT	1.8 x10 ⁻⁴	4.0 x10 ⁻⁴	N
As	<3.13 x10 ⁻⁴	<1.35 x10 ⁻⁴	<5.25 x10 ⁻⁴	NT	NT	NT	NT	1.8 x10 ⁻³	4.0 x10 ⁻³	Y
Cd	<1.61 x10 ⁻³	<1.01 x10 ⁻³	<1.19 x10 ⁻³	NT	NT	NT	NT	6.4 x10 ⁻³	1.4 x10 ⁻²	Y
Cr	<2.5 x10 ⁻⁴	<2.06 x10 ⁻³	<2.35 x10 ⁻³	NT	NT	NT	NT	0.13	0.29	Y

NT = Not tested or not available.

Table A-9a. Facility I - Cement Kiln

Source Description	
Facility Name, Location:	Ash Grove Cement Durkee, OR
Facility Type:	Cement Plant
Source Type:	Cement Kiln
Test Dates:	October 18 - 20, 1989
Other fuel(s):	Natural gas and coal
Air pollution control device(s) used:	ESP
Test Conditions:	Unknown
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Unknown
Environmental Agency:	Oregon DEQ
Reference:	Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	some		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates		X	
Multiple Baseline Fuels	X		
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-9b. Facility I - Cement Kiln

Pollutant	Baseline, 0% TDF	9-10% TDF	% Change
Particulate	0.417	0.382	-8
	0.969	0.888	-8
SO ₂	0.119	0.0950	-20
	0.276	0.221	-20
CO	0.046	0.036	-27
	0.00047	0.0004	-18
Aliphatic compounds	0.0011	0.0009	-18
	30	ND	NA
Nickel	3.0	2.0	-33
Cadmium	30	ND	NA
Chromium	ND	ND	NA
Lead	35	35	0
Zinc	0.2	0.2	0
Arsenic	0.122	0.0895	-26
Chloride	0.268	0.197	-26
Copper	37	13	-65
Iron	400	200	-50

ND = Not detected.
NA = Not applicable.

Table A-10a. Facility J - Cement Kiln

Source Description	
Facility Name, Location:	Holnam Incorporated Industries Seattle, WA
Facility Type:	Cement Plant
Source Type:	Cement Kiln
Test Dates:	October 15 - 19 1990
Other fuel(s):	Coal/coke
Air pollution control device(s) used:	ESP
Test Conditions:	0%, 11%, 14% TDF (as heat input)
Test Methods:	EPA Methods 1, 2, 3A, 4, 5 (front and backhalf extraction), 6C, 7E, 10, 12, 0010 (Semi-Volatile Organic Sampling Train), TO-14
Fuel Handling/Feeding:	Tire chips
Testing Company:	Am Test, Inc.
Environmental Agency:	Washington DOE
Reference:	Am Test (1991), Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-10b. Facility J - Cement Kiln

Pollutant	Baseline, 100% Coal, 0% TDF			11% TDF			14% TDF		
	10 ⁻⁶ g/MJ	10 ⁻⁶ lb /MMBtu	10 ⁻⁶ g/MJ	10 ⁻⁶ lb /MMBtu	% Change	10 ⁻⁶ g/MJ	10 ⁻⁶ lb /MMBtu	% Change	
Acenaphthalene	1.19	2.76	0.864	2.01	-27	0.886	2.06	-26	
Acenaphthylene	0.095	0.22	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
Anthracene	1.06	2.46	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
Benzo(b)anthracene	4.25	9.88	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
Benzoic Acid	4.498	10.46	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
Benzo(a)pyrene	0.877	2.04	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
Benzo(g,h,i)perylene	ND	ND	1.34	3.11	NA	4.442	10.33	NA	
Bis(2-chloroethoxy)methane	95.641	222.42	74.583	173.45	-22	118.57	275.75	+24	
Butyl Benzyl Phthalate	2.57	5.98	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
Dibenz(g,h)phthracene	45.877	106.69	20.50	47.67	-55	28.88	67.17	-37	
Di-N-Butylphthalate	0.959	2.23	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
1,2-Dichlorobenzene	1.38	3.21	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
2,4-Dinitrotoluene	5.749	13.37	4.29	9.97	-25	3.87	9.00	-33	
Fluorene	3.29	7.65	3.02	7.03	-8	3.06	7.12	-7	
(Continued)									

(Continued)

Table A-10b. Facility J - Cement Kiln (Cont.)

Pollutant	Baseline, 100% Coal, 0% TDF			11% TDF			14% TDF		
	10 ⁶ g/MJ	10 ⁶ lb /MMBtu	10 ⁶ g/MJ	10 ⁶ lb /MMBtu	% Change	10 ⁶ g/MJ	10 ⁶ lb /MMBtu	% Change	
Hexachlorobenzene	31.60	73.49	17.38	40.42	-45	22.99	53.46	-27	
Naphthalene	146.20	340.00	76.944	178.94	-47	68.456	159.20	-53	
2-Nitroaniline	2.01	4.67	ND	ND	-100	2.16	5.02	+7	
N-Nitrosodiphenyl- amine	39.05	90.81	20.47	47.60	-48	21.47	49.92	-45	
Pyrene	2.14	4.97	1.02	2.38	-52	0.959	2.23	-55	
1,2,4-Trichlorobenzene	7.504	17.45	1.11	2.57	-85	ND	ND	-100	
4,6-Dinitro-2- methylphenol	2.38	5.53	ND	ND	-100	ND	ND	-100	
4-Methyl Phenol	8.407	19.55	3.93	9.13	-53	6.570	15.28	-22	
2-Nitrophenol	83.846	194.99	72.747	169.18	-13	74.012	172.12	-12	
4-Nitrophenol	ND	ND	21.34	49.62	NA	12.80	29.77	NA	
Pentachlorophenol	ND	ND	ND	ND	NA	ND	ND	NA	
Phenol	140	32	69.247	161.04	-50	131.89	306.71	-4	
2,4,5-Trichlorophenol	ND	ND	ND	ND	NA	ND	ND	NA	

NA = Not applicable.
ND = Not detected.

