

**REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR DE
AGUA POTABLE Y
SANEAMIENTO BASICO
RAS - 2000**

SECCION II

TÍTULO F

SISTEMAS DE ASEO URBANO



República de Colombia
Ministerio de Desarrollo Económico
Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico

BOGOTA D.C., NOVIEMBRE DE 2000

INDICE

F.0.REFERENCIACIÓN GENERAL	1
F.0.1 SISTEMA DE UNIDADES	1
F.0.2 VARIABLES	2
F.0.3 ABREVIATURAS	3
F.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS	3
F.0.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS	3
F.0.4.2 NORMAS TÉCNICAS ASTM	4
F.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS EPA	4
F.0.5 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE	5
F.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO	7
F.1.1 ALCANCE	7
F.1.2 DEFINICIONES	7
F.1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO	14
F.1.3.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema	14
F.1.3.2 PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance	14
F.1.3.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional	15
F.1.3.4 PASO 4 - Acciones legales	15
F.1.3.5 PASO 5 - Aspectos ambientales	15
F.1.3.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos	15
F.1.3.7 PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos	16
F.1.3.8 PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos	16
F.1.3.9 PASO 9 - Construcción y supervisión técnica	16
F.1.3.10 PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento	16
F.1.4 PROCEDIMIENTO PARTICULAR PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE ASEO URBANO	16
F.1.4.1 Selección del sistema	16
F.1.4.2 Cálculo de la producción per cápita	16
F.1.4.2.1 Valores típicos de la producción per cápita	17
F.1.4.3 Caracterización de los residuos sólidos	17
F.1.4.4 Composición de los residuos sólidos	19
F.1.4.4.1 Esquema de clasificación según la composición física	19
F.1.4.4.2 Esquema de clasificación según la procedencia de los residuos sólidos	20
F.1.4.4.3 Esquema de clasificación según la factibilidad de manejo y disposición	20

F.1.4.4.4	Esquema de clasificación según el grado de peligrosidad	20
F.1.4.4.5	Cálculo de la composición de los residuos sólidos	20
F.1.4.4.6	Metodología de muestreo	20
F.1.4.4.7	Número de muestras	20
F.1.4.4.8	Frecuencia de los ensayos	21
F.1.4.4.9	Unidades para expresar los residuos cuantificados	21
F.1.4.5	Cadena de Custodia	21
F.1.4.6	Procedimiento	21
F.1.4.6.1	Etiquetas de las muestras	21
F.1.4.6.2	Sellos de muestras	22
F.1.4.6.3	Registros	22
F.1.4.6.4	Carta de custodia	22
F.1.4.6.5	Hoja de remisión de muestras	22
F.1.4.6.6	Transporte, recibo, registro y análisis de la muestra en el laboratorio.	23
F.1.4.7	Determinación del peso volumétrico de los residuos	23
F.2.	ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN	25
F.2.1	ALCANCE	25
F.2.2	ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN	25
F.2.2.1	Censos	25
F.2.2.2	Censos de vivienda	25
F.2.2.3	Densidades actuales y futuras	25
F.2.2.4	Métodos de cálculo	25
F.2.2.5	Ajuste por población flotante y población migratoria	26
F.2.2.6	Etnias minoritarias	26
F.3.	RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	27
F.3.1	ALCANCE	27
F.3.2	REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR LA ACTIVIDAD DE RECOLECCIÓN	27
F.3.2.1	Principios básicos para la prestación del servicio de aseo	28
F.3.3	DISEÑO DE SISTEMAS SIN APROVECHAMIENTO	28
F.3.3.1	Aspectos de diseño	28
F.3.3.2	Tipo de servicio de recolección a proporcionar	28
F.3.3.3	De los recipientes para recolección	29
F.3.3.3.1	Canecas doméstica	29
F.3.3.3.2	Recipientes desechables	29
F.3.3.3.3	Recipientes para residuos sólidos de evacuación por ductos	29
F.3.3.3.4	Cajas de almacenamiento	29

F.3.3.3.5	Canecas públicas	29
F.3.3.3.6	Recipientes para almacenamiento de residuos sólidos con características especiales	30
F.3.3.4	Frecuencia de recolección	30
F.3.3.4.1	Rendimiento de la recolección	31
F.3.3.4.2	Horarios de recolección	31
F.3.3.5	Cuadrilla	31
F.3.3.6	Selección del vehículo de recolección	32
F.3.3.7	Ruteo	33
F.3.4	OPERACIÓN DE SISTEMAS SIN APROVECHAMIENTO	34
F.3.4.1	Almacenamiento de los residuos sólidos	34
F.3.4.1.1	Exterior de la vivienda	34
F.3.4.1.2	Almacenamiento multifamiliar, institucional o comercial	35
F.3.4.1.3	Cajas de almacenamiento para residuos de alimentos o similares	35
F.3.4.2	Barrido de calles	35
F.3.4.3	Evaluación y control	36
F.3.5	DISEÑO DE SISTEMAS CON APROVECHAMIENTO	36
F.3.5.1	Aspectos de diseño	36
F.3.5.2	Tipo de servicio de recolección a proporcionar	36
F.3.5.3	Tipo de materiales a recuperar	36
F.3.5.4	De los recipientes para recolección	36
F.3.5.4.1	Recipientes retornables	36
F.3.5.4.2	Recipientes desechables	36
F.3.5.4.3	Residuos sólidos para evacuación por ductos	36
F.3.5.4.4	Cajas de almacenamiento	37
F.3.5.4.5	Canecas	37
F.3.5.4.6	Recipientes para almacenamiento de residuos sólidos con características especiales	37
F.3.5.5	Frecuencia de recolección	37
F.3.5.5.1	Rendimiento de la recolección	37
F.3.5.5.2	Horarios de recolección	37
F.3.5.6	Cuadrilla	37
F.3.5.7	Selección del vehículo de recolección	37
F.3.5.8	Ruteo	37
F.3.6	OPERACIÓN DE SISTEMAS CON APROVECHAMIENTO	38
F.3.6.1	Almacenamiento de los residuos sólidos	38
F.3.6.1.1	Exterior de la vivienda	38
F.3.6.1.2	Almacenamiento multifamiliar, institucional o comercial	38

F.3.6.1.3	Cajas de almacenamiento para residuos de alimentos o similares	38
F.3.6.1.4	Residuos peligrosos	38
F.3.6.1.5	Evaluación y Control	38
F.3.6.2	Barrido de calles	38
F.3.7	ESTACIONES DE TRANSFERENCIA	38
F.3.7.1	Requisitos de estaciones de transferencia	38
F.3.7.2	Diseño de estaciones de transferencia	39
F.3.7.2.1	Localización	39
F.3.7.2.2	Parámetros de diseño	39
F.3.7.2.3	Producción y características de los residuos	39
F.3.7.2.4	Servicio de recolección	40
F.3.7.2.5	Sitio y tipo de disposición final	40
F.3.7.2.6	Sistema vial y zonificación	40
F.3.7.2.7	Ubicación de los centros de gravedad	40
F.3.7.2.8	Requerimientos mínimos de estaciones de transferencia según el tipo	40
F.3.7.2.9	Capacidad de la estación de transferencia	41
F.3.7.2.10	Vehículos de transferencia	41
F.3.7.2.11	Requisitos para equipos	41
F.3.7.2.12	Instalaciones auxiliares	41
F.3.7.2.13	Requerimientos ambientales	42
F.3.7.2.14	Procesamiento de los residuos	43
F.3.7.3	Operación de estaciones de transferencia	43
F.3.7.3.1	Seguridad industrial	43
F.3.7.3.2	Operación	43
F.3.7.3.3	Manual de operación	43
F.3.7.3.4	Control y seguimiento	44
F.4.	APROVECHAMIENTO	45
F.4.1	ALCANCE	45
F.4.2	USOS DE RESIDUOS SÓLIDOS APROVECHABLES	45
F.4.2.1	Especificaciones para residuos sólidos aprovechables	45
F.4.2.1.1	Reutilización y reciclaje	45
F.4.2.1.2	Compostación	46
F.4.2.1.3	Generación de energía .	46
F.4.2.2	Estudios de factibilidad	46
F.4.2.3	Localización de la unidad de aprovechamiento	47
F.4.2.4	Seguridad Industrial	48

F.4.2.5 Edificación	49
F.4.3 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO	50
F.4.3.1 Separación de los residuos sólidos en la fuente	50
F.4.3.2 Reutilización	50
F.4.3.3 Reciclaje	50
F.4.3.3.1 Recolección: Esta etapa debe incluir la toma y transporte de los residuos sólidos reciclables. Para ello deben seguirse las siguientes especificaciones:	50
F.4.3.3.2 Separación. La separación de residuos sólidos reciclables debe efectuarse con el fin de procesar y preparar los materiales para un uso posterior. Para ello, debe:	51
F.4.3.3.3 Almacenamiento	51
F.4.3.3.4 Comercialización de materiales	51
F.4.3.3.5 Reprocesamiento: Si algunos residuos sólidos reciclables requieren de tratamiento, este depende del uso futuro o aprovechamiento de éste.	51
F.4.3.4 Compostaje	51
F.4.3.4.1 Compostaje aerobio	51
F.4.3.4.2 Compostaje anaerobio	53
F.4.3.4.3 Calidad en la operación del compostaje	54
F.4.3.5 Aprovechamiento de gas	54
F.4.3.5.1 Sistema activo	54
F.4.3.5.2 Control de migración de gases	55
F.4.3.5.3 Consideraciones de diseño del sistema activo	55
F.4.3.5.4 Tratamiento del gas	56
F.5. INCINERACIÓN	57
F.5.1 ALCANCE	57
F.5.2 GENERALIDADES	57
F.5.2.1 Definición	57
F.5.2.2 Localización de la planta de incineración	57
F.5.2.3 Selección de los residuos a incinerar	58
F.5.2.3.1 Contenido de energía (poder calorífico de los residuos)	58
F.5.2.3.2 Análisis de material volátil, carbón fijo, cenizas y punto de fusión de las cenizas	58
F.5.2.3.3 Determinación de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre y cenizas	58
F.5.2.3.4 Contenido de humedad	58
F.5.2.4 Reducción de la cantidad de residuos	59
F.5.2.5 Generación de calor	59
F.5.2.6 Emisiones de los contaminantes del proceso de incineración	59
F.5.2.7 Residuos de la incineración	60
F.5.3 PLANTA DE INCINERACIÓN	60

F.5.3.1	Parámetros de operación	60
F.5.3.1.1	Temperatura de los gases de combustión	60
F.5.3.1.2	Tiempo de residencia de los gases de combustión	60
F.5.3.1.3	Cantidad de aire en exceso	60
F.5.3.1.4	Combustible auxiliar	60
F.5.3.2	Parámetros de diseño	61
F.5.3.2.1	Sistema de descarga y almacenamiento de los residuos	61
F.5.3.2.2	Sistema de entrada de los residuos al incinerador	61
F.5.3.2.3	Sistema de entrada del aire al incinerador	62
F.5.3.2.4	Cámara de combustión	62
F.5.3.2.5	Sistema de recuperación de calor	63
F.5.3.2.6	Sistema de remoción de partículas	64
F.5.3.2.7	Sistema de remoción de gases	65
F.5.3.2.8	Sistema de descarga y almacenamiento de cenizas residuales	67
F.5.3.2.9	Chimenea	68
F.5.3.3	Parámetros de control	68
F.5.3.3.1	Parámetros de medición y control en continuo	68
F.5.3.3.2	Parámetros de medición y control individuales o en discontinuo	70
F.5.4	MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA INCINERACIÓN	70
F.5.4.1	Cenizas residuales (cenizas de fondo)	71
F.5.4.1.1	Análisis	71
F.5.4.1.2	Manipulación	71
F.5.4.1.3	Transporte	71
F.5.4.1.4	Disposición	71
F.5.4.2	Partículas residuales (cenizas volantes)	71
F.5.4.2.1	Análisis	71
F.5.4.2.2	Manipulación	71
F.5.4.2.3	Transporte	72
F.5.4.2.4	Disposición	72
F.5.4.3	Productos de depuración	72
F.5.4.4	Vertimientos de aguas residuales	72
F.5.4.4.1	Aguas residuales de la separación de cenizas	72
F.5.4.4.2	Efluente de la depuración húmeda	72
F.5.4.4.3	Aguas residuales de sellado, baldeo y mantenimiento en general	72
F.5.4.4.4	Aguas residuales de aguas de alimentación	72
F.5.4.4.5	Purgas de torres enfriadoras	73

F.5.5	SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL	73
F.5.5.1	Procedimientos de diseño y operación	73
F.5.6	MANTENIMIENTO	74
F.6.	RELLENOS SANITARIOS	77
F.6.1	ALCANCE	77
F.6.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE UBICACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS	77
F.6.2.1	Restricciones generales y distancias mínimas	78
F.6.2.2	Aspectos hidrológicos	78
F.6.2.3	Aspectos geológicos y geotécnicos	78
F.6.2.4	Aspectos sísmicos	79
F.6.2.5	Aspectos ambientales	79
F.6.3	ESTUDIOS PREVIOS	79
F.6.3.1	Estudio topográfico	79
F.6.3.2	Estudio geotécnico	80
F.6.3.2.1	Nivel de detalle del estudio geotécnico	80
F.6.3.2.2	Investigación del subsuelo	80
F.6.3.3	Estudio climatológico	82
F.6.3.3.1	Temperatura	82
F.6.3.3.2	Precipitación	82
F.6.3.3.3	Vientos	82
F.6.3.4	Estudio geológico	82
F.6.3.5	Estudios hidrogeológicos	82
F.6.3.6	Generación de lixiviados	82
F.6.4	PARÁMETROS DE DISEÑO	83
F.6.4.1	Selección del método a utilizar	83
F.6.4.1.1	Método de zanja o trinchera	83
F.6.4.1.2	Método de área	83
F.6.4.1.3	Método de rampa	83
F.6.4.1.4	Método combinado	83
F.6.4.2	Trama vial	83
F.6.4.2.1	Trama vial para los niveles medio y bajo de complejidad	83
F.6.4.2.2	Trama vial para los niveles alto y medio alto de complejidad	84
F.6.4.3	Sistema de impermeabilización	84
F.6.4.4	Sistemas de drenaje	89
F.6.4.4.1	Aguas de escorrentía	89
F.6.4.4.2	Lixiviados	90

F.6.4.4.3	Deflexiones en tuberías	91
F.6.4.4.4	Drenaje de gases	92
F.6.4.5	Diseño de celdas	92
F.6.4.5.1	Dimensionamiento	92
F.6.4.5.2	Compactación	93
F.6.4.5.3	Material de cobertura	93
F.6.4.6	Suelo de soporte	93
F.6.4.6.1	Limpieza y desmonte	93
F.6.4.6.2	Tratamiento del suelo de soporte	93
F.6.4.7	Estabilidad del relleno sanitario	93
F.6.4.7.1	Caracterización de los residuos	94
F.6.4.7.2	Cortante a lo largo de las interfaces	94
F.6.4.7.3	Métodos de análisis de estabilidad	94
F.6.4.8	Obras complementarias	95
F.6.4.8.1	Las siguientes son las obras complementarias que se requieren para los niveles medio y bajo de complejidad:	95
F.6.4.8.2	Las obras complementarias para los niveles alto y medio alto de complejidad:	95
F.6.4.9	Cierre y uso final del sitio	96
F.6.4.9.1	Cobertura final	96
F.6.4.9.2	Efectos de subsidencia	97
F.6.4.9.3	Efectos climáticos	98
F.6.4.9.4	Cuidados después del cierre del relleno sanitario	98
F.6.5	CONTROL AMBIENTAL	98
F.6.5.1	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas	99
F.6.5.2	Monitoreo de biogas	99
F.6.5.3	Monitoreo de Partículas aerotransportables	100
F.6.5.4	Análisis del monitoreo	100
F.6.6	OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO	100
F.6.6.1	Acceso	100
F.6.6.2	Frente de trabajo	100
F.6.6.3	Restricción e identificación de residuos	100
F.6.6.3.1	Exclusión de residuos peligrosos y líquidos	100
F.6.6.3.2	Separación de residuos peligrosos	101
F.6.6.3.3	Notificación y observación del registro	101
F.6.6.4	Compactación de los residuos	101
F.6.6.4.1	Niveles medio y bajo de complejidad del sistema	101

F.6.6.4.2	Niveles alto y medio alto de complejidad del sistema	101
F.6.6.5	Material de cubierta diaria	101
F.6.6.6	Control del agua de infiltración y de esorrentía	101
F.6.6.6.1	Control del agua de infiltración	101
F.6.6.6.2	Control del agua de esorrentía	101
F.6.6.7	Tratamiento de lixiviados	102
F.6.6.8	Instrumentación	102
F.6.7	EJECUCIÓN DE LA OBRA	102
F.6.7.1.1	Cronograma de obra	102
F.6.7.1.2	Metodología operativa	103
F.6.7.1.3	Plan de trabajo	103
F.6.7.1.4	Control de gestión	103
F.7.	RESIDUOS PELIGROSOS	104
F.7.1	REFERENCIACIÓN	104
F.7.1.1	NORMAS TÉCNICAS DE LA U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA	104
F.7.2	ALCANCE	104
F.7.3	DEFINICIONES	104
F.7.4	CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE RESIDUOS PELIGROSOS Y DETERMINACIÓN DE INCOMPATIBILIDADES ENTRE RESIDUOS	105
F.7.4.1	Características y tipos de residuos peligrosos	105
F.7.4.2	Procedimientos para determinar la peligrosidad de un residuo	107
F.7.4.3	Procedimiento para determinar la incompatibilidad entre residuos peligrosos	111
F.7.5	DIRECTRICES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	112
F.7.6	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES SOBRE LA IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	113
F.7.7	CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	113
F.7.8	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A LOS GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	114
F.7.9	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A TRANSPORTADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	115
F.7.10	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A RECEPTORES DE RESIDUOS PELIGROSOS	117
F.7.10.1	Tipos de instalaciones para la gestión de residuos peligrosos	117
F.7.10.2	PLAN DE OPERACIÓN PARA INSTALACIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	117
F.7.11	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO En TAMBORES Y OTROS RECIPIENTES MÓVILES	120