Table A-11a. Facility K - Lime Kiln

Source Description	
Facility Name, Location:	Boise Cascade Wallula, WA
Source Type:	Pulp and Paper Mill - Rotary Lime Kiln
Test Dates:	May 20-21, 1986
Other fuel(s):	Natural Gas
Air pollution control device(s) used:	Air Pol variable throat venturi scrubber (27 - 29 inches H ₂ O, 1100 gallons water/hour).
Test Conditions:	Approximately 15% TDF by heat input
Test Methods:	Washington DOE Methods 3 and 5
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Washington DOE
Environmental Agency:	Washington DOE
Reference:	Clark, et al (1991), State of Washington (1986a, 1986b)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-11b. Facility K - Lime Kiln

Pollutant	100% Gas Fired		85% Gas, 15% TDF		% Change
	10 ⁻⁶ g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBtu	10 ⁻⁶ g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBtu	
<u>Organics^a</u>					
Anthracene	1.6	3.7	0.77	1.8	-51
Phenanthrene	22.3	51.9	12.5	29.1	-44
Fluoranthene	3.7	8.6	3.8	8.8	+2
Pyrene	2.8	6.6	2.7	6.2	-6
Benzo(a)anthracene	0.47	1.1	0.47	1.1	0
Chrysene	0.47	1.1	0.47	1.1	0
Benzo(b)fluoranthene	0.3	0.8	0.3	0.8	0
Benzo(k)fluoranthene	0.1	0.3	0.2	0.4	+33
<u>Metals</u>					
Arsenic	0.82	1.9	1.5	3.5	+84
Copper	1.4	3.2	1.3	2.9	-9
Zinc	98.5	28.8	183.9	427.7	+1,385
Iron	99.63	231.7	72.37	168.3	-27
Nickel	2.4	5.6	1.5	3.5	-38
Chromium	35.8	83.3	137.0	318.6	+282

(Continued)

Table A-11b. Facility K - Lime Kiln (Cont.)

Pollutant	100% Gas Fired		85% Gas, 15% TDF		% Change
	10 ⁻⁶ g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBtu	10 ⁻⁶ g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBtu	
Cadmium	0.60	1.4	0.56	1.3	-7
Lead	1.8	4.1	0.56	1.3	-31
Vanadium	2.5	5.7	1.6	3.8	-33
Barium	10.7	24.9	22.4	52.1	+109

^a Also measured, but not detected with or without (TDF) were naphthalene, acenaphthalene, benzo(a)pyrene, dibenzo(a,h)anthracene, benzo(g,h,i)perylene, and indeno(1,2,3-cd)pyrene.

Table A-12a. Facility L - Pulp Mill

Source Description	
Facility Name, Location:	Port Townsend Paper Company Port Townsend, WA
Facility Type:	Kraft Pulp Mill
Source Type:	Power Boiler, No. 10. 200,000 lb/hr steam
Test Dates:	February 25 and March 5, 1986
Other fuel(s):	Hogged fuel, oil
Air pollution control device(s) used:	600 tube multiclone followed by venturi scrubber. Multiclone operated at 3.5 - 4 inch H ₂ O pressure differential. Venturi operated at 15 inches H ₂ O when tires burned and 13 inches when tires were not burned. Venturi water rate 2,500 - 2,900 gpm.
Test Conditions:	Approximately 7% TDF by heat input
Test Methods:	Washington DOE Methods 3 and 5
Fuel Handling/Feeding:	Shredded tires
Testing Company:	Washington DOE
Environmental Agency:	Washington DOE
Reference:	State of Washington (1986e)

Source Test Data Evaluation

	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available		X	
Accurate Fuel Feed Rates		X	
Multiple Baseline Fuels	X		
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-12b. Facility L - Pulp Mill - PNA and Metal Emissions

Pollutant	Port Townsend Paper (2/25/86)							
	Waste Wood + 5% Oil				Waste Wood + 7% TDF			
	kg/hr	lb/hr	g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBTu	kg/hr	lb/hr	g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBTu
Particulate	21.0	46.2	NT	NT	29.0	63.8	NT	NT
<u>Metals</u>								
Arsenic	NT	NT	NA	NA	NT	NT	NA	NA
Barium	NT	NT	110.7	257.4	NT	NT	150.7	350.5
Cadmium	0.004	0.009	18.4	42.8	0.003	0.007	12.5	31.3
Chromium	0.005	0.01	23.6	54.9	0.05	0.01	15.0	34.9
Copper	NT	NT	1,038.7	2,415.6	NT	NT	987.62	2,296.8
Iron	NT	NT	859.91	1,999.8	NT	NT	1,106.8	2,574.0
Lead	0.05	0.1	259.7	603.9	0.01	0.03	56.89	132.3
Nickel	0.05	0.1	296.3	689.0	0.05	0.01	25.4	59.0
Vanadium	0.09	0.2	388.2	902.9	0.0005	0.001	3.8	8.9
Zinc	1.4	3.1	6,359.96	14,790.6	22.2	48.8	107,276.4	249,480.0
<u>PNA's</u>								
Anthracene	0.01	0.03	4.3	9.9	0.05	0.01	11.5	26.7
Phenanthrene	0.05	0.1	180.5	419.8	0.09	0.2	332.0	772.2

(Continued)

Table A-12b. Facility L - Pulp Mill - PNA and Metal Emissions (Cont.)