F.7.12	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A TANQUES Y SISTEMAS DE TANQUES PARA EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS	121
F.7.13	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A RELLENOS DE SEGURIDAD	121
F.7.13.1	Requisitos de diseño y operación.	121
F.7.13.2	Requisitos de monitoreo e inspección.	123
F.7.13.3	Mantenimiento de registros.	123
F.7.13.4	Clausura y posclausura.	123
F.7.13.5	Residuos reactivos o inflamables.	124
F.7.13.6	Líquidos empacados y residuos a granel.	124
F.7.14	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A PISCINAS O EMBALSES SUPERFICIALES	125
F.7.15	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A PILAS DE RESIDUOS	126
F.7.16	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A INCINERADORES	126
F.7.17	PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A OTROS TIPOS DE INSTALACIONES DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS	126
F.7.17.1	Tratamiento en el terreno	126
F.7.17.2	Unidades misceláneas	127
F.7.18	PRINCIPIOS Y CRITERIOS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS	127
F.7.18.1	Plan de gestión de residuos hospitalarios	127
F.7.18.2	Gestión especial de residuos químicos con características peligrosas y de residuos radioactivos que formen parte de los residuos hospitalarios	128
F.7.18.3	Directrices para envases, equipos e instalaciones empleados para la gestión de residuos hospitalarios	128
F.7.18.4	Directrices para el transporte de residuos hospitalarios	129
F.7.18.5	Directrices para el tratamiento y disposición final de residuos hospitalarios	129
ANEXOS		
	MÉTODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE INFLAMABILIDAD DE UN RESIDUO	133
	MÉTODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE CORROSIVIDAD DE UN RESIDUO	135
	MÉTODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE REACTIVIDAD DE UN RESIDUO	145
	MÉTODO PARA LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE TOXICIDAD (TCLP)	183

TABLAS PARA DETERMINAR LA INCOPATIBILIDAD ENTRE RESIDUOS PELIGROSOS

CAPÍTULO F.0

F.0. REFERENCIACIÓN GENERAL

F.0.1 SISTEMA DE UNIDADES

atm	atmósfera
año	año
°C	grado centígrado
cm ²	centímetro cuadrado
cm ³	centímetro cúbico
día	día
°F	grado Fahrenheit
g	gramo
h	hora
ha	hectárea
hab	habitante
°K	grado kelvin
kg	kilogramo
kJ	kilojulio
km	kilómetro
km ²	kilómetro cuadrado
kN	kilonewton
kPa	kilopascal
kV	kilovoltio
kWh	kilowattio hora
L	litro
m	metro
m ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
mg	miligramo
min	minuto
mm	micra
mm	milímetro
mm ²	milímetro cuadrado
mm ³	milímetro cúbico
Mpa	megapascal
MW	megawattio
mol	mol
nN	nanocuríes
N	Newton
ohm	ohmio
Pa	Pascal
rad	radián
s	segundo
t	tonelada
W	Wattio

F.0.2 VARIABLES

σ_{adm}	= esfuerzo admisible de la geomembrana	kg/cm ²
σ_{req}	= esfuerzo requerido de la geomembrana	kg/cm ²
δ_u, δ_l	= ángulos de fricción, superior e inferior, con respecto a la	-
α	= pendiente del estrato de arcilla hacia los recolectores	-
A	= peso original de la muestra de cenizas	-
ABI	= índice de quemado de cenizas	-
	al sitio de disposición final	-
	al sitio de disposición final	-
B	= peso de la muestra de cenizas después de quemarlas en un horno de mufla	-
b	= tiempo de viaje desde la ruta de recolección hasta el sitio de disposición final	-
c	= q / k	cm ³ /s/cm/s
C_{au}, C_{al}	= valores de adhesión, superior e inferior, con respecto a la	-
CC	= concentración corregida	mg/m ³
$C_{ENTRADA}$	= concentración a la entrada del contaminante	mg/m ³
CM	= concentración media	mg/m ³
C_{SALIDA}	= concentración a la salida del contaminante	mg/m ³
D	= densidad de los residuos sólidos dentro del vehículo de recolección	kg/m ³
D,L,W	= valores dimensionales de disposición final de recolección	cm
		-
		kg/m ³
D_T	= tiro teórico	atm
E	= eficiencia de la remoción geomembrana	% °
HS	= altura de la chimenea	m
k	= conductividad hidráulica	cm/s
L_{RO}	= longitud de la trinchera de anclaje	cm
L	= espaciamiento laterales	cm °
N	= número de vértices de la poligonal	-
n	= porosidad promedio del material de la interfase	-
n	= número de viajes realizados desde la ruta de recolección al sitio de disposición final	-
p	= presión movilizadora (peso total del residuo)	kg/cm ²
P_b	= presión barométrica	atm
ppc	= producción per capita	kg/(hab.día)
q	= caudal	m ³ /s
Q	= peso de los residuos sólidos por parada	kg/parada
R	= radio de influencia de los pozos de extracción de gas recolección	m kg/m ³
S	= espaciamiento de los pozos de extracción	m
t	= espesor de la geomembrana	cm
T_{adm}	= resistencia admisible de la geomembrana	kg
T_{req}	= resistencia requerida de la geomembrana	kg
T	= traslapo requerido	%
TA	= tolerancia angular	-
T_o	= temperatura ambiente	°K
T_s	= temperatura media a la entrada de la chimenea	°K

ts	= tiempo promedio de llenado por parada	min/parada
ts	= tiempo promedio de llenado por parada	min/parada
V	= capacidad de almacenamiento	m ³
ω	= contenido de humedad de los residuos sólidos	%
ω	= contenido de humedad de los residuos sólidos	%
$W_{ENTRADA}$	= peso a la salida del contaminante	-
W_M	= peso de la mezcla	kg
W_w	= peso del agua contenido en los residuos sólidos	kg
x	= distancia de movilización del anclaje	cm
Y	= concentración del oxígeno en la chimenea	%

F.0.3 ABREVIATURAS

CRA	Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas
DNP	Departamento Nacional de Planeación
DSPD	Dirección de Servicios Públicos Domiciliarios del Ministerio de Desarrollo Económico
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
NSR-98	Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente
SSP	Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

F.0.4 NORMAS TÉCNICAS REFERENCIADAS

Las siguientes son las normas técnicas, tanto expedidas por el ICONTEC, por la AWWA, por la ASTM y otras entidades internacionales a las cuales se hace referencia en este capítulo. En caso de conflicto, prevalecerá lo establecido en este Reglamento.

F.0.4.1 NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS

GTC 24	Gestión ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente
GTC 30	Gestión ambiental. Suelos. Guía para el monitoreo de aguas subterráneas.
NTC 3400	Higiene y seguridad. Medio ambiente. Determinación del índice de polución de un gas ácido en el aire.
NTC 3704	Gestión ambiental. Aire ambiente. Determinación de la concentración de partículas suspendidas en el aire.
NTC 3746	Gestión ambiental. Aire ambiente. Método de ensayo para el monóxido de carbono en el aire ambiente (medición continua mediante espectrometría infrarroja no dispersiva).
NTC 3948	Gestión ambiental. Suelo. Especificaciones técnicas para la construcción de un pozo de monitoreo de aguas subterráneas.
NTC-ISO 5667-6	Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de ríos y corrientes.
NTC-ISO 5667-11	Gestión ambiental. Calidad del agua. Muestreo. Guía para el muestreo de aguas subterráneas.
NTC-ISO 6767	Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Método de tetracloromercurato (tcm) pararosanilla.
NTC-ISO 6768	Gestión ambiental. Aire. Ambiente. Determinación de la concentración másica de dióxido de nitrógeno. Método de modificado de Griess - Saltzaman.
NTC-ISO 7934	Gestión ambiental. Aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Método de peróxido de hidrogeno/perclorato de bario/thorina

NTC-ISO 7996	Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración másica de óxidos de nitrógeno. Métodos de quimioluminiscencia.
NTC 3662	Gestión ambiental. Aire. Recolección y medición de partículas de polvo sedimentable
NTC 3857	Higiene industrial. Determinación de plomo en muestras ambientales. Método de espectrofotometría de absorción atómica con sistema de horno de grafito.
NTC 3863	Higiene industrial. Evaluación de contaminantes químicos. Determinación de cobalto y compuestos de cobalto en muestras ambientales. Técnica NIOSH 7027/84.
NTC 3864	Higiene industrial. Evaluación de contaminantes químicos. Determinación de arsénico y compuestos de arsénico en muestras ambientales. Técnica NIOSH 7013/84.
NTC 3885	Higiene industrial. Evaluación de contaminantes químicos. Determinación de plomo en muestras ambientales métodos de espectrofotometría de absorción atómica con sistema de llama.
NTC ISO 6767	Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre. Método de tetracloromercurato (TMC) pararrosanilla.
NTC ISO 6768	Gestión ambiental. Aire. Determinación de la concentración másica de dióxido de nitrógeno. Método modificado de Griess-Saltzman.
NTC ISO 7934	Gestión ambiental. Aire. Emisiones de fuentes estacionarias. Determinación de la concentración másica de dióxido de azufre

F.0.4.2 NORMAS TÉCNICAS ASTM

D5199-95	Test method for measuring nominal thickness of geotextiles and geomembranes
D4833-88	Test method for index puncture resistance of geotextiles, geomembranes, and related products.
D5494-93	Test method for the determination of pyramid puncture resistance of unprotected and protected geomembranes.
D5321-92	Test method for determining the coefficient of soil and geosynthetic or geosynthetic and geosynthetic friction by the direct shear method.
D5397-95	Test method for evaluation of stress crack resistance of polyolefin geomembranes using notched constant tensile load test.
D4885-88	Test method for determining performance strength of geomembranes by the wide strip tensile method.
D5884-95	Test method for determining tearing strength of internally reinforced geomembranes.
D5747-95a	Practice for test to evaluate the chemical resistance of geomembranes to liquids.
D4437-84	Practice for determining the integrity of field seams used in joining flexible polymeric sheet geomembranes.
D4545-86	Practice for determining the integrity of factory seams used in joining manufactured flexible sheet geomembranes.
D5820-95	Practice for pressurized air channel evaluation of dual seamed geomembranes.

F.0.4.3 NORMAS TÉCNICAS EPA

AP - 42	Compilation of air pollutant emission factors
Appendix A 40 CFR Part 60	Test methods.
Appendix B 40 CFR Part 61	Test methods.
Appendix W 40 CFR Part 51	Guideline on air quality model.
EPA SW-846	Test Methods for Evaluating Solid Waste Physical/Chemical Methods Métodos 1010 (Ver Anexo F.1), 1020A (Ver Anexo F.1), 1110 (Ver Anexo F.2), 9040B (Ver Anexo F.2), 9010 (Ver Anexo F.3), 9030A (Ver Anexo F.3) y 1311
Appendix II 40 CFR	Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) Método 9090 (Ver Anexo F.4)
Tablas para determinar la incompatibilidad entre residuos peligrosos. (Ver Anexo F.5)	

F.0.5 LEYES, DECRETOS Y LEGISLACIÓN PERTINENTE

Decreto 02 de 1982 Ministerio de Salud

Decreto 1594 de 1984 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II y el Título III de la Parte III -Libro I- del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Decreto 2104 de 1983 del Ministerio de Salud por el cual se reglamentan el título III de la parte IV del Libro I del Decreto 2811 de 1974 y los títulos I y XI de la Ley 09 de 1979 en cuanto a Residuos Sólidos.

Decreto 2240 de 1996 del Ministerio de Salud por el cual se dictan normas en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir las instituciones prestadoras del servicios de salud.

Decreto 605 de 1996 del Ministerio de Desarrollo Económico por el cual se reglamenta la ley 142 de 1994 en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo.

Decreto 948 de 1995 del Ministerio del Medio Ambiente.

Ley 142 de 1994 por la cual se establece la regulación de los Servicios Públicos Domiciliarios

Ley 55 de 1993, sobre la seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo.

Ley 9 de 1979 por el cual se dictan medidas sanitarias.

Resolución 04445 de 1996 del Ministerio de Salud por el cual se dictan normas para el cumplimiento del contenido del Título IV de la Ley 09 de 1979, en lo referente a las condiciones sanitarias que deben cumplir las Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud y se dictan otras disposiciones técnicas y administrativas.

Resolución 2309 de 1986 del Ministerio de Salud por la cual se dictan normas para el cumplimiento del Título III de la Parte 4 del Libro 1 del Decreto - Ley número 2811 de 1974 y de los títulos i, iii, XI de la ley 9 de 1979, en cuanto a Residuos Especiales.

Resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y carga orgánica, suelo y subsuelo de excavación.

Resolución No. 2400 de 1979

CAPÍTULO F.1

F.1. ASPECTOS GENERALES DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO

F.1.1 ALCANCE

El propósito del siguiente título es fijar los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los **sistemas de aseo urbano** que se desarrollen en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado.

El presente título incluye el cálculo de la población, la producción per cápita y demanda, criterios para diseño de sistemas de recolección, transporte y estaciones de transferencia, sistemas de aprovechamiento, incineración, rellenos sanitarios y residuos peligrosos que forman parte de los sistemas de aseo urbano, cuyas prescripciones particulares se referencian en la tabla F.1.1. No se incluyen los residuos de construcción y demolición regulados por la resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente o la legislación que haga sus veces. La gestión de los residuos radiactivos debe realizarse de acuerdo con las normas y regulaciones aplicables vigentes expedidas por el Instituto de Asuntos Nucleares y Energías Alternativas (INEA) y otras autoridades competentes.

TABLA F.1.1
Contenido del presente Título

Componente	Capítulo
Aspectos generales	F.1
Población y demanda	F.2
Recolección, transporte y estaciones de transferencia	F.3
Aprovechamiento	F.4
Incineración	F.5
Rellenos sanitarios	F.6
Residuos peligrosos	F.7

F.1.2 DEFINICIONES

Para interpretar y aplicar el presente Título deben tenerse en cuenta las siguientes definiciones:

Aire: Fluido que forma la atmósfera de la tierra, constituido por una mezcla gaseosa cuya composición normal es de por lo menos 20% de oxígeno, 77% de nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua en relación volumétrica.

Almacenamiento: Acumulación o depósito temporal, en recipientes o lugares, de la basura y residuos sólidos de un generador o una comunidad, para su posterior recolección, aprovechamiento, transformación, comercialización o disposición final.

Almacenamiento domiciliario: Acción del generador de depositar temporalmente los residuos retenidos en los condominios, edificios multifamiliares, viviendas, etc.

Almacenamiento no domiciliario: Acción del generador de depositar temporalmente los residuos retenidos en centros comerciales, edificios públicos, edificios privados, bancos, instituciones de interés social, centros de recreación, etc.

Aprovechamiento: Proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales o económicos.

Basura: Todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o recirculación a través de un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, no se reincorporan al ciclo económico y productivo, requieren de tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición.

Biodegradabilidad: Capacidad de descomposición rápida bajo condiciones naturales.

Biogas: Mezcla de gases, producto del proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica o biodegradable de las basuras, cuyo componente principal es el metano.

Botadero: Sitio de acumulación de residuos sólidos que no cumple con las disposiciones vigentes o crea riesgos para la salud y seguridad humana o para el ambiente en general.

Caja o unidad de almacenamiento: Recipiente metálico o de cualquier otro material apropiado, para uso comunal o destinado al servicio de grandes productores, que se ubica en los sitios requeridos para el depósito temporal de residuos sólidos.

Calor generado por la combustión: Calor emitido durante el proceso de combustión, parcialmente almacenado en los productos de combustión y parcialmente transferido por convección, conducción y radiación a las paredes del sistema de combustión, al combustible entrante y a las cenizas (rechazos).

Cámara de combustión: Compartimento de un incinerador donde los residuos son quemados.

Camino de acceso: Vialidad que permite ingresar a una planta de tratamiento o de disposición final.

Camino interior: Vialidad que permite el tránsito interno en una planta de tratamiento o de disposición final.

Cancerígeno: Cualquier sustancia que pueda agravar o producir cáncer.

Caneca doméstica: Recipiente retornable después de la recolección, de propiedad del usuario. Donde éste almacena temporalmente la basura doméstica.

Canecas públicas: Recipientes para el almacenamiento temporal de los residuos que se generan en la vía pública, áreas de recreo, paseos, parques y plazas.

Caracterización de los residuos: Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de un residuo sólido, identificando contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica.

Carcismo: Fenómeno presentado en material calcáreo, que bajo la presencia de agua, se disuelve formando cárcavas.

Carga contaminante: Cantidad de un determinado agente adverso al medio, contenido en un residuo sólido.

Celda diaria: Área definida donde se esparcen y compactan los residuos durante el día para cubrirlos al final del mismo.

Cenizas residuales o cenizas de fondo (Bottom ash): Material sólido que permanece en la cámara de combustión o cae a través de las parrillas después que el procesamiento térmico se ha completado.

Cenizas volantes (Fly ash): Partículas residuales no combustibles emitidas o transportadas por los gases de combustión.

Centro de acopio: Lugar donde los residuos sólidos son almacenados y/o separados y clasificados según su potencial de reuso o transformación.

Centros de gran generación: Lugares en los cuales se genera diariamente una gran cantidad de residuos sólidos, que por sus características, deben almacenarse en forma segura, higiénica y sanitaria.

Coefficiente de escorrentía: Relación entre la tasa pico de escorrentía directa y la intensidad de precipitación en una tormenta.

Combustible: Materiales que pueden ser incinerados a una temperatura específica, en presencia de aire para liberar energía calorífica.

Combustión: Combinación química de oxígeno con una sustancia, produciéndose calor y normalmente luz.

Combustión completa: Combustión en la cual el combustible es totalmente oxidado.

Combustión con exceso de aire: Combustión con oxígeno en exceso sobre las necesidades estequiométricas del mismo.

Combustión estequiométrica: Combustión con la cantidad de oxígeno exactamente necesaria para que se produzca la combustión total de los residuos sólidos.

Combustión incompleta: Combustión en la cual el combustible no es totalmente oxidado.

Compactación: Proceso de por unidad normalmente utilizado para incrementar el peso específico (densidad en unidades métricas) de materiales residuales para que puedan ser almacenados y transportados más eficazmente.

Compost: Material estable que resulta de la descomposición de la materia orgánica en procesos de compostaje.

Compostaje: Proceso mediante el cual la materia orgánica contenida en las basuras se convierte a una forma más estable, reduciendo su volumen y creando un material apto para cultivos y recuperación de suelos.

Conducto de venteo: Estructura de ventilación que permite la salida de los gases producidos por la biodegradación de los residuos municipales.

Contaminante: Toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos o formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora o fauna, o cualquier elemento ambiental, altere o modifique su composición natural y degrade su calidad.

Cuantificación: Proceso mediante el cual se determina la proporción de cada uno de los componentes contenidos en los residuos sólidos.

Cubierta diaria: Capa de material natural o sintético con que se cubren los residuos depositados en un relleno sanitario durante un día de operación.

Cubierta final: Revestimiento de material natural o sintético que confina el total de las capas de que consta un relleno sanitario.

Cultura de la no basura: Es el conjunto de costumbres y valores de una comunidad que tienden a la reducción de las cantidades de residuos generados por cada uno de sus habitantes y por la comunidad en general, así como al aprovechamiento de los residuos potencialmente reutilizables.

Densidad: Masa o cantidad de materia de los residuos, contenida en una unidad de volumen, en condiciones específicas.

Desecho: Término general para residuos sólidos excluyendo residuos de comida y cenizas sacados de viviendas, establecimientos comerciales e instituciones.

Desecho sólido: Ver definición residuo sólido.

Desperdicio: Residuo sólido o semisólido de origen animal o vegetal, sujeto a putrefacción, proveniente de la manipulación, preparación y consumo de alimentos para uso animal y humano.

Dióxido de azufre (SO₂): Polucionante gaseoso, inodoro, ácido, formado principalmente de la combustión de combustibles fósiles.

Dióxido de carbono (CO₂): Gas incoloro, inodoro y no tóxico que produce ácido carbónico cuando está disuelto en agua. Se produce durante la degradación térmica y descomposición (microbial) por microbios de los residuos sólidos.

Dióxido de nitrógeno (NO₂): Resultado de la combinación del óxido nítrico con oxígeno en la atmósfera. Es el mayor componente del smog fotoquímico.

Dioxinas: Miembros de la familia de los compuestos orgánicos conocidos como policlorodibenzodioxinas (PCDD). Una molécula de la familia PCDD está formada por una estructura de triple anillo en la que dos anillos del benzeno están interconectados por un par de átomos de oxígeno.

Disposición final de residuos sólidos peligrosos: Actividad de incinerar en dispositivos especiales o depositar en rellenos de seguridad residuos peligrosos, de tal forma que no representen riesgo ni causen daño a la salud o al ambiente.

Disposición final de residuos: Proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en forma definitiva, en forma definitiva, efectuado por las personas prestadoras de servicios, disponiéndolos en lugares especialmente diseñados para recibirlos y eliminarlos, obviando su contaminación y favoreciendo la transformación biológica de los materiales fermentables, de modo que no representen daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.

Emisión: Descarga de una sustancia o elemento al aire, en estado sólido, líquido o gaseoso, o en alguna combinación de estos, provenientes de una fuente fija o móvil.

Entidad prestadora del servicio público domiciliario de aseo: Persona natural o jurídica, pública, privada o mixta, encargada de todas, una o varias actividades de la prestación del servicio público domiciliario de aseo

Estaciones de transferencia: Son las instalaciones dedicadas al traslado de residuos sólidos de un vehículo recolector a otro con mayor capacidad de carga, que los transporta hasta su disposición final.

Estudio de evaluación de impacto ambiental: Estudio destinado a identificar y evaluar los potenciales impactos positivos y negativos que pueda causar la implementación, operación, futuro inducido, mantenimiento y abandono de un proyecto, obra o actividad, con el fin de establecer las correspondientes medidas para evitar, mitigar o controlar aquellos que sean negativos e incentivar los positivos.

Evaluación del riesgo: Evaluación cualitativa y cuantitativa del riesgo posado sobre la salud humana o sobre el ambiente por la presencia actual o potencial y/o por el uso de un polucionante específico.

Fuente de emisión: Actividad, proceso u operación, realizado por los seres humanos, o con su intervención, susceptible de emitir contaminantes al aire.

Fuente fija puntual: Fuente fija que emite contaminantes al aire por ductos o chimeneas.

Fuente fija: Fuente de emisión situada en un lugar determinado e inamovible, aun cuando la descarga de contaminantes se produzca en forma dispersa.

Furanos: Miembros de la familia de los compuestos orgánicos conocidos como policlorodibenzofurano (PCDF). Una molécula de la familia PCDF está formada por una estructura de triple anillo en la que dos anillos del benzeno están interconectados por un átomo de oxígeno.

Gases ácidos: Productos de la incineración de residuos que contengan Flúor y Cloro. Se generan ácido fluorhídrico (HF) y ácido clorhídrico (HCl).

Generador: Personas naturales o jurídicas, habitantes permanentes u ocasionales, nacionales o extranjeros que perteneciendo a los sectores residencial o no residencial y siendo usuario o no del servicio público domiciliario de aseo, generan o producen basuras o residuos sólidos, como consecuencia de actividades domiciliarias, comerciales, industriales, institucionales, de servicios y en instituciones de salud, a nivel urbano y rural, dentro del territorio nacional.

Generador de residuos sólidos hospitalarios: Instituciones públicas, privadas o mixtas, hospitales, clínicas, centros y puestos de salud, laboratorios clínicos y patológicos humanos o animales, centros médicos, odontológicos o veterinarios, centros de experimentación e investigación en el área de la salud humana, animal y otras instancias similares.

Geomembrana: Material sintético impermeable.

Gestión integral de residuos: Conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a las basuras y residuos producidos, el destino global más adecuado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento, comercialización y disposición final.

Grandes generadores: Usuarios no residenciales que generan y presentan para la recolección residuos que de volumen superan a un metro cúbico.

Hidrocarburo: Compuesto químico constituido enteramente por carbón e hidrógeno.

Incineración: Procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante la oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Proceso de reducir los desechos material inerte (escoria) y a productos gaseosos completamente oxidados mediante la combustión.

Incineración con recuperación de energía: Proceso industrial controlado mediante el cual los residuos sólidos con un alto poder calorífico se utilizan como combustible para generar energía.

Incinerador: Horno para quemar o incinerar residuos bajo condiciones controladas.

Incompatibilidad: Reacciones violentas y negativas para el equilibrio ecológico y el ambiente, que se producen con motivo de la mezcla de dos o más residuos peligrosos.

Infiltración: Proceso mediante el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo.

Lixiviado: Líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y aneróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

Lodo: Suspensión de materiales en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales, del tratamiento de efluentes líquidos o de cualquier actividad que lo genere.

Macro ruta: División geográfica de la zona para la distribución de los recursos y equipos de recolección.

Micro ruta: Descripción detallada a nivel de las calles y manzanas del trayecto de un vehículo o cuadrilla, para la prestación del servicio de recolección o del barrido manual o mecánico.

Material de cubierta: Material de origen natural o sintético, utilizado para cubrir los residuos sólidos depositados en un relleno sanitario.

Material particulado: Partículas sólidas o líquidas finas como polvos, neblina, smog etc. encontradas en el aire o en las emisiones.

Módulo: Superficie que constituye por sí misma una unidad de la obra. Una vez rellena esta superficie puede utilizarse como área de esparcimiento, mientras se completa el periodo de estabilización y se realiza el control del correspondiente proceso biológico.

Monitoreo: Actividad consistente en efectuar observaciones, mediciones y evaluaciones continuas en un sitio y periodo determinados, con el objeto de identificar los impactos y riesgos potenciales hacia el ambiente y la salud pública o para evaluar la efectividad de un sistema de control.

Monóxido de carbono (CO): Gas venenoso, inodoro, incoloro, producido de la combustión incompleta de un combustible fósil.

Nivel freático: Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.

Oxidos de nitrógeno (NO_x): Productos de la combustión de fuentes fijas y móviles. Es uno de los mayores contribuyentes de la formación de ozono en la troposfera y de la precipitación de ácidos.

Permeabilidad: Propiedad que tiene los cuerpos de permitir el paso de un fluido a través de él.

Presentación: Es la actividad del usuario de empacar y envasar todo tipo de residuos sólidos para su almacenamiento y entrega a la entidad prestadora del servicio de aseo para aprovechamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final.

Procesamiento térmico de residuos sólidos: Conversión de los residuos sólidos en productos de conversión gaseosos, líquidos y sólidos, con la subsiguiente o simultánea emisión de energía en forma de calor.

Producción limpia: Reorientación de los sectores productivos, dentro de una dimensión ambiental hacia formas de gestión y uso de tecnologías ambientalmente sanas, aumentando la eficiencia en el uso de recursos energéticos e hídricos, sustitución de insumos, optimización de procesos, modificación de productos y minimización de basuras y residuos sólidos.

Producción per cápita: Cantidad de residuos generada por una población, expresada en términos de kg/hab-día o unidades equivalentes.

Productos de la combustión: Sustancias producidas durante la quema o incineración de materiales.

Punto de descarga: Ducto, chimenea, dispositivo o sitio por donde se emiten los contaminantes a la atmósfera.

Receptor: Persona natural o jurídica que recibe un residuo.

Reciclaje: Procesos mediante los cuales se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos. El reciclaje consta de varias etapas: procesos de tecnologías limpias, reconversión industrial, separación, acopio, reutilización, transformación y comercialización.

Recolección: Acción y efecto de retirar y recoger las basuras y residuos sólidos de uno o varios generadores, efectuada por su generador o por la entidad prestadora del servicio público.

Recolección en acera: Es la que se efectúa cuando los residuos sólidos son presentados por los usuarios para su recolección en el andén ubicado frente a su predio o domicilio.

Recolección en esquinas: Sistema de recolección en el que los residuos de un sector son colocados en una zona (esquina) próxima a la vivienda.

Recolección en unidades de almacenamiento: Es la que se efectúa cuando los residuos sólidos generados por los usuarios se presentan para su recolección en cajas de almacenamiento

Recuperación: Acción que permite retirar y recuperar de las basuras aquellos materiales que pueden someterse a un nuevo proceso de aprovechamiento, para convertirlos en materia prima útil en la fabricación de nuevos productos.

Reducción en el origen: Forma más eficaz de reducir la cantidad y toxicidad de residuos, así como el costo asociado a su manipulación y los impactos ambientales, por esta razón se encuentra en primer lugar en la jerarquía de una gestión integrada de residuos sólidos

Relación carbono-nitrógeno: Parámetro utilizado como control de calidad de los residuos sólidos dentro de un sistema, utilizando como base la materia orgánica.

Relleno de seguridad: Relleno con características especiales para el confinamiento y aislamiento temporal de residuos sólidos peligrosos, hasta tanto se desarrollen tecnologías que permitan su disposición final.

Relleno sanitario: Lugar técnicamente diseñado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando los impactos ambientales y utilizando principios de ingeniería. Confinación y aislamiento de los residuos sólidos en un área mínima, con compactación de residuos, cobertura diaria de los mismos, control de gases y lixiviados, y cobertura final.

Residuo sólido: Cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales,

institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico. Se dividen en aprovechables y no aprovechables.

Residuos peligrosos: Aquellos que por sus características infecciosas, combustibles, inflamables, explosivas, radiactivas, volátiles, corrosivas, reactivas o tóxicas pueden causar daño a la salud humana o al medio ambiente. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con ellos.

Residuo sólido combustible: Residuo peligroso que exhibe las características de combustible establecidas en este código.

Residuo sólido comercial: Residuo generado en establecimientos comerciales y mercantiles tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado.

Residuo sólido corrosivo: Residuo peligroso que exhibe las características de corrosivo establecidas en este código.

Residuo sólido domiciliario: Residuo que por su naturaleza, composición, cantidad y volumen es generado en actividades realizadas en viviendas o en cualquier establecimiento asimilable a éstas.

Residuo sólido especial: Aquellos por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso, no pueden ser manejados, tratados o dispuestos normalmente, a juicio de la entidad prestadora del servicio de aseo.

Residuo sólido explosivo: Residuo peligroso que exhibe las características de explosivo establecidas en este código.

Residuo sólido industrial: Residuo generado en actividades propias de este sector, como resultado de los procesos de producción.

Residuo sólido infeccioso: Residuo peligroso que exhibe las características de infeccioso establecidas en este código.

Residuo sólido inflamable: Residuo peligroso que exhibe las características de inflamable establecidas en este código.

Residuo sólido institucional: Residuo generado en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales aéreos, terrestres, fluviales o marítimos y edificaciones destinadas a oficinas, entre otros.

Residuo sólido radioactivo: Residuo peligroso que exhibe las características de radioactivo establecidas en este código.

Residuo sólido reactivo: Residuo peligroso que exhibe las características de reactivo establecidas en este código.

Residuo sólido tóxico: Residuo peligroso que exhibe las características de tóxico establecidas en este código.

Residuo sólido volátil: Residuo peligroso que exhibe las características de volátil establecidas en este código.

Residuos sólidos con características especiales: Residuos que por su tamaño, volumen o peso requieren de un manejo especial.

Residuos sólidos urbanos: Residuos generados en viviendas, parques, jardines, vía pública, oficinas, mercados, comercios, demoliciones, construcciones, instalaciones, establecimientos de servicios y, en general, todos aquellos generados en actividades urbanas que no requieran técnicas especiales para su control.

Reutilización: Prolongación y adecuación de la vida útil de los residuos sólidos recuperados y que mediante tratamientos mínimos devuelven a los materiales su posibilidad de utilización en su función original en alguna relacionada, sin que para ello requieran de adicionales procesos de transformación.

Riesgo: Medida de la probabilidad de que un daño a la vida, a la salud, a alguna propiedad y/o al ambiente pueda ocurrir como resultado de un peligro dado.

Ruta de reciclaje: Recorrido necesario para recoger los residuos separados en origen.

Separación en la fuente: Clasificación de las basuras y residuos sólidos en el sitio donde se generan. Su objetivo es separar los residuos que tienen un valor de uso indirecto, por su potencial de rehuso, de aquellos que no lo tienen, mejorando así sus posibilidades de recuperación.

Servicio especial de aseo: Servicio relacionado con la recolección, transporte y tratamiento de residuos sólidos que por su naturaleza, composición, tamaño, volumen y peso, no pueden ser manejados, tratados o dispuestos normalmente, a juicio de la entidad prestadora del servicio de aseo.

Servicio público domiciliario de aseo: Es el servicio de recolección de residuos, principalmente sólidos, el barrido y limpieza de vías y áreas públicas, transporte y disposición final sanitaria, incluyendo las actividades complementarias de transferencia, tratamiento y aprovechamiento.

Subsistencia: Pequeños hundimientos ocurridos en superficie.

Temperatura de combustión: Temperatura necesaria para producir la combustión completa de los residuos sólidos. Cuanto mayor sea el contenido de aire en exceso, el contenido de oxígeno en los gases de la chimenea también incrementa y la temperatura de combustión disminuye. La temperatura de los gases de la chimenea es importante desde el punto de vista de control de olores.

Tiempo de residencia: Tiempo necesario que deben permanecer los residuos sólidos en la cámara de combustión para que se produzca la combustión completa de los mismos a las condiciones de temperatura y aire en exceso que se tengan.

Tratamiento: Conjunto de operaciones, procesos o técnicas encaminadas a la eliminación, la disminución de la concentración o el volumen de los residuos sólidos o basuras, o su conversión en formas más estables.

Tratamiento biológico: Tratamiento tecnológico que utiliza bacterias u otros organismos para consumir residuos orgánicos.

Usuario: Persona natural o jurídica beneficiada de la prestación del servicio público de aseo, en calidad de propietario y/o receptor del servicio.

Vectores: Organismos, generalmente insectos o roedores que transmiten enfermedades. Medio de transmisión de un patógeno de un organismo a otro.

Zona de falla: Zona donde se producen desplazamientos relativos de una parte de la roca con respecto a la otra, como resultados de los esfuerzos que se generan en la corteza terrestre

F.1.3 PROCEDIMIENTO GENERAL DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ASEO URBANO

Toda acción relacionada con el diseño, la construcción, la operación, el mantenimiento y/o la supervisión técnica de algún sistema de aseo urbano, debe seguir el procedimiento general mostrado a continuación:

F.1.3.1 PASO 1 - Definición del nivel de complejidad del sistema

Debe definirse el **nivel de complejidad del sistema**, según se establece en el literal A.3, para cada uno de los componentes del sistema.

F.1.3.2 PASO 2 - Justificación del proyecto y definición del alcance

Todo componente de un sistema de aseo urbano debe justificarse con la identificación de un problema de salud pública, del medio ambiente o de bienestar social, el cual tiene solución con la ejecución del sistema propuesto. (Véase literal A.6)

Además, el proyecto debe cumplir los criterios de priorización establecidos en el literal A.6.2

F.1.3.3 PASO 3 - Conocimiento del marco institucional

El diseñador del sistema debe conocer las diferentes entidades relacionadas con la prestación del servicio público domiciliario de aseo urbano, estableciendo responsabilidades y las funciones de cada una. Las entidades y aspectos que deben identificarse son :

1. Entidad responsable del proyecto.
2. Diseñador
3. Rol del municipio, ya sea como prestador del servicio o como administrador del sistema.
4. Empresa de Servicios Públicos y su carácter (Oficial, mixto o privado)
5. Entidades territoriales competentes
6. Entidad reguladora (CRA, DSPD u otra)
7. Entidad de vigilancia y control (SSP, DASP u otra)
8. Operador
9. Interventor
10. Acciones proyectadas de la comunidad en el sistema
11. Autoridad ambiental competente. (Ministerio del Medio Ambiente, corporaciones autónomas regionales u otras)
12. Fuentes de financiación

F.1.3.4 PASO 4 - Acciones legales

El diseñador debe conocer todas las leyes, decretos, reglamentos y normas técnicas relacionadas con la conceptualización, diseño, operación, construcción, mantenimiento, supervisión técnica y operación de un sistema de aseo urbano o cada uno de sus componentes en particular.

Además, deben tomarse las medidas legales necesarias para garantizar el adecuado desarrollo del sistemas de aseo urbano.

F.1.3.5 PASO 5 - Aspectos ambientales

Debe presentarse un estudio sobre el impacto ambiental generado por el proyecto, negativo y/o positivo en el cual se incluyan una descripción de las obras y acciones de mitigación de los efectos en el medio ambiente propios del proyecto, siguiendo todo lo establecido en el literal A.6.6

F.1.3.6 PASO 6 - Ubicación dentro de los planes de ordenamiento territorial y desarrollo urbano previstos

El diseñador debe conocer los planes de desarrollo y de ordenamiento territorial planteados dentro del marco de la Ley 388 de 1997 y establecer las implicaciones que el sistema de aseo urbano tendría dentro de la dinámica del desarrollo urbano.