Pollutant	Port Townsend Paper (2/25/86)							
	Waste Wood + 5% Oil				Waste Wood + 7% TDF			
	kg/hr	lb/hr	g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBTu	kg/hr	lb/hr	g/MJ	10 ⁻⁶ lb/MMBTu
Fluoranthene	NT	NT	197.6	459.4	NT	NT	101.3	235.6
Pyrene	NT	NT	107.3	249.5	NT	NT	163.5	380.2
Benzo(b)fluoranthene	NT	NT	0.3	0.6	NT	NT	0.52	1.2
Benzo(k)fluoranthene	NT	NT	0.3	0.6	NT	NT	0.3	0.6
Benzo(a)fluoranthene	NT	NT	0.7	1.6	NT	NT	0.95	2.2
Chrysene	NT	NT	1.4	3.2	NT	NT	1.0	2.4
TOTAL PNA's	NT	NT	NT	NT	0.1	0.3	NT	NT

NT = Not tested or data not available.

Table A-13a. Facility M - Pulp and Paper Mill

Source Description	
Facility Name, Location:	Crown Zellerbach Port Angeles, WA
Facility Type:	Pulp and Paper Mill
Source Type:	Wood-fired Boiler
Test Dates:	June 10 -11, 1986
Other fuel(s):	Hogged fuel, oil
Air pollution control device(s) used:	Multi-clone followed by venturi scrubber (scrubber uses single pass fresh water and operated at 11 - 12 inches H ₂ O pressure drop during test.).
Test Conditions:	Approx. 2% TDF heat input on June 11 (oil = 11% of heat input; balance was wood).
Test Methods:	Washington DOE Methods 3 and 5
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Washington DOE
Environmental Agency:	Washington DOE
Reference:	Clark, et al (1991), State of Washington (1986c, 1986d)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available		X	
Accurate Fuel Feed Rates		X	
Multiple Baseline Fuels	X		
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-13b. Facility M - Pulp and Paper Mill - PNA and Metal Emissions

Pollutant	Crown Zellerbach Corp. (6/10/86)							
	Waste Wood + 12% Oil				Waste Wood + 2% TDF + 11% Oil			
	kg/hr	lb/hr	10 ⁶ g/MJ	10 ⁶ lb/MMBtu	kg/hr	lb/hr	10 ⁶ g/MJ	10 ⁶ lb/MMBtu
Particulate	5.00	11.0	NT	NT	7.00	15.4	NT	NT
<u>Metals</u>								
Arsenic	NT	NT	1.4	3.3	NT	NT	2.70	6.28
Barium	NT	NT	4.86	11.3	NT	NT	12.5	29.1
Cadmium	NT	NT	1.3	2.9	NT	NT	2.49	5.8
Chromium	NT	NT	0.2	0.5	NT	NT	1.51	3.5
Copper	NT	NT	13.2	30.7	NT	NT	17.2	40.0
Iron	NT	NT	113.1	263.1	NT	NT	163	377.8
Lead	NT	NT	27.5	64.0	NT	NT	31.1	72.4
Nickel	NT	NT	1.5	3.5	NT	NT	1.55	3.6
Vanadium	NT	NT	1.3	3.0	NT	NT	3.23	7.5
Zinc	NT	NT	1,055.7	2,455.0	1.41	3.1	7,044	16,381.4
<u>PNA's</u>								
Anthracene	NT	NT	0.43	1.0	NT	NT	0.3	0.6
Phenanthrene	NT	NT	19.5	45.3	NT	NT	7.18	16.7

(Continued)

Table A-13b. Facility M - Pulp and Paper Mill - PNA and Metal Emissions (Cont.)

Pollutant	Crown Zellerbach Corp. (6/10/86)							
	Waste Wood + 12% Oil				Waste Wood + 2% TDF + 11% Oil			
	kg/hr	lb/hr	10 ⁶ g /MJ	10 ⁶ lb /MMBtu	kg/hr	lb/hr	10 ⁶ g /MJ	10 ⁶ lb /MMBtu
Fluoranthene	NT	NT	16.1	37.4	NT	NT	6.11	14.2
Pyrene	NT	NT	20.6	47.8	NT	NT	9.33	21.7
Benzo(b)fluoranthene	NT	NT	0.99	2.3	NT	NT	ND	ND
Benzo(k)fluoranthene	NT	NT	0.3	0.7	NT	NT	ND	ND
Benzo(a)fluoranthene	NT	NT	ND	ND	NT	NT	ND	ND
Chrysene	NT	NT	ND	ND	NT	NT	ND	ND
TOTAL PNA's	NT	NT	NT	NT	0.009	0.02	NT	NT

NT = Not tested or data not available.