En particular, el diseño de un sistema aseo urbano debe contemplar la dinámica de desarrollo urbano prevista en el corto, mediano y largo plazo, de las áreas habitadas y las proyectas en los próximos años teniendo en cuenta la utilización del suelo, la estratificación socioeconómica, el plan vial y las zonas de conservación y protección de recursos naturales y ambientales entre otros.

F.1.3.7 PASO 7 - Estudios de factibilidad y estudios previos

Todo proyecto de aseo urbano debe llevar a cabo los estudios factibilidad y los estudios previos mencionados en el capítulo A.6

F.1.3.8 PASO 8 - Diseño y requerimientos técnicos

El diseño de cualquier componente de un sistema de aseo urbano debe cumplir con los requisitos mínimos establecidos en el presente Título, según los literales establecidos en la tabla F.1.1.

El diseño de cualquier sistema de aseo urbano debe someterse a una evaluación socioeconómica y estar sujeto a un plan de construcción, operación, mantenimiento y expansión de costo mínimo, siguiendo lo establecido en el capítulo A.7.

F.1.3.9 PASO 9 - Construcción y supervisión técnica

Los procesos de construcción y supervisión técnica se ajustarán a los requisitos mínimos establecidos en el Título G - Aspectos Complementarios.

F.1.3.10 PASO 10 - Puesta en marcha, operación y mantenimiento

Los procedimientos y medidas pertinentes a la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los diferentes componentes de un sistema de aseo urbano deben seguir los requerimientos establecidos para cada componente en particular, según la tabla F.1.1

F.1.4 PROCEDIMIENTO PARTICULAR PARA EL DESARROLLO DE SISTEMAS DE ASEO URBANO**F.1.4.1 Selección del sistema**

La selección de un sistema de aseo urbano debe tener en consideración las siguientes variables:

1. Proyección de la población.
2. Producción per cápita.
3. Caracterización de los residuos sólidos.
4. Composición de los residuos.
5. Determinación del peso volumétrico de los residuos.

F.1.4.2 Cálculo de la producción per cápita

Puede utilizarse cualquier método técnicamente válido, ya sea recomendado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas o estándares internacionales, para determinarla. Sea cual fuere el método escogido éste debe considerar al menos las siguientes variables:

1. Cantidad de residuos generados por día
2. Número de habitantes en el sector de estudio.

Si el objetivo es determinar la producción de desechos sólidos generados en la fuente la toma puede realizarse de las viviendas del sector. Si el objetivo es optimizar el sistema de transporte y recolección existente la toma puede realizarse de los desechos sólidos contenidos en el vehículo recolector.

En este caso la unidad de expresión es kg/(hab.día), aunque pueden utilizarse unidades equivalentes.

F.1.4.2.1 Valores típicos de la producción per cápita

A nivel de prediseño del sistema deben considerarse los rangos que se muestran en la Tabla F.1.2, si no se ha realizado un estudio de la producción per cápita. Para el diseño debe determinarse la producción per capita como se describe en el literal F.1.3.2

TABLA F.1.2
Valores típicos de la PPC para municipios colombianos de acuerdo al NCS

Nivel de complejidad	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
Bajo	0.30	0.75	0.45
Medio	0.30	0.95	0.45
Medio Alto	0.30	1.00	0.53
Alto	0.44	1.10	0.79

En caso de ampliaciones de los sistemas de aseo urbano existentes, la producción per cápita debe fijarse con base en el análisis de los datos de producción.

Los datos de producción per cápita de un sistema de aseo deberán registrarse anualmente, con el objetivo de verificar la eficiencia del servicio y, en caso de deficiencias, tomar medidas correctivas. Los municipios o asociaciones de éstos, que tengan un sistema de pesaje, como el que debe haber en todo relleno sanitario ó estación de transferencia, deberán llevar una estadística diaria con el peso de los residuos sólidos y la cantidad de vehículos. Esto con el objetivo de calcular tasas anuales de generación de basuras per cápita.

F.1.4.3 Caracterización de los residuos sólidos

La tabla F.1.3 muestra las propiedades físicas, químicas y biológicas que deben analizarse según el nivel de complejidad del servicio y el tipo de sistema a diseñar. Los métodos de ensayos deben realizarse de acuerdo con las normas del Instituto Colombiano de Normas Técnicas o cualquier otro método normatizado internacionalmente.

TABLA F.1.3
Tipo de caracterización física química y biológica de los residuos sólidos

Sistema	Tipo de caracterización	Nivel de complejidad del sistema				Normas
		Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	
Aprovechamiento (No incluye compostaje)	Peso específico	X	X	X	X	D5057
	Contenido de humedad	X	X	X	X	
	Tamaño de partículas	X	X	X	X	E726
	Distribución del tamaño	X	X	X	X	E1037
	Materia volátil combustible	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹	
	Carbono fijo	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹	
	Ceniza	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹	D5468
	Punto de fusión de las cenizas	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹	
Recolección y transporte	Análisis elemental (C,H,O,N,S,ceniza)	X	X	X	X	E1279-Carbono E778-Nitrogeno
	Contenido de energía	X ¹	X ¹	X ¹	X ¹	
	Peso específico	X	X	X	X	
	Contenido de humedad	X	X	X	X	
Incineración	Peso específico				X	
	Contenido de humedad				X	
	Análisis elemental (C,H,O,N,S,ceniza)				X	E1279-Carbono E778-Nitrogeno
	Materia volátil combustible				X	
	Carbono fijo				X	
	Ceniza				X	
	Punto de fusión de las cenizas				X	
	Contenido de energía				X	
Relleno sanitario	Peso específico	X	X	X	X	D5057
	Contenido de humedad	X	X	X	X	

X: Obligatorio

X¹: Obligatorio si son usados como combustibles

Sistema	Tipo de caracterización	Nivel de complejidad del sistema				Norma
		Bajo	Medio	Medio Alto	Alto	
Relleno sanitario	Capacidad de campo			X	X	
	Permeabilidad de los residuos compactados				X	
	Sólidos Totales	X	X	X	X	
	Sólidos Volátiles	X	X	X	X	
	Cadmio			X	X	
	Mercurio			X	X	
	Plomo			X	X	
	Níquel			X	X	
	Cromo			X	X	
Compostaje	Peso específico	X	X	X	X	D5057
	Contenido de humedad	X	X	X	X	
	Tamaño de partículas				X	E726
	Distribución del tamaño				X	E1037
	Análisis elemental (C,H,O,N,S,ceniza)				X	E1279-Carbono E778-Nitrogeno
	Coliformes	X	X	X	X	
	Sólidos Totales	X	X	X	X	
	Sólidos Volátiles	X	X	X	X	
	Cadmio			X	X	
	Mercurio			X	X	
	Plomo			X	X	
	Níquel			X	X	
	Cromo			X	X	

X: Obligatorio

X': Obligatorio si son usados como combustibles

El generador debe identificar las características peligrosas de cada uno de los residuos que genere, teniendo en cuenta las características de los procesos en donde dichos residuos sean generados y de las materias primas y otros insumos empleados. Si la caracterización requiere análisis de laboratorio, estos deben realizarse por un laboratorio aprobado por la autoridad competente. La identificación de los residuos peligrosos debe basarse en los criterios presentadas en los literales F.7.3 y F.7.4.

F.1.4.4 Composición de los residuos sólidos

Todos los niveles de complejidad del sistema deben determinar la composición de sus residuos sólidos de acuerdo con los esquemas de clasificación que se muestra en los literales F.1.3.4.1, F.1.3.4.2 y F.1.3.4.3. El esquema de clasificación presentado en el literal F.1.3.4.4 debe considerarse en sistemas de gestión de residuos peligrosos.

F.1.4.4.1 Esquema de clasificación según la composición física

Los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Residuos de comida y jardín
2. Productos de papel
3. Productos de cartón
4. Plástico

5. Caucho y cuero
6. Textiles
7. Madera
8. Productos metálicos
9. Vidrio
10. Productos cerámicos, ceniza, rocas y escombros
11. Huesos
12. Otros

F.1.4.4.2 Esquema de clasificación según la procedencia de los residuos sólidos

Los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Residenciales
2. Industriales
3. Institucionales
4. Hospitalarios
5. De barrido

F.1.4.4.3 Esquema de clasificación según la factibilidad de manejo y disposición

Los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Comunes
2. Especiales

F.1.4.4.4 Esquema de clasificación según el grado de peligrosidad

En sistemas de gestión de residuos peligrosos, los residuos sólidos deben clasificarse, al menos, de acuerdo con el siguiente esquema:

1. Comunes
2. Peligrosos

F.1.4.4.5 Cálculo de la composición de los residuos sólidos

Debe determinarse el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos ya clasificados. El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes debe ser como mínimo el 95% del peso total de la muestra. En caso contrario debe repetirse la determinación.

F.1.4.4.6 Metodología de muestreo

El muestreo deberá realizarse por un método técnicamente recomendado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas o normatizado por estándares internacionales.

F.1.4.4.7 Número de muestras

El número de muestras está ligado al método de muestreo escogido. Sin embargo el número de muestras debe considerar los siguientes parámetros:

1. Desviación estándar normal para el nivel de confianza deseado
2. Desviación estándar calculada

3. Error muestral. El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes de subproducto considerado debe ser como mínimo el 95% del peso total de la muestra. En caso contrario debe repetirse la determinación.

F.1.4.4.8 Frecuencia de los ensayos

Se debe realizar caracterización de los residuos sólidos en las siguientes situaciones:

1. En la etapa de prediseño de un sistema de manejo de residuos sólidos
2. En la etapa de diseño de un sistema de manejo de residuos sólidos.
3. Cuando se requiera optimizar un sistema de residuos sólidos.
4. Al menos una vez cada dos años.
5. Siempre que las condiciones de la generación cambien.

F.1.4.4.9 Unidades para expresar los residuos cuantificados

Para sistemas de recolección y transporte de desechos sólidos, deben expresarse los residuos sólidos generados residencial y comercialmente, utilizando unidades de peso como: kilogramos o toneladas por día o año. Para la expresar las cantidades generadas, se recomiendan las unidades de expresión que aparecen en la tabla F.1.4.

TABLA F.1.4
Unidades de expresión recomendadas para las cantidades de residuos sólidos

Tipo de residuos	Unidad de expresión recomendada
Doméstico	kg/(hab.día)
Comercial	kg/(hab.día)
Industrial	Se recomienda expresarla con base en una unidad repetitiva, por ejemplo [kg/paquete]
Agrícola	Se recomienda expresarla con base en una unidad repetitiva, por ejemplo [kg/t de producto]

F.1.4.5 Cadena de Custodia

Para asegurar la integridad de la muestra desde la recolección hasta el reporte de los datos debe realizarse la cadena de custodia, realizando el siguiente procedimiento.

F.1.4.6 Procedimiento

La persona encargada de tener las muestras en custodia debe cumplir con los siguientes parámetros.

F.1.4.6.1 Etiquetas de las muestras

Se deben usar etiquetas para identificar las muestras; deben ser rótulos adhesivos que contengan como mínimo, la siguiente información:

1. Número de la muestra
2. Nombre de la persona que toma la muestra
3. Fecha y hora de recolección
4. Lugar de recolección
5. Identificación del tipo de muestra.

Las etiquetas deben colocarse antes del periodo del muestreo y llenarse a la hora de ejecución del muestreo.

F.1.4.6.2 Sellos de muestras

Para detectar falsificación de las muestras deben usarse sellos de muestras. El sello debe incluir, como mínimo, la misma información que contiene las etiquetas de las muestras y deben colocarse en los recipientes antes que el personal de muestreo abandone el sitio.

F.1.4.6.3 Registros

Debe registrarse toda la información pertinente al trabajo de campo o muestreo en un libro debidamente foliado. Debe incluir, como mínimo, la siguiente información:

1. Localización del punto de muestreo
2. Nombre y dirección del contacto en el sitio de muestreo
3. Productor del residuo y dirección si es diferente del de la localización
4. Tipo de residuo
5. Número y volumen de la muestra tomada
6. Propósito del muestreo
7. Descripción del punto de muestreo y metodología de muestreo
8. Fecha y hora de recolección
9. Número de identificación de la muestra
10. Distribución de la muestra y de su transporte
11. Referencias, como mapas o fotografías del sitio de muestreo
12. Observaciones de campo
13. Medidas hechas en el campo
14. Firmas del personal responsable
15. El libro de registro debe ser archivado de manera segura.

F.1.4.6.4 Carta de custodia

Cada muestra debe estar acompañada de la carta de custodia.

El registro debe contener, como mínimo, la siguiente información:

1. Número de la muestra
2. Firma de quien toma la muestra
3. Fecha y hora de recolección
4. Lugar y dirección de recolección
5. Tipo de residuo
6. Firmas de las personas que hacen parte del manejo de la muestra y la fecha de su manipulación

F.1.4.6.5 Hoja de remisión de muestras

A la muestra debe asignársele una hoja de remisión con la información de campo. El personal de laboratorio debe completar la información pertinente. Debe incluir como mínimo la siguiente información:

1. Nombre de la persona que recibe la muestra
2. Número de la muestra

3. Fecha y hora de recibo de la muestra
4. Localización de la muestra
5. Ensayos por realizar

F.1.4.6.6 Transporte, recibo, registro y análisis de la muestra en el laboratorio.

1. La muestra debe ser transportada al laboratorio para los análisis dentro del primer o segundo día después del muestreo.
2. La muestra debe ir acompañada de la carta de custodia y de la hoja de remisión de muestras.
3. La muestra debe ser entregada a la persona autorizada para recibirla en el laboratorio, quien debe revisar etiquetas y sellos los cuales deben estar acordes con lo consignado en la carta de custodia.
4. En el laboratorio se le asigna un número, se consigna en el libro de registro del laboratorio y se almacena en un cuarto seguro hasta que se realicen los análisis.
5. El supervisor es responsable del cuidado y custodia de la muestra.

F.1.4.7 **Determinación del peso volumétrico de los residuos**

Debe utilizarse para cálculo del peso volumétrico un método recomendado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas o estándares internacionales.

Sea cual fuere el método seleccionado el peso volumétrico es el cociente entre el peso en kg de la muestra de residuos sólidos sobre el volumen del recipiente utilizado en el muestreo expresado en m³. De esta forma el peso volumétrico queda expresado en kg/ m³, pero pueden utilizarse unidades análogas.

CAPÍTULO F.2

F.2. ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN

F.2.1 ALCANCE

En este capítulo se establece el procedimiento que debe seguirse para la evaluación de la población de todo sistema de aseo urbano con el fin de determinar la capacidad real que un componente en particular o todo el sistema debe tener a lo largo de un período de diseño determinado.

Las prescripciones establecidas en el presente capítulo deben aplicarse a los cuatro **niveles de complejidad del sistema** a menos que se especifique lo contrario.

F.2.2 ESTIMACIÓN DE LA POBLACIÓN

F.2.2.1 Censos

Deben recolectarse los datos demográficos de la población, en especial los censos de población del DANE y los censos disponibles de suscriptores de acueducto y otros servicios públicos de la localidad o localidades similares. Con base en los datos anteriores deben obtenerse los parámetros que determinen el crecimiento de la población.

F.2.2.2 Censos de vivienda

Si se dispone de los censos de vivienda de la localidad, éstos deben estar acompañados de todos los datos registrados en las publicaciones correspondientes, indicando la fuente y/o el autor. Con base en los datos anteriores debe obtenerse la tasa de crecimiento de la vivienda. Para verificar los datos de vivienda del último censo deben contarse las casas habitadas en cada zona de la localidad, al igual que los establecimientos comerciales, industriales e institucionales.

F.2.2.3 Densidades actuales y futuras

Teniendo en cuenta la identificación de las zonas actuales de la población y las zonas de expansión futuras, la densidad actual y la densidad proyectada deben hallarse con base en la población actual y futura de las zonas con el objeto de verificar la expansión real del sistema de acueducto.

Debe tenerse en cuenta la distribución espacial de la población, identificando los diferentes usos de la tierra, tipos de consumidores y la distribución espacial de la demanda.

Para todas las zonas de cobertura del sistema de acueducto debe verificarse que las proyecciones de la población no superen las densidades de saturación previstas para la localidad.

Las densidades de población y la distribución espacial deben estar acordes con las normas urbanísticas, planes de desarrollo, planes de ordenamiento territorial y demás programas formulados por el gobierno municipal, gubernamental o nacional que determinen la distribución espacial de la población, los usos de la tierra y posibles servidumbres, atendiendo los programas desarrollados según la Ley 188 de 1997.

F.2.2.4 Métodos de cálculo

El método de cálculo para la proyección de la población depende del **nivel de complejidad del sistema** según se muestra en la tabla F.2.1. Los datos de población deben estar ajustados con la población flotante, la población migratoria y las etnias minoritarias.

En caso de falta de datos, se recomienda la revisión de los datos de la proyección de la población con los datos disponibles en poblaciones cercanas que tengan un comportamiento similar al de la población en estudio.

TABLA F.2.1
Métodos de cálculo permitidos según el Nivel de Complejidad del Sistema

Método por emplear	Nivel de Complejidad del Sistema			
	Bajo	Medio	Medio alto	Alto
Aritmético	X	X		
Geométrico	X	X	X	X
Wappus	X	X	X	X
Gráfico	X ⁽¹⁾	X	X	
Exponencial	X ⁽¹⁾	X ⁽¹⁾	X ⁽²⁾	
Detallar por zonas		X	X	X
Detallar densidades		X	X	X

(1) Sujeto a justificación.

(2) Optativo, recomendable.

F.2.2.5 Ajuste por población flotante y población migratoria

El cálculo de la población por abastecer debe considerar actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen población flotante. Debe ajustarse la proyección de la población para tener en cuenta la población flotante, de acuerdo con los estudios socioeconómicos disponibles para la población.

En caso de que existan posibilidades de migración hacia el municipio, ésta debe tenerse presente en los estudios de proyección de la población.

En caso de que no existan datos, el diseñador debe proyectar la población utilizando alguna metodología especial establecida de común acuerdo con el contratante.

F.2.2.6 Etnias minoritarias

En caso de que en el municipio objeto de la construcción o ampliación de un sistema de acueducto exista una etnia minoritaria, la proyección de la población de ésta debe ser objeto de un estudio individual detallado.

CAPÍTULO F.3

F.3. RECOLECCIÓN, TRANSPORTE Y ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

F.3.1 ALCANCE

En este capítulo se establecen los criterios básicos y requisitos mínimos que deben reunir los procesos involucrados con la operación y diseño de sistemas de recolección, transporte y estaciones de transferencia de residuos sólidos, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad.

Este literal contiene los aspectos que deben tenerse en cuenta para determinar: el tipo de servicio de recolección a proporcionar, recipientes para recolección, tamaño de la cuadrilla, frecuencia de la recolección, tipo de vehículo recolector entre otros aspectos involucrados en la operación y diseño de los sistemas de recolección, transporte y estaciones de transferencia. En el literal F.7.18.4 se establecen los criterios y requisitos mínimos para recolección y transporte de residuos hospitalarios, igualmente para residuos peligrosos se describen en el literal F.7.8. No se incluyen los residuos de construcción y demolición regulados por la resolución 541 de 1994 del Ministerio del Medio Ambiente o la legislación que haga sus veces, ni los residuos radiactivos.

Los requerimientos dados en el desarrollo de este título deben cumplirse para los cuatro niveles de complejidad del sistema, a excepción de aquellos literales donde se especifique lo contrario.

F.3.2 REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR LA ACTIVIDAD DE RECOLECCIÓN

La recolección de residuos sólidos debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. La recolección debe efectuarse de modo que se minimicen los efectos ambientales, en especial el ruido y la caída de residuos en la vía pública. En caso de que se viertan residuos durante la recolección es deber del recolector realizar inmediatamente la limpieza correspondiente.
2. La entidad prestadora del servicio debe contar con equipos de reserva para garantizar la normal prestación del servicio de aseo urbano en caso de averías. El servicio de recolección de residuos sólidos no debe ser interrumpido por fallas mecánicas de los vehículos. Sólo podrá suspenderse por los motivos de fuerza mayor o caso fortuito contemplados en las leyes ó decretos vigentes.
3. El servicio de recolección se prestará en las frecuencias y horarios definidos en el contrato de condiciones uniformes.

El compromiso del operador debe ser dejar limpia cada zona, a través de determinadas frecuencias y horarios de prestación del servicio, las cuales serán determinadas según el grado de sostenibilidad de la limpieza de la zona.

4. En las zonas en las cuales se utilice el sistema de recolección por contenedores, los usuarios o los operadores, deben instalarlos en la cantidad que sea necesaria para que los residuos sólidos depositados no desborden su capacidad y esté acorde con la frecuencia de recolección.

El contenedor debe ser compatible con los equipos de recolección del operador por eso la responsabilidad de colocarlos deber ser de éstos, previo análisis ambiental, técnico y operativo, limitando su cantidad con autorización de la comunidad. Su costo debe estar involucrado en la tarifa, para esquemas de prestación regular del servicio. De todas maneras, la colocación de contenedores puede generar botaderos si no se estipula su control y cantidad. Lo anterior no descarta la colocación de cestas públicas de acopio de residuos por parte de la comunidad atendida.

5. La operación de compactación debe efectuarse en zonas donde cause la mínima molestia a los residentes. En ningún caso esta operación puede realizarse frente a centros educativos, hospitales, clínicas o cualquier clase de centros asistenciales.

F.3.2.1 Principios básicos para la prestación del servicio de aseo

La prestación del servicio de aseo, de acuerdo a la Ley 142 de 1994, debe hacerla una Empresa de Servicio Público (E.S.P.). Esta prestación debe seguir los principios básicos mencionados a continuación y los demás que señalen las leyes o decretos vigentes.

1. Garantizar la calidad del servicio a toda la población.
2. Prestar eficientemente el servicio de forma continua e ininterrumpida.
3. Obtener economías de escala comprobables y establecer mecanismos que garanticen a los usuarios el acceso al servicio y su participación en la gestión y fiscalización de la gestión.
4. Desarrollar una cultura de la no basura.
5. Minimizar el impacto ambiental de la producción de residuos sólidos en todos y cada uno de las componentes del servicio de aseo.
6. Por otra parte, la entidad prestadora del servicio domiciliario de aseo será responsable de los efectos ambientales y a la salud pública generados por la recolección, el transporte y la disposición final de los residuos sólidos domiciliarios.
7. Garantizar la cobertura y la ampliación permanente a todos los usuarios de la zona bajo su responsabilidad.

F.3.3 DISEÑO DE SISTEMAS SIN APROVECHAMIENTO

F.3.3.1 Aspectos de diseño

En el sistema de recolección y transporte deben definirse claramente los siguientes aspectos:

1. Tipo de servicio de recolección a proporcionar: en la aceras frente a cada unidad de almacenamiento. Solo debe permitirse la recolección en esquinas cuando haya imposibilidad de acceso del vehículo recolector porque las calles son muy angostas o porque se trata de vías peatonales. De todas maneras debe existir un diseño para controlar la recolección por esquinas.
2. Tipo de sistema de recolección y equipos utilizados en la actualidad.
3. Cantidad, tipo y tamaño de los vehículos recolectores.
4. Tamaño de la cuadrilla.
5. Metodología general para la puesta en marcha rutas de recolección.

F.3.3.2 Tipo de servicio de recolección a proporcionar

La recolección ordinaria debe realizarse utilizando el sistema de acera, el esquinas y/o el de unidades de almacenamiento, definidos en el literal F.1.

Los sistemas de recolección en aceras se recomiendan para residuos sólidos domésticos, al igual que el de esquinas, salvo que este último es funcional en zonas de difícil acceso. El sistema de unidades de almacenamiento debe utilizarse para recolección de residuos procedentes de centros de alta tasa de generación.

F.3.3.3 De los recipientes para recolección

F.3.3.3.1 Canecas doméstica

Estos recipientes retornables deben fabricarse de modo que faciliten y reduzcan el impacto sobre el medio ambiente y la salud pública. Las características mínimas que deben tener son las siguientes:

1. Peso y construcción que faciliten el manejo durante la recolección.
2. Fabricados en material impermeable, de fácil limpieza, con protección contra el moho y la corrosión, como plástico, caucho o metal.
3. Dotados de tapa con buen ajuste, que no dificulte el proceso de vaciado durante la recolección.
4. Diseñados de modo que, estando cerrados o tapados, no permitan la entrada de agua, insectos o roedores, ni el escape de líquidos por sus paredes o por el fondo.
5. Con bordes redondeados y de mayor área en la parte superior, de modo que se facilite el vaciado.
6. Capacidad de acuerdo con lo que establezca la entidad que presta el servicio de aseo.

Las canecas domésticas deben lavarse por el usuario con una frecuencia tal que sean presentados en condiciones sanitarias adecuadas.

F.3.3.3.2 Recipientes desechables

Los recipientes desechables utilizados para almacenamiento de residuos sólidos en el servicio ordinario pueden ser bolsas de material plástico o de características similares, y deben reunir por lo menos las siguientes condiciones:

1. Su resistencia debe soportar la tensión ejercida por los residuos sólidos contenidos y por su manipulación.
2. Su capacidad debe estar de acuerdo con lo que establezca la entidad que presta el servicio de aseo.
3. Cuando se utilicen bolsas de material plástico o de características similares como recipientes desechables, el usuario deberá presentarlas cerradas con nudo o sistema de amarre fijo.

F.3.3.3.3 Recipientes para residuos sólidos de evacuación por ductos

Los residuos sólidos que sean evacuados por ductos, serán empacados en recipientes impermeables que cumplan con las características exigidas para recipientes desechables, no podrán ser evacuados residuos de vidrio, botellas, o todo material que al lanzarlo por el ducto pudiera desgarrar el recipiente o bolsa que lo contenga.

F.3.3.3.4 Cajas de almacenamiento

El diseño de las cajas de almacenamiento debe cumplir, al menos, los siguientes criterios:

1. El tamaño y capacidad, así como su sistema de cargue y descargue, deben ser las que señalen las entidades encargadas del aseo, con el objeto de que resulten compatibles con los correspondientes equipos de recolección y transporte colectivo.
2. Las dimensiones deben ser tales que aseguren el almacenamiento completo de los residuos sólidos producidas entre dos recolecciones sucesivas.
3. Su forma y configuración deben ser tales que impidan el acceso de animales.
4. Deben ser compatibles con el vehículo de recolección del sistema.

F.3.3.3.5 Canecas públicas

Las canecas públicas deben ser diseñadas y ubicadas según los siguientes requisitos:

1. La altura de la boca debe estar entre 0.75 m y 1.10 m del suelo (altura de la mano para facilitar su uso).
2. El ancho de la boca debe ser como mínimo de 0.35 m para evitar la caída de los papeles al disponerlos.

3. Para que los papeles no vuelen con el viento es preferible que las canecas sean bastante profundas y no colocar tapas ya que el público se resiste a empujar una tapa que se supone estará sucia.
4. Deben tener algunas perforaciones en el fondo para evitar que se llenen de agua cuando llueva.
5. Deben ser fáciles de vaciar, por lo que conviene que puedan voltearse girando sobre su propio eje horizontal.
6. Deben estar sólidamente sujetos para evitar que sean robadas. Los soportes tienen que ser resistentes para que los golpes ocasionales no los doblen.
7. El color debe ser llamativo para atraer la vista, pero sin alterar la estética del sector.
8. Deben ser ubicados en esquinas y áreas de mayor concentración y movimiento de personas, tomando en cuenta que no obstruyan el paso de peatones y que éstos no se desplacen en demasía para depositar el residuo en la caneca.
9. Los recipientes sujetos en postes o empotrados en la pared, estarán a una altura de 0.70 m a 1.0 m, dependiendo si éstos se encuentran en una zona escolar, comercial o de esparcimiento público.
10. El material de los recipientes debe ser duradero, consistente y liviano.
11. El municipio debe realizar el mantenimiento permanente de estas canecas públicas. (Puede ser a través de terceros).

F.3.3.3.6 Recipientes para almacenamiento de residuos sólidos con características especiales

Deben ser distintos a los destinados para el servicio ordinario, claramente identificados y observando medidas especiales sanitarias y de seguridad para la protección de la salud humana y el medio ambiente. Deben ser de cierre hermético y estar debidamente marcados con las medidas que deben seguirse en caso de emergencia.

F.3.3.4 Frecuencia de recolección

Para residuos que contengan material putrescible, la frecuencia del servicio de recolección debe ser, al menos, dos veces por semana. Dependiendo de las características del clima o de la zona, esta frecuencia debe incrementarse para eliminar los problemas de olores y de infestación de insectos y roedores asociados con la acumulación y putrefacción de tales residuos.

Para el establecimiento de las frecuencias y los horarios deben tenerse en cuenta en especial los siguientes usos:

1. Vías del centro de los municipios y de alto tráfico vehicular y peatonal.
2. Hospitales, clínicas y entidades similares de atención a la salud.
3. Recolección a industrias.
4. Zonas de difícil acceso.
5. Cualquier otro gran generador.

Todo cambio en las rutas, frecuencias y horarios deberá ser notificado con anterioridad a los usuarios atendidos. Si el día propuesto de recolección es festivo y la empresa de recolección no labora en ese día, ésta deberá diseñar un plan de contingencia de modo que la recolección se normalice en los siguientes dos días.

La entidad prestadora del servicio de aseo debe ofrecer por lo menos dos veces al año el servicio de recolección de aquellos residuos que por su manejo no puedan ser recogidos por el sistema de recolección ordinario, tales como: neveras, calentadores, árboles, etc. La entidad prestadora del servicio de aseo debe informar a la comunidad sobre las condiciones y fecha de este servicio.

El responsable del transporte de residuos sólidos con características especiales deberá solicitar y obtener un concepto previo favorable de la autoridad ambiental competente.

F.3.3.4.1 Rendimiento de la recolección

Los tiempos de recolección serán diseñados de modo que se minimice el costo total de la recolección. La determinación de los diferentes factores de tiempo podrá hacerse a través del monitoreo de los tiempos reales empleados por el sistema de recolección actual - si existiera -, el uso de fórmulas teóricamente válidas o la utilización de las siguientes fórmulas recomendadas:

1. Tiempo de recolección

Es el tiempo requerido para llenar el vehículo de recolección. Esta determinado por factores como la cantidad de residuos sólidos por parada de recolección, capacidad del vehículo de recolección, densidad de los residuos sólidos.

$$\text{Tiempo de recolección} = \frac{V \cdot D \cdot t_s}{Q} \quad (\text{F.3.1})$$

2. Tiempo de transporte

Tiempo comprendido desde el llenado del vehículo de recolección hasta el transporte al sitio de disposición final y regreso al sitio de recolección.

$$\text{Tiempo de transporte} = (2 \cdot n - 1) \cdot b \quad (\text{F.3.2})$$

3. Tiempo de descarga

Es el tiempo comprendido desde la llegada del vehículo al sitio de disposición final hasta su salida. Su estimación es función del tipo de superficie del área de disposición, facilidades de maniobrabilidad del vehículo y el tiempo gastado en la compactación.

4. Tiempos muertos

Es la suma de:

- a) Tiempos de viaje desde el garaje de recolección hasta la ruta de recolección al comenzar el día de trabajo.
- b) Tiempos de viaje desde el sitio de disposición final al sitio de almacenamiento de los vehículos de recolección al terminar el día.
- c) Tiempos inherentes a la cuadrilla, como almuerzos, fatigas que afectan la eficiencia del recolector, despacho de vehículos, accidentes, etc.

F.3.3.4.2 Horarios de recolección

La entidad o entidades prestadoras del servicio domiciliario de aseo deben determinar el horario de la recolección de los residuos sólidos teniendo en cuenta las características de cada zona, la jornada de trabajo, el clima, la capacidad de los equipos, las dificultades generadas por el tráfico vehicular o peatonal y cualquier otro elemento que pueda tener influencia en la prestación del servicio.

F.3.3.5 Cuadrilla

La entidad prestadora del servicio domiciliario de aseo debe realizar un estudio que optimice los tiempos y movimientos de la cuadrilla; y si el diseño de la cabina del conductor lo permite, éste también formará parte de aquella. Complementariamente, la entidad prestadora del servicio de aseo debe ofrecer entrenamiento a su personal de recolección, que cubra al menos los siguientes aspectos:

1. Técnicas de manipulación de residuos sólidos
2. Forma como deberán ser recibidos de los usuarios los recipientes de almacenamiento
3. Técnicas para una recolección eficiente.

4. La entidad prestadora del servicio de aseo debe proveer a su personal de los elementos de seguridad necesarios, tales como gafas de seguridad, mascarillas, guantes u otros elementos apropiados para el desempeño seguro del trabajo.
5. En general, la entidad prestadora del servicio domiciliario de aseo debe tomar todas las medidas de seguridad necesarias a fin de no exponer la seguridad y salud de su personal de recolección .

F.3.3.6 Selección del vehículo de recolección

El vehículo recolector debe seleccionarse de modo que se minimice el costo de la recolección total por tonelada de residuo sólido recolectado. El costo de la recolección total es la suma de los costos de la unidad compactadora, cuadrilla, operación, etc. Para ello debe realizarse un estudio de costos que incluirá al menos los siguientes ítems:

1. Análisis económico y financiero
2. Disponibilidad de repuestos y mantenimiento
3. Velocidad de llenado y vaciado
4. Capacidad máxima
5. Tamaño de calles
6. Trazado de vías
7. Pendientes en el recorrido
8. Densidad de población
9. Distancia al lugar de descarga
10. Unidad compactadora

Los vehículos recolectores de entidades prestadoras del servicio de aseo y en general, cualquier vehículo que realice la recolección deben cumplir con las siguientes características:

1. Los vehículos recolectores deben ser estancos es decir, no permitir el escape de líquidos sólidos o gases concentrados dentro del mismo.
2. La salida del exhosto debe estar hacia arriba y por encima de su altura máxima, para cumplir con las normas establecidas por la autoridad ambiental competente y ajustarse a los requerimientos de tránsito.
3. Los vehículos con caja compactadora deben tener un sistema de compactación que pueda ser detenido en caso de emergencia.
4. Las cajas de los vehículos destinados a la recolección y transporte de los residuos sólidos, deben ser de tipo de compactación cerrada de manera que impidan la pérdida del lixiviado, y contar con un mecanismo automático que permita una rápida acción de descarga.
5. Los equipos destinados a la recolección deben tener estribos adecuados para que el personal pueda acceder a la tolva de carga en forma segura; así mismo deben tener superficie antideslizante.
6. Los equipos deben efectuar rápidamente la carga y el descarga de los residuos almacenados en las cajas cerradas y abiertas, para evitar al máximo la dispersión de los residuos sólidos y la emisión de polvos.
7. Durante el transporte, los residuos deberán estar cubiertos dentro de los vehículos, de modo que se reduzca al mínimo al contacto con la lluvia y el viento, y se disminuya el impacto visual.
8. Las dimensiones de los vehículos deben corresponder a la capacidad y dimensión de las vías públicas.
9. Deben garantizar la seguridad ocupacional de los conductores y operarios.
10. Deben estar dotados con equipos contra incendios y accidentes.
11. Deben estar dotados de dispositivos que minimicen el ruido, especialmente aquellos utilizados en la recolección de los residuos sólidos en zonas residenciales y en las vecindades de hoteles, hospitales, centros asistenciales e instituciones similares.
12. Deben estar provistos de un equipo de radiocomunicaciones que, se utilizarán para la operación en los diferentes componentes del servicio.

13. Deben estar claramente identificados (color, logotipos, número de identificación, etc.)

14. Se recomienda que cuenten con equipos de compactación de residuos sólidos. Podrán exceptuarse aquellos que se destinen a la recolección de escombros, de residuos peligrosos, de residuos hospitalarios o infecciosos y aquellos objetos del servicio especial que no sean susceptibles de ser compactados.

Cuando por condiciones del estado, capacidad y dimensión de las vías públicas, dificultades de acceso o condiciones topográficas o meteorológicas adversas no sea posible la utilización de vehículos con las características antes señaladas, la autoridad competente debe evaluar la conveniencia de utilizar diseños o tipos de vehículos diferentes o adaptarlos, e incluso puede efectuarse la recolección mediante transporte de tracción humana o animal.

Los equipos, accesorios y ayudas de que estén dotados los vehículos destinados para transporte de residuos sólidos deben funcionar permanentemente en condiciones adecuadas para la prestación del servicio, para lo cual se someterán a revisión periódica.