Table A-14a. Facility N - Pulp and Paper Mill

Source Description

Facility Name, Location:	Smurfit Newsprint Newburg, OR
Facility Type:	Pulp and Paper Mill
Source Type:	Wood-fired boiler
Test Dates:	May 28, June 3, July 16, 1987
Other fuel(s):	Wood
Air pollution control device(s) used:	Venturi scrubber
Test Conditions:	May 28 - wood only June 3 - 1% TDF July 16 - 1.5%
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Tire chips
Testing Company:	Horizon Engineering
Environmental Agency:	Oregon DEQ
Reference:	Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation

	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form		X	
Baseline Fuel Test Data Available	some		
Accurate Fuel Feed Rates	X		
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency			X

Table A-14b. Facility N - Pulp and Paper Mill - PM

Date	% TDF	PM Emissions			
		kg/hr	lb/hr	Mg/yr ^a	tons/yr ^a
5/28/87	0	12.2	26.8	106	117
5/28/87	1	20.7	45.6	182	200
5/28/87	1.5	26.0	57.2	228	251
11/14/89	1	13.9	30.5	122	134
8/14/90	1	11.8	26.0	103	114

^a Assumes 8,760 h/yr.

Table A-14c. Facility N - Pulp and Paper Mill - Non-particulate Testing

Pollutant	Date	%TDF	kg/hr	lb/hr	Mg/yr	tons/yr
<u>Criteria</u>						
VOC ^a	5/28/87	0	11.4	25.1	99.9	110
	5/28/87	1	3.6	8.0	31.9	35.1
	5/28/87	1.5	31.8	69.9	278	306
	11/14/89	1.0	0.55	1.2	4.8	5.3
	8/14/90	1.0	0.46	1.0	4.0	4.4
NO _x ^b	11/14/89	1.0	37.6	82.8	33.0	36.3
	8/14/90	1.0	15.2	33.4	133	146
SO ₂ ^c	11/14/89	1.0	2.2	4.8	19	21
	8/14/90	1.0	NT	NT	NT	NT
CO ^d	11/14/89	1.0	43.1	94.9	379	417
	8/14/87	1.0	66.4	146	580	639
Barium	11/14/89	1.0	ND	ND	NT	NT
Cadmium	11/14/89	1.0	0.0077	0.017	NT	NT
Chromium	11/14/89	1.0	0.003	0.006	NT	NT
Copper	11/14/89	1.0	0.0091	0.020	NT	NT
Iron	11/14/89	1.0	0.118	0.260	NT	NT

(Continued)

Table A-14c. Facility N - Pulp and Paper Mill - Non-particulate Testing (Cont.)

Pollutant	Date	%TDF	kg/hr	lb/hr	Mg/yr	tons/yr
Lead	11/14/89	1.0	0.017	0.037	NT	NT
Zinc	11/14/89	1.0	1.74	3.82	NT	NT
Titanium	11/14/89	1.0	ND	ND	NT	NT

^a VOC limit is 189 TPY.

^b NO_x limit is 2,850 TPY.

^c SO₂ limit is 250 TPY.

^d CO limit is 570 TPY.

ND = Not detected.

NT = Not tested or data not available.

Table A-15a. Facility O - Paper Mill

Source Description

Facility Name, Location:	Packaging Corp. of America (Formerly Nekoosa Packaging) Tomahawk, WI
Facility Type:	Paper Mill (Corrugated paper products)
Source Type:	Traveling grate spreader/stoker boilers (3)
Test Dates:	August 4 - 11, 1989
Other fuel(s):	Coal, bark
Air pollution control device(s) used:	ESP
Test Conditions:	Tested on overall facility basis; all three boilers ducted to common duct, then to two ESPs.
Test Sampling Procedures:	EPA Methods 1, 2, 3, 4, 5, MM5, 6, 7E, 10, 12, 13B, 18, 25A, and 101A.
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Clean Air Engineering (Report Date November 7, 1989)
Environmental Agency:	Wisconsin DNR
Reference:	CAE (1989), Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation

	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form		X	
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates		X	
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-15b. Facility O - Paper Mill

Pollutant	0% TDF		1-2%TDF		% Change
	kg/hr	lb/hr	kg/hr	lb/hr	
Particulate	8.64	19.0	9.41	20.7	+9
NO _x	51.977	114.36	48.659	107.06	-6
CO	50.490	111.09	66.916	147.23	+33
SO ₂	82.3	180.67	121.81	268.00	+48
Chromium VI	0.00586	0.0129	0.016	0.036	+179
<u>Metals</u>					
Arsenic	0.001	0.003	0.001	0.003	0.0
Cadmium	<0.0010	<0.0023	<0.0010	<0.0023	ND
Lead	0.0086	0.019	0.0082	0.018	-5
Nickel	<0.004	<0.008	<0.004	<0.008	ND
Zinc	0.325	0.715	0.367	0.851	+19
Mercury	0.0002	0.0005	0.0003	0.0006	+20
Chloride	0.44	0.96	0.827	1.82	+90
Benzene	<0.0253	<0.0557	0.0303	0.0665	+20

NOTE: All three boilers are ducted to common duct and then to two ESP's.

ND = Not detected.