Los vehículos de recolección y transporte de residuos sólidos deben lavarse al final de la jornada diaria. El lavado no puede efectuarse en áreas públicas y está sometido a las reglamentaciones que al respecto fije la autoridad competente.

F.3.3.7 Ruteo

Las entidades prestadoras del servicio deben establecer las macrorrutas y microrrutas que deben seguir cada uno de los vehículos recolectores en la prestación del servicio, de acuerdo con las normas de tránsito y las características físicas del municipio. Estas rutas deben cumplir con la eficiencia en la asignación de recursos físicos y humanos para lograr la productividad de un servicio competitivo.

Para el diseño de las macrorrutas se recomienda seguir la siguiente metodología:

1. Definir planimétricamente la zona a servir, teniendo en cuenta los planes de desarrollo de cada municipio. Deben definirse también las redes de servicio público existentes
2. Incluir en el plano las toneladas diarias de residuos sólidos para cada vivienda ó contenedor, de acuerdo con el sistema de recolección previamente escogido.
3. Subdividir el área en zonas que tengan el mismo uso, por ejemplo: residencial, comercial, industrial, etc.
4. Asignar a cada subárea una o más microrrutas. Esta asignación debe en lo posible limitar el paso por cada calle a una vez y en general deben considerarse las recomendaciones para el diseño de microrrutas.

Para el diseño de microrrutas deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. El diseño de la microrruta debe comenzar en el punto más cercano al garaje del vehículo y terminar en el punto más cercano al sitio de disposición final de éstos
2. Los residuos localizados en zonas de congestión vial se deben recogerse a una hora del día tal que no haya congestiones de tráfico que retrasen el recorrido.
3. El diseño de la microrruta debe minimizar los giros en "U" y los giros a la izquierda.
4. La microrruta debe promover que el recorrido de las calles sea en el sentido de las manecillas del reloj.
5. La microrruta debe ser continua, es decir que contenga una serie de calles sin zonas muertas o traslapadas con calles correspondientes a otras rutas.
6. Las microrrutas correspondientes a una misma zona de servicio deben en lo posible recolectar un mismo número de cargas diarias lo que le da flexibilidad al servicio.
7. Las vías cerradas deben ser recolectadas así: desplazamiento en reversa y recolección en marcha adelante.

8. En lo posible las microrrutas deben diseñarse para que empiecen y terminen cerca de calles de tráfico alto. Utilizando las barreras topográficas y físicas como bordes de la macrorruta.
9. En zonas de cerros, la recolección debe empezar en la parte más alta y continuar cuesta abajo mientras se cargan los vehículos.
10. En calles empinadas, la recolección empezará en la parte más alta y, si se deben recoger ambas aceras, el conductor viajará cuesta abajo mientras el personal recolector carga el camión.
11. En caso de recolección en ambas aceras deben preferirse rutas derechas, con pocos giros.
12. El conductor o jefe de cuadrilla debe contar con una carta de recorrido o microrruta preestablecida al momento de iniciar los servicios; ésta debe ser susceptible de adaptar a medida que la cuadrilla descubra mejores formas de realizar el servicio (reducción de tiempo y consumo de combustible).
13. Debe minimizarse los tiempos muertos y recorridos improductivos
14. Tránsito real y futuro
15. Censo de grandes generadores de basura
16. Usos del suelo
17. Alturas permisibles en puentes

Cuando el sistema de transporte se encuentre en operación, la ruta diseñada debe ser rectificadas en conjunto con el conductor del vehículo de recolección.

F.3.4 OPERACIÓN DE SISTEMAS SIN APROVECHAMIENTO

F.3.4.1 Almacenamiento de los residuos sólidos

F.3.4.1.1 Exterior de la vivienda

La presentación debe realizarse con una anterioridad máxima de tres horas a la hora inicial de recolección, en un lugar que sea de fácil acceso para los vehículos y el personal de recolección y la vez de fácil limpieza en caso de presentarse derrames. Los residuos sólidos provenientes del barrido de andenes e interiores de edificaciones deben ser almacenados y presentados por los usuarios junto con los residuos sólidos originados en las mismas.

Para el almacenamiento adecuado de residuos sólidos en el exterior de la vivienda, debe cumplirse

1. Almacenar en forma sanitaria los residuos sólidos generados.
2. No depositar sustancias líquidas, excrementos, ni residuos sólidos de los contemplados para el servicio especial, en recipientes destinados para recolección en el servicio ordinario.
3. Colocar los recipientes en el lugar de recolección de acuerdo con el horario establecido por la entidad de aseo en tal forma que se evite el contacto de éstos con el medio.
4. Los recipientes usados para presentación de residuos sólidos, excepto los que se hallen dentro de áreas de almacenamiento cerradas, sólo podrán permanecer en el sitio de recolección durante los días establecidos por la entidad de aseo.
5. En caso de urbanizaciones, barrios o conglomerados, con calles internas o cuyas condiciones impidan la circulación de vehículos de recolección, así como en situaciones de emergencia los usuarios están en la obligación de trasladar los residuos sólidos hasta el sitio que determine la entidad de aseo.

F.3.4.1.2 Almacenamiento multifamiliar, institucional o comercial

Toda edificación para uso multifamiliar, multifamiliar de alta densidad, institucional o comercial, y las que la entidad de aseo determine, debe tener un sistema de almacenamiento colectivo de residuos sólidos, diseñado como mínimo con los requisitos y criterios que se presentan a continuación y demás disposiciones vigentes relacionadas con la materia.

El sistema de almacenamiento colectivo debe cumplir con los siguientes requisitos:

1. Acabados lisos para facilitar limpieza e impedir la formación de ambientes propicios para el desarrollo de microorganismos.
2. Tendrán sistemas de ventilación (extractores de aire), suministro de agua, desagüe, energía eléctrica y prevención y control de incendios.
3. Serán construidas de manera que se evite el acceso de insectos, roedores y otras clases de animales.
4. Capacidad suficiente de almacenamiento de acuerdo con la frecuencia de recolección.
5. Debe cumplir obligatoriamente con un acceso para los vehículos recolectores.
6. Será responsabilidad de la administración de los edificios mantener informados a los residentes de en relación con el tipo de residuo que se permite evacuar a través de los ductos.
7. Las áreas de almacenamiento serán aseadas, fumigadas y desinfectadas por el usuario, con la regularidad que exige la naturaleza de la actividad que en ellas se desarrolla, de conformidad con los requisitos y normas establecidos por la autoridad competente.
8. Se prohíbe el almacenamiento de basuras fuera del área de almacenamiento.
9. El área de almacenamiento debe contener recipientes de almacenamiento en cantidad y dimensiones suficientes que no permitan la acumulación de residuos sólidos en el piso de la misma. La selección de estos recipientes debe considerar el tipo de vehículo de recolección del sistema.

F.3.4.1.3 Cajas de almacenamiento para residuos de alimentos o similares

Los conjuntos residenciales y multifamiliares, así como las entidades o instituciones cuya ubicación no facilite la prestación del servicio ordinario de recolección, podrán solicitar que la entidad de aseo instale cajas de almacenamiento para residuos de alimentos o similares en su perímetro. El sitio para ubicar las cajas de almacenamiento debe permitir, al menos:

1. Accesibilidad a los usuarios.
2. Accesibilidad y facilidad para manejo y evacuación de residuos sólidos.
3. Tránsito de peatones o vehículos según el caso.
4. Conservación de la higiene y estética de la zona.
5. Se prohíbe la localización de cajas de almacenamiento de residuos sólidos en áreas públicas. Sin embargo la entidad de aseo podrá permitirlo cuando las necesidades del servicio lo hagan conveniente, o cuando un evento o situación específica lo exijan, previa autorización de la autoridad municipal.

Todas las plazas de mercado al igual que otros escenarios al aire libre deben estar provistas de sitios específicos, adecuadamente dotados para el almacenamiento de los residuos sólidos, que cumplan con los requisitos de este literal.

F.3.4.2 Barrido de calles

El barrido de calles debe realizarse de acuerdo a lo establecido en el Decreto 605 de 1996 del Ministerio de Desarrollo Económico o aquel que lo modifique o sustituya.

F.3.4.3 Evaluación y control

1. La entidad prestadora del servicio de aseo debe manejar e inventariar información detallada de los costos del sistema de recolección, que incluya costos de capital, operación y mantenimiento.
2. También deberá registrarse anualmente los datos de producción total, producción per cápita generadas en la zona de servicio. El registro puede hacerse por regiones (si estas existen) dentro de la zona de servicio.
3. Esta información debe ser utilizada para evaluar periódicamente la eficiencia del sistema de recolección.
4. Deben realizarse auditorías periódicas que determinen la eficiencia del servicio, los impactos ambientales minimizados y generados, la satisfacción de las necesidades del usuario, etc.
5. Si como resultado de una evaluación periódica del costo de recolección, se determina que este es muy alto, se puede considerar la utilización de estaciones de transferencia (F.3.7), siempre y cuando al comparar costos y beneficios ésta última sea más económica.

F.3.5 DISEÑO DE SISTEMAS CON APROVECHAMIENTO

F.3.5.1 Aspectos de diseño

Se deben definir los aspectos que aparecen en el literal F.3.3.1, incluyendo la frecuencia y horarios de recolección para la ruta de reciclaje.

F.3.5.2 Tipo de servicio de recolección a proporcionar

Puede utilizarse el sistema de acera utilizando vehículos de recolección convencionales y/u otros especialmente diseñados, el de esquinas, recolección de unidades de almacenamiento y/o entrega por parte de los usuarios a centros de acopio. Debe justificarse claramente con base en criterios técnicos, económicos, sociales y ambientales la selección del sistema escogido.

En el sistema de unidades de almacenamiento pueden utilizarse uno o varios contenedores del diseño del sistema total de aprovechamiento.

F.3.5.3 Tipo de materiales a recuperar

De acuerdo con el tipo de Aprovechamiento de residuos sólidos que se realice en la zona (Ver literal F.4 Aprovechamiento), la separación puede ser de varios materiales como: periódicos, plásticos, vidrios, metales, etc.

F.3.5.4 De los recipientes para recolección

F.3.5.4.1 Recipientes retornables

Deben cumplirse los requerimientos descritos en el literal F.3.3.3.1. El color del recipiente se selecciona en la norma Icontec GTC 24, de acuerdo con el tipo de materiales recuperables.

F.3.5.4.2 Recipientes desechables

Deben cumplirse los requerimientos descritos en el literal F.3.3.3.2. El color del recipiente se selecciona en la norma Icontec GTC 24, de acuerdo con el tipo de materiales recuperables.

F.3.5.4.3 Residuos sólidos para evacuación por ductos

Deben cumplirse los requerimientos descritos en el literal F.3.3.3.3. El color del recipiente se selecciona en la norma Icontec GTC 24, de acuerdo con el tipo de materiales recuperables.

F.3.5.4.4 Cajas de almacenamiento

Deben cumplirse los requerimientos descritos en el literal F.3.3.3.4. Los residuos sólidos aprovechables deben almacenarse en contenedores distintos.

F.3.5.4.5 Canecas

Deben cumplirse los requerimientos descritos en el literal F.3.3.3.5. El color del recipiente se selecciona en la norma Icontec GTC 24, de acuerdo con el tipo de materiales recuperables.

F.3.5.4.6 Recipientes para almacenamiento de residuos sólidos con características especiales

Deben cumplirse los requerimientos descritos en el literal F.3.3.3.5. El color del recipiente se selecciona en la norma Icontec GTC 24.

F.3.5.5 Frecuencia de recolección

La frecuencia mínima del servicio de recolección será, al menos, una vez por semana. Dependiendo de las características del clima o de la zona, esta frecuencia puede incrementarse para eliminar los problemas de olores y de infestación de insectos y roedores asociados con la acumulación y putrefacción de tales residuos. A diferencia de la frecuencia mínima del servicio deben tenerse en cuenta los demás aspectos descritos en el literal F.3.3.4.

Las rutas de recolección de residuos sólidos aprovechables deben recorrerse en horarios y frecuencias diferentes a las de los residuos sólidos no aprovechables o mediante la utilización de vehículos y equipos que garanticen que no sean mezclados durante su recolección y transporte.

F.3.5.5.1 Rendimiento de la recolección

Los tiempos de recolección se diseñan como se describe en el literal F.3.3.4.1.

F.3.5.5.2 Horarios de recolección

Se deben determinar de acuerdo con lo descrito en el literal F.3.3.4.2.

F.3.5.6 Cuadrilla

Debe realizarse un estudio que optimice los tiempos y movimientos de la cuadrilla y permitir que el conductor haga parte de esta si el diseño de la cabina de éste lo acepta. También deberá entrenarse al personal de recolección al menos en los aspectos descritos en el literal F.3.3.5.

F.3.5.7 Selección del vehículo de recolección

Deben considerarse los criterios descritos en el literal F.3.3.6. Pueden utilizarse vehículos de recolección convencionales y/o vehículos de recolección especializados diseñados para este tipo de recolección, siempre y cuando un análisis económicos de éste arroje factibilidad de implementación de este tipo de vehículo.

F.3.5.8 Ruteo

Para el diseño de macrorrutas y microrrutas, deben tenerse en cuenta las consideraciones descritas en el literal F.3.7.

F.3.6 OPERACIÓN DE SISTEMAS CON APROVECHAMIENTO

F.3.6.1 Almacenamiento de los residuos sólidos

F.3.6.1.1 Exterior de la vivienda

Debe realizarse de acuerdo con los criterios descritos en el literal F.3.4.1.1.

F.3.6.1.2 Almacenamiento multifamiliar, institucional o comercial

Debe realizarse de acuerdo con los criterios descritos en el literal F.3.4.1.2.

F.3.6.1.3 Cajas de almacenamiento para residuos de alimentos o similares

Deben tenerse en cuenta los criterios descritos en el literal F.3.4.1.3. Los residuos sólidos aprovechables deben almacenarse en unidades de almacenamiento individuales y el tipo de unidad dependerá del tipo de residuo a contener.

Los residuos aprovechables residenciales o institucionales no podrán disponerse en cajas de almacenamiento de residuos no recuperables.

F.3.6.1.4 Residuos peligrosos

No deben mezclarse los residuos peligrosos con los residuos aprovechables.

F.3.6.1.5 Evaluación y Control

Deben tenerse en cuenta las consideraciones que aparecen en el literal F.3.4.1.4.

F.3.6.2 Barrido de calles

Deben tenerse en cuenta las consideraciones que aparecen en el literal F.3.4.2

F.3.7 ESTACIONES DE TRANSFERENCIA

En las poblaciones comprendidas en el **nivel alto de complejidad del sistema**, las entidades prestadoras del servicio deben definir la necesidad de establecer estaciones de transferencia, con base en los siguientes criterios:

1. Incrementar la eficiencia global del servicio de recolección
2. Lograr la economía en el sistema de transporte
3. Disminuir el tiempo muerto de la mano de obra empleada en la recolección.
4. Disminuir los costos de recolección.
5. La estaciones de transferencia podrán implementarse conjuntamente con los centros de separación, para garantizar la recuperación de materiales.

F.3.7.1 Requisitos de estaciones de transferencia

Las poblaciones comprendidas en el **nivel alto de complejidad**, de acuerdo con sus necesidades, deben realizar un estudio de factibilidad que justifique la necesidad de implantar una estación de transferencia, el cual debe contener:

1. Evaluación económica. Debe evaluar la contribución de la puesta en marcha de una estación de transferencia al bienestar económico.

2. Evaluación técnica. Debe determinar si hay un incremento de la vida útil de los vehículos, disminución de los costos de mantenimiento de los vehículos recolectores y minimización de posibles problemas con éstos, tales como pinchaduras de llantas, defectos mecánicos, etc.
3. Evaluación financiera. Debe establecer los costos de recolección para los usuarios, costos de mantenimiento de los vehículos de transferencia, costos de mano de obra, transporte, construcción civil y equipos; para establecer los beneficios y la rentabilidad financiera del proyecto.
4. Evaluación institucional. Debe analizar la estructura interna del proyecto, el personal que lo va a manejar y las relaciones inter y extra institucionales que influyen en el funcionamiento del proyecto.
5. Evaluación ambiental. Debe evaluar los posibles impactos generados sobre el aire, el agua, los suelos y la biota. Debe haber participación ciudadana en la determinación de los impactos generados sobre la comunidad.

F.3.7.2 Diseño de estaciones de transferencia

F.3.7.2.1 Localización

La localización de la estación de transferencia se hará con base en los siguientes criterios:

1. Tan cerca como sea posible del centro de gravedad (descrito en el literal F.3.7.2.7) de la zona de influencia de producción de residuos sólidos que se va a servir.
2. Fácil acceso a vías arteriales importantes, cerca de medios de transporte secundarios o suplementarios, sin obstaculizar el tránsito vehicular o peatonal, ni causar problemas de estética.
3. Minimización de impactos ambientales negativos en la zona aledaña a ésta.
4. Construcción y almacenamiento económicos.
5. Lejos de áreas de influencia de establecimientos docentes, hospitalarios, militares y otros sobre cuyas actividades pueda interferir.
6. Cumplir con las disposiciones de la Ley 99 de 1993 y sus decretos reglamentarios en materia de control de contaminación ambiental, o la legislación que haga sus veces.
7. Disponer de los servicios públicos de aseo urbano, alcantarillado, energía eléctrica y teléfono.
8. Las demás que indiquen las normas vigentes.

F.3.7.2.2 Parámetros de diseño

El diseño de estaciones de transferencia debe obedecer a un estudio de volúmenes y composición de los residuos sólidos que llegarán a la estación, además de la forma como estos van a llegar al sitio. Entre los parámetros de diseño deben considerarse:

F.3.7.2.3 Producción y características de los residuos

Debe evaluarse la cantidad producida y recolectada en diferentes zonas de la ciudad y las proyecciones para el período de vida de la estación de transferencia, así como las variaciones estacionales. Las características más importantes por cuantificar son:

1. Densidad
2. Humedad
3. Tipos de residuos esperados
4. Composición de los residuos sólidos¹
5. Cantidad de basura a recuperar (para estaciones de transferencia con recuperación de materiales).
6. Flujo de residuos hacia la planta en la unidad de tiempo.

F.3.7.2.4 Servicio de recolección

Deben conocerse las siguientes características del servicio de recolección, tales como:

1. Cantidad de vehículos recolectores
2. Tipo de vehículos recolectores
3. Estado de conservación de los vehículos recolectores
4. Capacidad de carga de estos vehículos
5. Frecuencia de la recolección
6. Horarios de inicio y terminación de la jornada diaria de trabajo

F.3.7.2.5 Sitio y tipo de disposición final

La investigación sobre los sistemas de disposición final debe suministrar información sobre la ubicación actual y futura de los sitios de disposición final y los métodos utilizados en ellos.

F.3.7.2.6 Sistema vial y zonificación

Las instituciones gubernamentales pertinentes deberán suministrar información sobre la red vial que contenga:

1. Vías recorridas por los vehículos de transferencia
2. Tipo de pavimento
3. Estado de conservación de las vías
4. Existencia de puentes, pasos a nivel, curvas horizontales y verticales
5. Distancia de recorrido
6. Tiempo de recorrido

F.3.7.2.7 Ubicación de los centros de gravedad

La optimización de la localización de la estación de transferencia depende de la ubicación del centro de gravedad. La información deberá registrarse en la planta de la ciudad, que será la principal referencia para la futura estación de transferencia. Para definir los centros de gravedad puede utilizarse cualquier método técnicamente válido, aprobado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas o por estándares internacionales.

F.3.7.2.8 Requerimientos mínimos de estaciones de transferencia según el tipo

La clasificación de las estaciones de transferencia obedece al sistema de carga empleado en el llenado de los vehículos de transferencia. Las estaciones de transferencia deben cumplir con las características mínimas definidas en los numerales siguientes, de acuerdo con el tipo de ésta.

1. Carga directa

En este tipo de estación el contenido de los camiones recolectores debe descargarse directamente sobre los vehículos de transferencia y siempre debe haber un vehículo de transferencia en condiciones de recibir los desechos en los vehículos recolectores. No se deben generar filas de recolectores en las horas pico de modo que afecten el tráfico en los alrededores de la estación de transferencia. La compactación se puede realizar a través de equipos de compactación para cargar los vehículos de transferencia de tipo cerrado.

2. Carga almacenada

En este tipo de estación el vaciado de los residuos se debe realizar en una fosa o patio de almacenamiento, con capacidad de almacenamiento máxima de tres días. Los fosos pueden tener el sistema de fondo móvil con correas transportadoras que llevan los residuos sólidos a una altura que permita cargar los vehículos de transferencia. Otro sistema que podrá utilizarse es el de puentes - grúas para remover los residuos del foso y cargar los vehículos de transferencia. Para la alternativa de descarga en patios, se pueden emplear diferentes equipos para mover los residuos y cargar los vehículos de transferencia. En caso que los vehículos de transferencia se encuentren por debajo del patio, deben utilizarse topadoras de oruga (o cualquier equipo de construcción técnicamente diseñado para cumplir con ésta función) y en caso contrario palas cargadoras (o cualquier equipo de construcción técnicamente diseñado para cumplir con ésta función).

3. Combinada

En este tipo de estación se utilizan los sistemas de carga directa y almacenada y los requisitos son los mismos descritos para las anteriores. Como servicio adicional puede hacerse separación de residuos sólidos.

F.3.7.2.9 Capacidad de la estación de transferencia

La capacidad de una estación de transferencia será tal que los vehículos de recolección nunca llenen el patio de descarga. Debe hacerse un análisis económico, puesto que no siempre es rentable diseñar la estación para manejar el mayor número de cargas por hora. La capacidad de la estación de transferencia debe ser diseñada teniendo en cuenta costos de capacidad y de los vehículos de transferencia. En ningún caso la capacidad de almacenamiento deberá exceder el volumen de residuos de tres días.

F.3.7.2.10 Vehículos de transferencia

Si la estación no tiene sistema de acumulación, la determinación del número mínimo de vehículos de transferencia se hará en función de las siguientes características:

1. Capacidad de los vehículos de transferencia
2. Tiempos de ida y vuelta de la estación de transferencia a los sitios de disposición
3. Tiempo de carga de los vehículos de transferencia
4. Horario de llegada de los recolectores.

Si se cuenta con un sistema de acumulación, este último factor no debe tenerse en cuenta. De igual manera, las horas de trabajo pueden ser diferentes del horario normal de recolección. Así, el número de vehículos esta en función del tiempo de carga, tiempo de ida y vuelta al relleno, capacidad del vehículo, cantidad total de residuos sólidos a ser transportada por día y horario de funcionamiento de la estación, que puede ser hasta 24 horas por día.

F.3.7.2.11 Requisitos para equipos

Los equipos de compactación y de alimentación (silo con placa de empuje, puente grúa, bandas transportadoras) deben definirse de acuerdo con:

1. Capacidad horaria
2. Características del equipo: dimensiones, modelo, etc.
3. Disponibilidad de servicios públicos locales

F.3.7.2.12 Instalaciones auxiliares

Las estaciones de transferencia deben contar al menos con las siguientes instalaciones auxiliares: instalaciones de mantenimiento, instalaciones de comunicación, controles de contaminación, instalación de generadores eléctricos, instalaciones para el personal e instalaciones generales. Se presenta a continuación los requisitos que deben tener cada una de ellas:

1. Instalaciones de mantenimiento

Es fundamental que haya un taller electromecánico, que cuente con equipos y herramientas para reparación de neumáticos e instalaciones para engrase y lavado.

2. Instalaciones de comunicación

Debe existir intercomunicación entre el patio de descarga de los camiones recolectores y el patio donde se estacionan los vehículos de transferencia. Deben instalarse semáforos en los sitios de descarga para indicar a los camiones recolectores su turno y posición de descarga. Debe haber un sistema de intercomunicación entre la estación de transferencia y los vehículos de transferencia.

3. Instalaciones para el control de la contaminación

Para controlar olores deben lavarse diariamente los sitios donde puedan acumularse los residuos sólidos. En la zona de descarga de los residuos sólidos deberán instalarse extractores de aire en número suficiente para controlar polvaredas o, si se prefiere, rociar agua (rocío) sobre los sitios donde se origina el polvo. Para evitar la mezcla de lixiviados con grasas producto del lavado de los vehículos debe construirse una trampa de grasas.

4. Instalación de generador eléctrico

El sistema de generación eléctrica deberá suplir al menos las necesidades energéticas de la mitad de los equipos de la estación.

5. Instalaciones para el personal

Los baños, comedores y vestuarios deben diseñarse de acuerdo con el número de empleados. De igual manera se requiere determinar la ubicación y diseño de talleres mecánicos, caseta de balanza, oficinas administrativas, oficina del jefe de la estación, etc.

6. Instalaciones generales

A este grupo pertenecen las instalaciones de prevención de incendios e instalaciones antirrayos (descargas atmosféricas). Su diseño deberá corresponder a la magnitud de la planta.

7. Instalaciones de primeros auxilios.

F.3.7.2.13 Requerimientos ambientales

A fin de minimizar los impactos ambientales generados por la puesta en operación de la estación de transferencia, deben seguirse las siguientes recomendaciones:

1. El diseño arquitectónico de la estación de transferencia debe ser completamente cerrado;
2. Los materiales de construcción deben ser de fácil mantenimiento y limpieza;
3. Equipos para tratar el aire que crea una presión negativa dentro de la instalación;
4. Instalación a prueba de fuego para las estaciones de transferencia de carga directa;
5. Pantallas antiviento u otra instalación que evite el vuelo de papeles;
6. Las superficies se diseñarán de modo que se evite la acumulación de residuos sólidos o papeles;
7. Control diario de la operación: recoger diariamente los residuos sólidos acumulados en la superficie; en ningún caso deben acumularse por más de una o dos horas;
8. La zona deberá lavarse diariamente. Debe fumigarse cada 3 meses.
9. En instalaciones grandes se requerirá una estación de pretratamiento de aguas residuales, para tratar las aguas residuales de la planta antes de ser desechadas al alcantarillado;
10. En zonas remotas se necesitan instalaciones completas para el tratamiento de aguas residuales.

11. La calidad del aire interior de la estación de transferencia debe cumplir con las especificaciones del decreto 948 de 1995 o la legislación que haga sus veces.

F.3.7.2.14 Procesamiento de los residuos

De acuerdo con las características de los residuos sólidos y del tipo de vehículo de transferencia utilizado, los residuos deben o no ser procesados en las estaciones de transferencia.

1. Sin procesamiento

Cuando la densidad de los residuos sólidos se encuentre por encima de 400 kg/m^3 no se requiere hacer el procesamiento de residuos sólidos.

2. Con procesamiento

Se deben procesar los desechos sólidos si la densidad de los residuos sólidos que entra en la estación de transferencia es menor de 400 kg/m^3 , consistente en una compactación de éstos con el objetivo de densificarlos. Siempre que vehículos recolectores no posean sistema de compactación, los desechos sólidos deben someterse a compactación.

F.3.7.3 Operación de estaciones de transferencia

F.3.7.3.1 Seguridad industrial

Deben tomarse en cuenta las siguientes recomendaciones para evitar riesgos asociados con un mal manejo en cuanto a la seguridad industrial de la instalación:

1. En la zona de almacenamiento de una estación de transferencia de carga almacenada, deben utilizarse tuberías superiores de riego para controlar el polvo.
2. Los trabajadores deberán portar mascarillas para evitar la aspiración de polvo.
3. En estaciones de transferencia de carga almacenada, los vehículos de transferencia deberán tener cabinas cerradas equipadas con aire acondicionado y unidades para filtrar el polvo.
4. Los usuarios que lleven a la estación de transferencia residuos sólidos que, por su volumen, no puedan ser manejados por el servicio especial no podrán descargar directamente a la fosa.

F.3.7.3.2 Operación

Luego de un buen diseño y planeación de la estación de transferencia, con todas las medidas de seguridad ambiental e industrial tomadas, el proceso de operación es fundamental para culminar con éxito la puesta en operación de la Estación de Transferencia.

F.3.7.3.3 Manual de operación

Todas las estaciones de transferencia deben tener un manual de operación que describa los procedimientos utilizados en la operación normal las instrucciones para situaciones de emergencia. El contenido del manual depende del tipo de estación, de los equipos y de los vehículos empleados. Debe elaborarse siguiendo las recomendaciones de los manuales de equipos y vehículos suministradas por el fabricante; por tanto, será diferente para cada estación. Sin embargo, todos los manuales deben contener al menos los siguientes aspectos:

1. Descripción de la instalación, con dibujos y planos que describan detalladamente los sistemas hidráulicos, sanitarios, eléctricos, de evacuación y emergencia, etc.
2. Descripción de los equipos electromecánicos, con sus especificaciones y características técnicas.
3. Descripción de los vehículos de transferencia, con sus especificaciones y características técnicas.
4. Rutinas para la operación normal, con los procedimientos relativos a los conductores de los vehículos de recolección, los conductores de los vehículos de transferencia, los operadores de la balanza, los

operadores de equipos de carga y los auxiliares encargados de ayudar en las maniobras de los camiones, así como abrir y cerrar las puertas de carga de los vehículos de recolección y de transferencia.

5. Descripción de los desplazamientos de los vehículos en el interior de la instalación y de los procedimientos para descargar y cargar los residuos sólidos en los camiones de transferencia.
6. Resumen de los controles de operación normal de la estación.
7. Resumen de los controles de mantenimiento de los equipos electromecánicos.
8. Descripción del personal con sus calificaciones, funciones, horarios de trabajo y encargos.
9. Rutinas de mantenimiento de los equipos electromecánicos.
10. Rutinas para limpieza general y control de la contaminación ambiental.
11. Instrucciones para la operación en situaciones de emergencia, tales como falta de energía eléctrica y fallas de los equipos, etc.
12. Instrucciones para combatir incendios, accidentes, o derrames.
13. Métodos y procedimientos de registro y procesamiento de la información
14. Métodos y procedimientos del control de calidad de los residuos que ingresan y salen del lugar.
15. Manejo de la bitácora durante la operación, organigrama de la planta, etc.

F.3.7.3.4 Control y seguimiento

Para corroborar el buen funcionamiento operativo de la estación o posibles situaciones de falla, deberán realizarse los siguientes controles:

1. Control de peso de residuos

Se registra la cantidad de residuos sólidos que ingresa en los vehículos de recolección y la que sale en los vehículos de transferencia; con esto se establece la carga óptima de los vehículos de transferencia, a fin de determinar si no se alcanza su capacidad o si ésta es excedida. Además sirven para equilibrar el recorrido de la recolección con respecto a las cargas transportadas y determinar las necesidades futuras de equipos y mano de obra.

2. Control de tiempos de transporte y horarios

Se aplican a los vehículos de transferencia con el objetivo de verificar los tiempos reales de recorrido (ida y vuelta) con los tiempos previstos en el diseño. Estos controles se aplican al análisis de eventuales modificaciones en el número de vehículos de transferencia

3. Controles de mantenimiento

Se elaboran con base en las recomendaciones del fabricante. Los procedimientos relativos al engrase y cambio de aceite son hechos por técnicos especializados. Se debe detallar el tipo de aceite y grasa utilizados, los períodos de cambio de aceite, de engrase de máquinas de limpieza y de cambio de filtros y otros elementos de desgaste, las fechas previstas para los cambios y las personas responsables.

CAPÍTULO F.4

F.4. APROVECHAMIENTO

F.4.1 ALCANCE

El capítulo establece los criterios básicos y requerimientos que debe cumplir la actividad de aprovechamiento como parte constitutiva del proceso de Manejo Integral de Residuos Sólidos. Estas especificaciones corresponden a las mínimas consideraciones que deben tenerse en cuenta para que los métodos de aprovechamiento como la reutilización, el reciclaje, el compostaje y la recuperación de energía se realicen en forma óptima.

Las especificaciones que se mencionan en el presente título deben adoptarse para los cuatro **niveles de complejidad del sistema**.

F.4.2 USOS DE RESIDUOS SÓLIDOS APROVECHABLES

F.4.2.1 Especificaciones para residuos sólidos aprovechables

Las siguientes especificaciones corresponden a los requerimientos mínimos que deben tenerse en cuenta para la utilización de los residuos sólidos en las diferentes actividades de aprovechamiento. Los compradores de los residuos sólidos aprovechables pueden solicitar especificaciones adicionales a las presentadas en este literal.

F.4.2.1.1 Reutilización y reciclaje

Todos los residuos sólidos deben estar limpios y homogéneos.

1. Aluminio. Se recomienda que las latas sean aplastadas y empacadas. Deben estar libres de humedad y contaminación.
2. Papel y cartón. No deben tener contaminantes como papel quemado por el sol, metal, vidrio y residuos de comida. Deben estar libres de humedad.
3. Plásticos. Deben ser clasificados de acuerdo a las categorías de uso internacional y deben estar libres de humedad.
4. Vidrio. Debe clasificarse por colores, no debe contener contaminantes como piedras, cerámicas o según especificaciones del mercado. No se debe reciclar vidrio de automóvil laminado. Si el uso es para fibra de vidrio, no deberá contener materiales orgánicos, metales o refractarios.
5. Metales férreos. Se recomienda separar las etiquetas de papel, lavar las latas preferiblemente con detergente y aplastarlas. Las tapas de botellas y botes pueden reciclarse junto con latas de acero. Pueden aceptarse las latas de aerosoles vacías.
6. Metales no férreos. Varían según las necesidades y los mercados.
7. Residuos de jardín. Varían según el uso.
8. Construcción y demolición. Varían según las necesidades y los mercados.
9. Madera. Varían según las necesidades y los mercados.
10. Neumáticos. Varían según las necesidades y los mercados.
11. Textiles. Tipo de material; grado de limpieza.

12. Pilas domésticas. Las pilas reciclables son las de botón de óxido de mercurio y óxido de plata y las pilas de níquel cadmio. No se pueden reciclar pilas alcalinas y de zinc plomo.

F.4.2.1.2 Compostación

El producto final debe cumplir con los límites máximos permisibles enumerados en la tabla F.4.1.

TABLA F.4.1
Límites máximos permisibles en el compost

Parámetro	mg/kg (Peso seco)
Cadmio	18
Cromo	1200
Cobre	1200
Níquel	180
Plomo	300
Zinc	1800
Arsénico	54
Mercurio	5
Cobalto	15
Molibdeno	20
Selenio	14
PCB	1.9
Patógenos	< 1000 ¹
Plástico	< 3 % ²

¹ : Coliformes fecales/ g de sólidos totales

² : Porcentaje en peso

F.4.2.1.3 Generación de energía .

1. Residuos de jardín : Deben ser requeridas por la instalación encargada del procesamiento y sus requerimientos mínimos son composición de los residuos, disposición de tamaño, contenido de humedad y grado de contaminación.
2. Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos : Deben ser requeridas por la instalación encargada del procesamiento según el uso final del compost.

F.4.2.2 Estudios de factibilidad

Deben realizarse estudios económicos, técnicos y ambientales que determinen la factibilidad de implantar un programa de aprovechamiento.

Dichos estudios deben basarse como mínimo en la composición de los residuos (futuras tendencias en la composición de los residuos), las especificaciones para cada uno de los métodos de aprovechamiento, el mercado de los residuos sólidos aprovechables, la legislación vigente, los costos y los beneficios económicos de implementar cualquiera de los sistemas de aprovechamiento.

El análisis económico debe incluir :

1. Análisis de costos de capital

a) Análisis de costo de capital de la construcción y montaje de la unidad de aprovechamiento. Debe considerarse los siguientes aspectos :

- Actividades de preparación del sitio
- Servicios Públicos
- Estructuras civiles. Accesos, edificaciones, cerramientos, etc.
- Tamaño de la unidad según la capacidad de procesamiento y almacenamiento del material no procesado y procesado.
- Costos de equipo. Debe considerarse los aspectos de adquisición, transporte, montaje y puesta en marcha de los equipos. El equipo a utilizar debe estar en función del tamaño de la unidad.

b) Costos de diseño.

2. Costos de operación

a) Salarios del personal requerido para las actividades y administración de la unidad.

b) Mantenimiento y operación.

- Mantenimiento del equipo y de las instalaciones físicas.
- Disposición de residuos

3. Venta de subproductos

Se deben tener en cuenta las capacidades reales del mercado para absorber los productos generados. Debe hacerse un análisis de sensibilidad de la rentabilidad del proyecto de acuerdo a la cantidad de subproductos que se puedan generar. Debe tenerse en cuenta claramente los costos de transporte de los subproductos a los sitios de compra de éstos.