Table A-16a. Facility P - Pulp and Paper Mill

Source Description	
Facility Name, Location:	Champion International, Inc. Sartell, MN
Facility Type:	Pulp and Paper Mill
Source Type:	Stoker boiler with traveling grate.
Test Dates:	October 28 - 30, 1987
Other fuel(s):	Coal, wood, sludge
Air pollution control device(s) used:	Zuran multi-clone as a pre-separator followed by a Neptune AirPol venturi scrubber.
Test Conditions:	Baseline: Approximately 55% coal, 25% tree bark, 20% sludge, 0% TDF Unknown fuel mix, 15% TDF Unknown fuel mix, 30% TDF
Test Methods:	EPA Methods 1- 5, MM5, 7, 8, 25A
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Pace Laboratories, Inc.
Environmental Agency:	Minnesota Pollution Control Agency (MPCA)
Reference:	Pace (1988), Malcolm Pirnie (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels	X		
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-16b. Facility P - Pulp and Paper Mill

Test Type	Test 1, 0% TDF	Test 2, 15% TDF	Test 3, 30% TDF
<u>Particulate</u>			
g/dscm	0.05	0.09	0.2
gr/dscf	0.02	0.04	0.09
kg/hr	8.04	13.5	33.7
lb/hr	17.7	29.8	74.1
g/MJ	0.02	0.04	0.095
lb/MMBtu	0.05	0.09	0.22
<u>Sulfur Oxides</u>			
SO ₂			
g/dscm	0.23	0.32	0.46
gr/dscf	0.10	0.14	0.20
kg/hr	35.5	47.54	75.40
lb/hr	78.2	104.6	165.9
g/MJ	0.11	0.14	0.19
lb/MMBtu	0.25	0.33	0.45
	0.02	0.02	0.02
H ₂ SO ₄			
g/dscm	0.01	0.01	0.01
gr/dscf	0.01	0.01	0.01
kg/hr	4.64	4.55	4.59
lb/hr	10.2	10.0	10.1

(Continued)

Table A-16b. Facility P - Pulp and Paper Mill (Cont.)

Test Type	Test 1, 0% TDF	Test 2, 15% TDF	Test 3, 30% TDF
<u>Nitrogen Oxides</u>	g/MJ	0.01	0.01
	lb/MMBtu	0.03	0.03
		0.631	0.484
	g/dscm	0.276	0.212
	gr/dscf	98.2	75.9
	kg/hr	216	167
	lb/hr	0.29	0.20
	g/MJ	0.67	0.47
<u>Metals</u>	lb/MMBtu		
Cd	mg/dscm	0.014	0.028
		6.1	12
	gr/dscf	0.002	0.004
	kg/hr	0.005	0.009
	lb/hr	0.00065	0.0011
	10 ⁻² g/MJ	0.0015	0.0026
	10 ⁻² lb/MMBtu	0.010	0.25
	mg/dscm		
	gr/dscf	4.37	109
Cr (total)			

(Continued)

Table A-16b. Facility P - Pulp and Paper Mill (Cont.)

Test Type	Test 1, 0% TDF	Test 2, 15% TDF	Test 3, 30% TDF
kg/hr	0.004	0.5	0.039
lb/hr	0.008	0.003	0.085
10 ⁻² g/MJ	0.0099	0.0004	0.010
10 ⁻² lb/MMBtu	0.0023	0.0009	0.024
	0.066	0.21	0.34
mg/dscm	28.8	91.8	149
gr/dscf	0.011	0.035	0.055
kg/hr	0.023	0.076	0.12
lb/hr	0.0031	0.095	0.014
10 ⁻² g/MJ	0.0071	0.022	0.032
10 ⁻² lb/MMBtu	0.231	36.4	90.0
mg/dscm	101	15,900	39,300
gr/dscf	0.036	5.59	14.1
kg/hr	0.080	12.3	31.0
lb/hr	0.011	1.7	3.7
10 ⁻² g/MJ	0.025	3.9	8.6
10 ⁻² lb/MMBtu	ND	ND	ND
PAH	959	16	3
Total	75.0	1.2	0.3
Hydrocarbons	165	2.7	0.6
lb/hr			

ND = Not detected.

Table A-17a. Facility Q - Pulp and Paper Mill

Source Description	
Facility Name, Location:	Champion International, Inc. Sartell, MN
Facility Type:	Pulp and Paper Mill
Source Type:	Stoker boiler with traveling grate
Test Dates:	March 12 - 16, 1990
Other fuel(s):	Coal, wood, sludge
Air pollution control device(s) used:	Zuran multi-clone as a pre-separator followed by a Neptune AirPol venturi scrubber.
Test Conditions:	Baseline: 82% coal, 13% bark, 5% sludge, 0% TDF TDF: 80 % coal, 12% bark, 4% sludge, 4% TDF [Clark, et al (1991)]
Test Methods:	Method 5, with both front and back-half catch included.
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Pace Laboratories
Environmental Agency:	Minnesota Pollution Control Agency (MPCA)
Reference:	Pace (1990), Clark, et al (1991)

Source Test Data Evaluation	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form		X	
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels	X		
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-17b. Facility Q - Pulp and Paper Mill

	0% TDF ^a		4% TDF ^b		% Change
	kg/hr	lb/hr	kg/hr	lb/hr	
Particulate	8.95	19.7	11.0	24.3	+23
SO _x	121	266	126	277	+4
Cadmium	0.0011	0.0025	0.00082	0.0018	-28
Chromium (total)	0.022	0.048	0.0020	0.0046	-90
Lead	0.023	0.050	0.016	0.036	-28
Mercury	1.7 x10 ⁻⁴	3.8 x10 ⁻⁴	3.6 x10 ⁻⁵	8.0 x10 ⁻⁵	+111
Zinc	0.11	0.23	1.56	3.43	+1,391

^a Baseline = 82% coal, 13% bark, 5% sludge, 0% TDF.

^b TDF = 80% coal, 12% bark, 4% sludge, 4% TDF.

Table A-18a. Facility R - Cogeneration

Source Description	
Facility Name, Location:	Monsanto - K.G. Krummrich Plant Sauget, IL
Facility Type:	Industrial (Cogeneration)
Source Type:	Boiler - four-drum chain grate stoker
Test Dates:	December 18-19, 1990
Other fuel(s):	Low-sulfur coal
Air pollution control device(s) used:	ESP
Test Conditions:	80% coal, 20% TDF
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Tire chips blended with coal. Delivered to plant pre-blended and handled as a single fuel.
Testing Company:	The Almega Corp.
Environmental Agency:	Test not conducted for environmental compliance. Test commissioned by Illinois Department of Commerce and Community Affairs to study feasibility of use of TDF.
Reference:	Dennis (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form		X	
Baseline Fuel Test Data Available		X	
Accurate Fuel Feed Rates	X		
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency		X	

Table A-18b. Facility R - Cogeneration

	100% Coal		80% Coal, 20%TDF		% Change
	kg/hr	lb/hr	kg/hr	lb/hr	
Particulate	1.64	3.60	0.814	1.79	-50
CO	0.17	0.38	0.24	0.53	+40
VOC	0.473	1.04	0.33	0.73	-30
SO ₂	37.7	83.0	49.54	109.0	+31
NO _x	15.8	34.7	11.0	24.3	-30
HCl	6.14	13.5	4.36	9.59	-29
HF	0.42	0.93	0.38	0.84	-10
<u>Metals</u>					
Chromium (total)	0.00217	0.00478	0.00207	0.00456	-4
Mercury	7.95 x10 ⁻⁵	1.75 x10 ⁻⁵	7.27 x10 ⁻⁵	1.60 x10 ⁻⁴	-9
Zinc	0.27	0.59	0.20	0.44	-25
Cadmium	0.00165	0.00363	0.00120	0.00263	-28
Lead	0.045	0.099	0.002	0.005	-95
Beryllium	ND	ND	ND	ND	NT

ND = Not detected.

NT = Not tested or data not available.

Table A-19a. Facility S - Industrial Boiler

Source Description	
Facility Name, Location:	University of Iowa Iowa City, Iowa
Facility Type:	Industrial/Commercial
Source Type:	Boiler (Riley - 1975) with stoker and economizer (170,000 lb steam/hr capacity).
Test Dates:	December 9 - 14, 1991
Other fuel(s):	Coal
Air pollution control device(s) used:	Seven-section coldside ESP (Buell)
Test Conditions:	100% Coal 96% Coal/4% TDF 92% Coal/8% TDF
Test Methods:	EPA Methods 1, 2, 3, 4, 5 (front and back half), 6, 7, 201A, 26, 13B, Multi-Metal Modified Method 5 (4M5), 23.
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Interpoll Laboratories, Inc.
Environmental Agency:	Iowa DNR
Reference:	Interpoll (1992)

Source Test Data Evaluation

	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form		X	
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-19b. Facility S - Industrial Boiler

	100% Coal			96% Coal/4% TDF			92% Coal/8% TDF		
	kg/hr	lb/hr	kg/hr	lb/hr	Difference	kg/hr	lb/hr	Difference	
Particulate ¹	14	31	9.5	21	-32.3%	13	29	-6.5%	
PM ₁₀ ¹	4.2	9.3	4.1	9.0	-3.2%	8.6	19	104%	
SO ₂	265	582	246	542	-6.9%	244	537	-7.7%	
NO _x	68.2	150	66.4	146	-2.7%	64.1	141	-6.0%	
CO	3.9	8.5	6.8	15	76.5%	5.5	12	41.2%	
Fluoride	0.00082	0.0018	0.00064	0.0014	-22.2%	0.00077	0.0017	-5.6%	
HCl	5.0	11	6.8	15	36.4%	8.6	19	72.7%	
THC	9.5	2.1	0.95	2.1	0.0%	0.68	1.5	-28.6%	
1 Dry catch only									
Dioxins	ng/sec	10 ⁻¹² lb/sec	ng/sec	10 ⁻¹² lb/sec	Difference	ng/sec	10 ⁻¹² lb/sec	Difference	
PCDD/PCDF	18	40	10	22	-44.4%	6.0	6.9	-82.6%	
Metals	g/hr	10 ⁻³ lb/hr	g/hr	10 ⁻³ lb/hr	Difference	g/hr	10 ⁻³ lb/hr	Difference	
Arsenic	2.97	6.55	2.08	4.58	-30.1%	11.9	26.2	300%	
Barium	1.25	2.75	0.93	2.05	-25.5%	3.13	6.90	151%	
Beryllium	0.04	0.086	0.03	0.064	-25.6%	0.19	0.41	(Continued) 377%	

	100% Coal			96% Coal/4% TDF			92% Coal/8% TDF		
	<0.19	<0.419	<0.188	<0.414	NT	0.45	0.99	NT	
Cadmium	0.92	2.03	0.779	1.72	-15.3%	2.11	4.66	130%	
Chromium	2.13	4.69	2.47	5.44	16%	9.100	20.09	328%	
Copper	2.02	4.45	2.26	4.99	12.1%	10.32	22.79	412%	
Lead	9.730	21.48	7.506	16.57	-22.9%	15.57	34.38	60.1%	
Magnesium	1.42	3.13	1.21	2.67	-14.7%	1.15	2.53	-19.2%	
Mercury	1.41	3.11	1.77	3.90	25.4%	4.34	9.56	207%	
Nickel	36.40	80.35	163.56	361.07	349%	1,575.5	3,478.0	4,229%	
Zinc									

NT = Not tested or data not available.

Table A-20a. Facility T - Industrial Boiler

Source Description	
Facility Name, Location:	John Deere Works - Waterloo Waterloo, Iowa
Facility Type:	Industrial
Source Type:	Boiler
Test Dates:	November 6 - 16, 1995
Other fuel(s):	Coal, oil
Air pollution control device(s) used:	Unknown
Test Conditions:	100% coal 90% coal, 10% oil 84% coal, 7.4% oil, 8.9% TDF (by weight) 88% coal, 12% TDF
Test Methods:	EPA Reference Methods 1, 2, 3, 4, 201A, 202, 6C, 7E, 10
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Compliance Services, Inc.
Environmental Agency:	Iowa DNR
Reference:	Compliance Services (1996)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	some		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels	X		
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-20b. Facility T - Industrial Boiler

Pollutant	100% Coal		90% Coal/10% Oil		Difference ^a		84% Coal/7.4% Oil/8.9% TDF		Difference ^a		88% Coal/12% TDF		Difference ^a	
	kg/hr	lb/hr	kg/hr	lb/hr	%		kg/hr	lb/hr	%		kg/hr	lb/hr	%	
PM ₁₀	10.484	23.067	4.5814	10.080	-57.9		5.4940	12.088	-49.5		4.265	9.384	-60.8	
SO ₂	528.22	1,162.2	495.81	1,090.9	-5.60		449.3	988.6	-14.5		527.54	1,160.7	0.33	
NO _x	49.90	109.8	48.54	106.8	-53.3		50.81	111.8	-51.3		56.40	124.1	-45.8	
CO	3.0	6.5	5.18	11.4	81.3		6.09	13.4	109		6.14	13.5	114	

^a % Difference with respect to 100% coal emission rate.

Table A-21a. Facility U - Industrial Boiler

Source Description	
Facility Name, Location:	Cargill Inc. Corn Milling Division Eddyville, Iowa
Facility Type:	Industrial (Food Processing)
Source Type:	Boiler
Test Dates:	June 30 - July 1, 1993
Other fuel(s):	Coal
Air pollution control device(s) used:	Ten section reverse baghouse (Joy Manufacturing).
Test Conditions:	100% Coal 95% Coal, 5% TDF
Test Methods:	EPA Methods 7, 10, 201A
Fuel Handling/Feeding:	Unknown
Testing Company:	Interpoll Laboratories
Environmental Agency:	Iowa DNR
Reference:	Interpoll (1993)

Source Test Data Evaluation	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	some		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency	X		

Table A-21b. Facility U - Industrial Boiler

Parameter	100% Coal	5% TDF
Particulate		
g/dscm	0.117	0.0670
gr/dscf	0.0514	0.0293
g/MJ	0.0424	0.024
lb/MMBtu	0.0987	0.056
g/dscm	0.1048	0.0558
gr/dscf	0.0458	0.0244
kg/hr	35	18
lb/hr	77	40
	134	152
Nitrogen Oxides		
ppm,d		
g/MJ	0.0972	0.105
lb/MMBtu	0.226	0.245
ppm,d	4,305	2,048
Carbon Monoxide		
kg/hr	1,663	789.9
lb/hr	3,659	1,738

Table A-22a. Facility V - Industrial Boiler

Source Description	
Facility Name, Location:	Dow Corning Midland, MI
Facility Type:	Manufacturing
Source Type:	Boiler
Test Dates:	March 9 - 29, 1989
Other fuel(s):	Wood
Air pollution control device(s) used:	ESP
Test Conditions:	100% Wood, 0% TDF 95% Wood, 5% TDF 90% Wood, 10% TDF 85% Wood, 15% TDF
Test Methods:	Unknown
Fuel Handling/Feeding:	Tire chips 2 - 3 inches in diameter, with wire.
Testing Company:	Unknown.
Environmental Agency:	Michigan DNR
Reference:	Clark, et al (1991) and Malcolm Pirnie (1991)

Source Test Data Evaluation			
	Yes	No	Unknown
Data Expressed in Emission Factor Form	X		
Baseline Fuel Test Data Available	X		
Accurate Fuel Feed Rates			X
Multiple Baseline Fuels		X	
Test Witnessed by or Prepared for Governmental Agency			X

Table A-22b. Facility V - Industrial Boiler

Pollutant	0% TDF			5% TDF			10% TDF			15% TDF		
	lb/hr	lb/MMBtu	lb/hr	lb/MMBtu	% Change	lb/hr	lb/MMBtu	% Change	lb/hr	lb/MMBtu	% Change	% Change
Particulate	4.29	0.012	7.53	0.0205	+68	11.22	0.0305 ^a	+150	38.10	0.1130 ^a	+826	
Cadmium	4.9 x10 ⁻⁴	1.39 x10 ⁻⁶	NT		N/T	--	--	N/T	0.0028	8.21 x10 ⁻⁶	+491	
Chromium (total)	1.28 x10 ⁻⁴	3.64 x10 ⁻⁶	NT	NT	--		--	N/T	0.0019	5.57 x10 ⁻⁶	+53	
Zinc	0.0634	1.8 x10 ⁻⁴	--	NT	N/T	--	--	N/T	11.32	0.03	+16,567	
Beryllium ^c	ND	ND	--	--	N/T	--	--	N/T	ND	ND	ND	
NO _x ^c	NT	0.153	--	0.162	+6	--	0.133	-13	--	0.081	-47	
SO ₂ ^d	NT	0.026	--	0.028	+8	--	0.037	+42	--	0.059	+127	

Pollutant	0% TDF			5% TDF			10% TDF			15% TDF		
	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	% Change	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	% Change	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	% Change	% Change
Particulate	1.95	0.00525	3.42	0.0088	+68	5.099	0.0131 ^a	+150	17.32	0.0486 ^a	+826	
Cadmium	0.00022	5.98 x10 ⁻⁷	--	--	N/T	--	--	N/T	0.0013	3.53 x10 ⁻⁶	+491	
Chromium (total)	0.000058	1.57 x10 ⁻⁶	--	--	N/T	--	--	N/T	0.00086	2.40 x10 ⁻⁶	+53	
Zinc	0.0288	7.7 x10 ⁻⁵	--	--	N/T	--	--	N/T	5.144	0.01	+16,567	

(Continued)

Table A-22b. Facility V -Industrial Boiler (Cont.)

Pollutant	0% TDF			5% TDF			10% TDF			15% TDF		
	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	% Change	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	% Change	kg/hr	gx10 ⁻⁶ /MJ	% Change	% Change
Beryllium ^b	ND	ND	--	--	N/T	--	--	N/T	ND	ND	ND	ND
NO _x ^c	--	0.0695	--	0.0697	+6	--	0.0572	-13	--	0.035	-47	-47
SO ₂ ^d	--	0.011	--	0.012	+8	--	0.016	+42	--	0.025	+127	+127

^a Emission limits of 0.035 lb/MMBtu at 12 percent CO₂.

^b Limit for Beryllium was 7.3 x10⁻⁵ lb/hr.

^c NO_x limit is 0.7 lb/MMBtu.

^d SO₂ limit is 0.8 lb/MMBtu.

N/T = Not tested.

ND = Not detected.

Ref.: Clark, et al (1991)

TECHNICAL REPORT DATA			
Please read Instructions on the reverse before completing)			
1. REPORT NO. EPA-600/R-97-115		3. RECIPIENT'S ACCESSION NO.	
4. TITLE AND SUBTITLE Air Emissions from Scrap Tire Combustion		5. REPORT DATE October 1997	
		6. PERFORMING ORGANIZATION CODE	
7. AUTHOR(S) Joel I. Reisman		8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.	
9. PERFORMING ORGANIZATION NAME AND ADDRESS E.H. Pechan & Associates, Inc. 2880 Sunrise Boulevard, Suite 220 Rancho Cordova, California 95742		10. PROGRAM ELEMENT NO.	
		11. CONTRACT/GRANT NO. 68-D3-0035, W.A. III-111	
12. SPONSORING AGENCY NAME AND ADDRESS EPA, Office of Research and Development Air Pollution Prevention and Control Division Research Triangle Park, NC 27711		13. TYPE OF REPORT AND PERIOD COVERED Final; 10/96 - 9/97	
		14. SPONSORING AGENCY CODE EPA/600/13	
15. SUPPLEMENTARY NOTES APPCD project officer is Paul M. Lemieux, Mail Drop 65, 919/541-0962			
16. ABSTRACT The report discusses air emissions from two types of scrap tire combustion: uncontrolled and controlled. Uncontrolled sources are open tire fires, which produce many unhealthful products of incomplete combustion and release them directly into the atmosphere. Controlled combustion sources (combustors) include boilers and kilns specifically designed for efficient combustion of solid fuel. Very little data exist for devices that are not well-designed and use scrap tires for fuel. These sources include fireplaces, wood stoves, small kilns, small incinerators, or any device with poor combustion characteristics. Air emissions from these types of devices are likely between that of open burning and a combustor. However, there is a serious concern that the emissions are much more similar to those of an open tire fire than a combustor. Open tire fires are discussed. Data from a laboratory test program on uncontrolled burning of tire pieces and ambient monitoring at open tire fires are presented and emissions are characterized. Mutagenic emission data from open burning of scrap tires are compared to mutagenic data for other fuels from both controlled and uncontrolled combustion. A list of 34 target compounds representing the highest potential for health impacts from open tire fires is presented. The list can be used to design an air monitoring plan to evaluate risk potential.			
17. KEY WORDS AND DOCUMENT ANALYSIS			
a. DESCRIPTORS		b. IDENTIFIERS/OPEN ENDED TERMS	c. COSATI Field/Group
Pollution Emission Tires Combustion Boilers Kilns		Fireplaces Wood Stoves Incinerators Monitors	Pollution Control Stationary Sources Scrap Tires Wood Stoves 13B 14G 11L 13F 21B 13A
18. DISTRIBUTION STATEMENT Release to Public		19. SECURITY CLASS (This Report) Unclassified	21. NO. OF PAGES
		20. SECURITY CLASS (This Page) Unclassified	22. PRICE