El programa de aprovechamiento de residuos sólidos debe contener los siguientes requerimientos mínimos :

1. Determinar el método de aprovechamiento.
2. Determinar los objetivos a corto, mediano y largo plazo.
3. Especificar el contenido del programa y las formas de participación comunitaria.
4. Análisis del sistema de recolección actual para fortalecer las prácticas de recolección selectivas existentes.
5. Determinar el sistema de recolección selectiva, agentes ejecutores y medios de transporte de los residuos sólidos aprovechables, horarios y sitios de recolección.
6. Determinar y ubicar los centros de acopio de los residuos sólidos aprovechables.
7. Establecer acuerdos con los diferentes sectores comprometidos con el programa. Estos pueden ser los sectores productivos transformadores, la comunidad, las empresas prestadoras del servicio de recolección de basuras y los recuperadores existentes en la zona.
8. Especificar el plan de seguimiento y evaluación del programa de aprovechamiento.
9. Determinar los beneficios ambientales, sociales y económicos a obtener con el programa de aprovechamiento seleccionado.

F.4.2.3 Localización de la unidad de aprovechamiento

Los siguientes criterios deben considerarse en la localización de la unidad de residuos sólidos aprovechables.

1. Debe estar cerca al área y rutas de recolección.

2. Las vías de acceso deben ser diseñadas para minimizar el impacto del tráfico en el medio ambiente.
3. Debe construirse en sitios ambiental y estéticamente aceptables. Debe ser ambientalmente aceptable respecto al tráfico, ruido, olor, polvo, vuelo de materiales, descargas líquidas y control de vectores ; para cumplir con este requisito el diseño arquitectónico de la zona operativa debe ser cerrado a fin de no generar los impactos negativos sobre el área de influencia.
4. Debe tenerse en cuenta los usos del suelo y el plan de desarrollo del municipio.
5. Debe localizarse en una zona industrial y simultáneamente debe cumplir con el requisito de aislamiento que satisfaga la aceptación de la comunidad y se puedan mantener zonas de seguridad adecuadas alrededor de la instalación.

El proceso de localización puede constituirse de las siguientes fases :

1. Fase I Planeamiento

- a) Identificación del problema. Reconocer el crecimiento del volumen de residuos a manejar.
- b) Diseño y estrategia de localización. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos : planeamiento e integración de la comunidad, riesgos de comunicación, mitigación y actividades de evaluación.
- c) Evaluación de alternativas. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos : búsqueda, debate y selección de opciones : reciclaje, reducción en la fuente, incineración y disposición.
- d) Criterios factibles de selección del sitio. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos : estudio de densidad de población, condiciones hidrológicas y características socio-económicas.

2. Fase II Selección del sitio y diseño de la unidad.

- a) Selección del sitio
- b) Diseño de la unidad. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos : selección de tecnologías, dimensiones, características de seguridad, restricciones, planes de mitigación y construcción.

3. Fase III Implementación

- a) Operación. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos : monitoreo de recepción de residuos, manejo de la disposición de residuos, control de ruido, desorden y olor.
- b) Manejo. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos : operación de monitoreo y seguridad, ejecución de pruebas aleatorias de caracterización de residuos.
- c) Cerramiento y uso futuro del terreno. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos : cerramiento y aseguramiento de la unidad, decisión sobre el uso futuro del terreno y realización de monitoreo continuo.
- d) Monitoreo de calidad ambiental. Debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos: generación de olores, ruido, contaminación de aguas, aire y suelos, y riesgos asociados a la labor que se realice.

F.4.2.4 Seguridad Industrial

Debe establecerse un programa de entrenamiento de seguridad que informe a los empleados de las actividades de manera que se garantice su seguridad.

En la elaboración del programa debe considerarse como mínimo:

1. Potencial de problemas de salud y seguridad asociados con el sitio de trabajo y el procesamiento de los residuos sólidos aprovechables.
 - a) En las unidades donde se utilice separación manual de materiales debe seleccionarse el tipo de ropa protectora adecuada, equipo filtrante de aire para la cabeza y guantes.

- b) También debe considerarse el uso de máscaras y construcción de instalaciones sanitarias adecuadas. Cuando los niveles de ruido sobrepasan los permitidos, el operador debe utilizar protección auditiva.
- c) Deben establecerse mecanismos que permitan el cumplimiento de las normas legales como son la ley 55 de 1993, donde se aprueba el convenio sobre la seguridad en la utilización de productos químicos en el trabajo y otros decretos como la Ley novena, Título III de enero 24 de 1979 y la resolución Número 02400 de mayo 22 de 1979 o aquellos que los sustituyan o modifiquen.

La tabla F.4.2 muestra los aspectos referentes a la salud y seguridad que deben ser considerados dependiendo del equipo que posea la unidad.

TABLA F.4.2

Aspectos mínimos del plan y programa de entrenamiento de seguridad industrial

Componente	Cuestión de Seguridad
Mecánico	Piezas giratorias de alta velocidad Ejes de transmisión y correas Ruidos de alta intensidad Vidrios rotos, objetos de metal afilados Peligros de explosión
Eléctrico	Cables, interruptores y controles expuestos Carencias de tomas de tierra
Arquitectónico	Escaleras de mano, escaleras, barandillas Rutas de vehículos y visibilidad Ergonomías de las cintas transportadoras de selección Iluminación Ventilación y aire acondicionado Drenaje
Operativo	Prácticas de mantenimiento Entrenamiento de seguridad Equipamiento de seguridad y primeros auxilios

Aspectos mínimos del plan y programa de entrenamiento de seguridad industrial

Componente	Cuestión de Seguridad
Materiales peligrosos	Residuos peligrosos domésticos y de pequeños productores
Residuos Hospitalarios	Residuos biológicos peligrosos como residuos de sangre humana y organismos patógenos
Equipamiento de seguridad personal	Guantes a prueba de pinchazos e impermeables; zapatos de seguridad, uniformes, protección ocular, protección contra ruidos.

2. Peligros físicos inherentes a la entrada de los residuos sólidos aprovechables.

F.4.2.5 Edificación

La edificación de la unidad debe considerar como mínimo los siguientes aspectos constructivos:

1. El área mínima de almacenamiento de la materia prima de la unidad debe ser la suficiente para acomodar el equivalente a tres días de abastecimiento y el área mínima de almacenamiento para el material procesado debe tener la capacidad para dos meses.
2. Deben utilizarse paneles anchos para lo cual deben disponerse un número mínimo de columnas interiores de manera que se presente la mínima interferencia con la circulación de los vehículos.

3. Los paneles deben tener una altura de piso suficiente para el acomodamiento y volteo de los residuos sólidos.
4. La edificación debe tener puertas amplias de manera que no interfieran con las maniobras de los vehículos.
5. Ventilación. El sistema de ventilación debe ser diseñado de tal forma que no haya acumulaciones de sustancias que interfieran con la salud y la seguridad de las personas que laboran en la unidad.
6. La unidad de aprovechamiento debe contar con el diseño del sistema de conraincendio.
7. La unidad debe contar con el diseño de las obras de drenaje para el control de las aguas de escorrentía e infiltración, diseño del sistema de recolección de lixiviados y diseño y localización de la planta de tratamiento, de éstos en caso de que se produzcan.

F.4.3 MÉTODOS DE APROVECHAMIENTO

F.4.3.1 Separación de los residuos sólidos en la fuente

Si es aplicable un programa de aprovechamiento de residuos sólidos, los generadores pueden seguir las recomendaciones establecidas en la norma ICONTEC GTC 24 para separación en la fuente de generación o la administración municipal puede dar las recomendaciones respectivas de manera que se adapten a las características locales.

F.4.3.2 Reutilización

Los residuos sólidos reutilizables pueden usarse de la siguiente forma:

1. Directamente. Madera, barriles, muebles, etc.
2. Materia prima para la fabricación y reprocesamiento. Aluminio, papel y cartón, plásticos, vidrio, metales férreos, metales no férreos, goma y textiles.
3. Alimentación para la producción de compost. Residuos de jardín, fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos.
4. Otros productos de conversión química y biológica como fuente de combustible para la producción de energía. Residuos de jardín, fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, plásticos, papel residual, madera y neumáticos.
5. Recuperación de terreno. Residuos de construcción y demolición.

F.4.3.3 Reciclaje

F.4.3.3.1 Recolección: Esta etapa debe incluir la toma y transporte de los residuos sólidos reciclables. Para ello deben seguirse las siguientes especificaciones:

1. Los residuos sólidos deben separarse y seleccionarse en contenedores distintos.
2. La recolección puede efectuarse en acera, callejón o en instalación comercial.
3. Los residuos sólidos deben separarse en el origen o en una instalación designada para tal fin.
4. Los residuos sólidos reciclables deben transportarse de acuerdo al modo de operación. Sistemas de contenedor o de caja, el equipo utilizado y el tipo de residuo a recolectar.
5. Para la recolección deben fijarse parámetros en cuanto a punto, frecuencia e itinerarios de recolección del residuo sólido reciclable y debe identificarse el número de operarios y el equipo a utilizar para el desarrollo del ejercicio de acuerdo con lo establecido en el título F.3.5.

F.4.3.3.2 Separación. La separación de residuos sólidos reciclables debe efectuarse con el fin de procesar y preparar los materiales para un uso posterior. Para ello, debe:

1. Apartarse los residuos reciclables en el punto de generación o en las instalaciones de recuperación.
2. Los residuos sólidos reciclables deben colocarse en contenedores de almacenamiento individuales, estos contenedores deben ser seleccionados de acuerdo al número necesario para almacenar los residuos sólidos reciclables, el tipo de contenedor, la capacidad del contenedor y el tipo de residuo a guardar en cada contenedor.

F.4.3.3.3 Almacenamiento

1. Los residuos sólidos reciclables deben almacenarse de manera que no afecten el entorno físico ni la salud humana, ni la seguridad; por lo tanto debe controlarse los vectores, olores, explosiones y llamas que puedan generar incendios.
2. Los lugares de almacenamiento deben salvaguardar las características físicas y químicas de los residuos sólidos allí depositados.

F.4.3.3.4 Comercialización de materiales

1. La compra y venta de residuos sólidos reciclables puede efectuarse libremente de acuerdo a las exigencias del mercado y la reglamentación vigente establecida en lo correspondiente a residuos peligrosos.
2. La comercialización puede desarrollarse a través de intermediarios o por medio de comerciantes mayoristas.

F.4.3.3.5 Reprocesamiento: Si algunos residuos sólidos reciclables requieren de tratamiento, este depende del uso futuro o aprovechamiento de éste.

1. Unidades para la separación y procesamiento de residuos. Deben usarse para mover, separar y procesar los residuos sólidos a reciclar en una instalación. Pueden utilizarse los siguientes tipos de estaciones:
 - a) Estaciones automatizadas. Este tipo de instalación debe tener en cuenta la identificación de las características de los residuos sólidos que son reciclados o procesados, las especificaciones y cantidad de los residuos sólidos recuperados ahora y en el futuro, la localización y los tipos de equipamiento necesario de la instalación.
 - b) Estaciones manuales con bandas. Este tipo de instalaciones debe poseer buena iluminación, flujo de aire continuo que permita la migración de olores hacia el sistema de tratamiento y cumplir con los requisitos de seguridad y salud ocupacional para los trabajadores determinados por la entidad competente.

F.4.3.4 Compostaje

Al igual que en los casos anteriores los sistemas de compostación deben tener el estudio de factibilidad económica de acuerdo a lo estipulado en el literal F.4.2.2.

Si existe un programa de compostación deben seguirse las siguientes recomendaciones.

F.4.3.4.1 Compostaje aerobio

1. El diseño de la planta de compostaje debe diferenciarse para cada una de las etapas de procesamiento de los residuos, compostación activa, maduración, posprocesamiento y mercadeo. Para ello deben adoptarse los criterios presentados a continuación:
 - a) Procesamiento de los desechos. Debe removerse del sistema los residuos sólidos con características tóxicas o que generen mala apariencia visual, los cuales son:
 - Elementos que aporten metales pesados. Pilas gastadas, materiales férreos, baterías usadas.

- Residuos sólidos que aporten tóxicos orgánicos. Aceites usados, insecticidas gastados, solventes orgánicos, etc.
 - Residuos sólidos que generen mala apariencia visual. Plástico, vidrio, envases de aluminio. Sólo deben dejarse aquellos que puedan descomponerse biológicamente o materiales biodegradables.
2. Adicionalmente y en los casos especificados debe hacerse los siguientes ajustes:
- a) Homogenización del material. Debe disminuirse los residuos sólidos de tamaño mayor a 5 cm, para mejorar la descomposición y mezcla.
 - b) Ajuste de la cantidad de nutrientes: Debe ajustarse la cantidad de nutrientes cuando se compostan materiales como papel, hojas secas, residuos de poda, etc., si al verificarse previamente la relación carbono-nitrógeno se encuentra fuera del rango óptimo: 20:1 y 25:1 para compostaje aerobio.
 - c) Ajuste de pH. Deben verificarse los rangos del pH durante el proceso de compostaje con el fin de establecer si es necesario adicionar materiales para el control de este parámetro. Se recomienda los siguientes valores de pH en compostaje aerobio: pH inicial entre 5 y 7, para el material fermentado debe basarse en la curva pH-tiempo y para el resto del proceso el pH puede subir hasta 8 u 8.5.
 - d) Ajuste de humedad. La humedad inicial de la mezcla debe ajustarse a una humedad de 45% a 50%, hallada en la relación:

$$\omega = \frac{W_W}{W_M} \quad (\text{F.4.1})$$

3. Descomposición y maduración. En el compostaje aerobio pueden desarrollarse las técnicas de compostaje en hileras, pilas estáticas y compostaje en reactor. En el compostaje en hileras los residuos sólidos deben ser preparados en pilas dentro de un campo al aire libre. Al alcanzar una temperatura de trabajo de 70°C las hileras deben comenzar a voltearse una ó dos veces por semana durante un periodo de compostaje de cuatro a cinco semanas, tiempo en el cual debe registrarse un descenso en la temperatura debido a la fermentación de los residuos. El material fermentado debe curarse por un periodo de 2 semanas a 8 semanas más, en hileras abiertas para asegurar su estabilización según requisitos presentados en la tabla F.4.3; la maduración puede hacerse utilizando la lombricultura, si este método se usa hay que controlar la presencia de sustancias tóxicas de tal forma que el compost no se contamine.

En el caso de la lombricultura se exige la realización del análisis de contenido de sustancias tóxicas en la lombriz como cadmio, mercurio, plomo, cromo, níquel y pesticidas organoclorados y organofosforados.

Cuando se haga lombricultura deben retirarse todos los materiales tóxicos o contaminados que puedan acumularse en la lombriz.

TABLA F.4.3
Estabilidad del compost según la evolución del dióxido de carbono

Tasa de respiración	Clasificación	Características
< 2	Muy estable	Buen curado; no presenta malos olores; olor térreo.
2 - 5	Estable	Compost curado; mínimo impacto en la dinámica del suelo.
5 - 10	Moderadamente estable	Compost no curado; bajo potencial de mal olor; la adición al suelo puede inmovilizar el N; alto potencial de fitotoxicidad; no es recomendable para utilizarse en el crecimiento de semillas.
10 - 20	Inestable	Compost muy inmaduro, alto potencial de mal olor y fitotoxicidad; no es recomendable para utilizarlo en el crecimiento de semillas.
> 20	Muy inestable	Material extremadamente inestable; potencial muy alto de mal olor y fitotoxicidad; no se recomienda su uso.

$$\text{TASA DE RESPIRACION : } \frac{\text{mgCO}_2 - \text{C}}{\text{g compost} - \text{día}}$$

4. Control de olores.

- a) Se debe prever y evaluar los impactos por olores.
- b) Deben considerarse sistemas de mitigación y control en caso de ser necesario.
- c) Deben existir áreas de amortiguamiento de olores de por lo menos 100 m a la edificación más cercana, a menos que se demuestre por medio de modelos de simulación, que no se generan impactos sobre la comunidad por este motivo.

5. Posprocesamiento y mercadeo: Entre las técnicas recomendadas están las siguientes:

- a) Tamizado. Debe hacerse un tamizado para mejorar la uniformidad y apariencia del compost y retirar cualquier contaminante que haya pasado el preprocesamiento, tales como vidrio, metales, plástico, trapos, etc.
- b) Mezcla con fertilizantes. Entre las técnicas recomendadas para mejorar las condiciones de retención del compost está el mezclado de éste con fertilizantes, como piedra fosfórica y úrea para tener un verdadero valor fertilizante y mejorar las condiciones de retención de éstos.
- c) Límites de concentraciones tóxicas en el producto. El compost resultante de estos procesos debe cumplir con las especificaciones contenidas en la tabla F.4.1.
- d) Usos del producto. Puede utilizarse como acondicionador de suelos para agricultura, silvicultura, jardinería, producción de flores, control de erosión y restauración de la capa vegetal de tierras áridas.

F.4.3.4.2 Compostaje anaerobio

Deben tenerse en cuenta lo especificado en el literal F.4.3.4.1 en los numerales 1, 2a, 2b, 4 y 5. Adicionalmente deben tenerse en cuenta los aspectos de seguridad en el manejo y utilización del gas metano producido. El sistema debe prohibir la presencia y el uso de equipos que produzcan chispas o puedan inducir explosiones. Debe marcarse adecuadamente la zona y restringir el acceso a personas ajenas para minimizar el riesgo de explosiones.

F.4.3.4.3 Calidad en la operación del compostaje

El objetivo del literal es mitigar los impactos negativos que pueden producirse durante la operación del compostaje, los cuales disminuyen la calidad del agua y del aire y comprometen la salud y el bienestar público.

1. Agua. La calidad de este recurso se ve afectada por la contaminación con lixiviado, agua de escorrentía del proceso de operación y residuos compostados. Para evitar la formación de lixiviado debe mantenerse el contenido de humedad del material por debajo del contenido de humedad óptima del compostaje. Para controlar el incremento en el contenido de humedad debe protegerse el material del contacto directo con la lluvia. El lixiviado debe recogerse, almacenarse y disponerse adecuadamente de modo que no alcance las aguas superficiales y/o subterráneas. El agua de escorrentía debe desviarse fuera del sitio mediante la construcción de diques, interceptarse, canalizarse y tratarse de ser necesario para asegurar una adecuada disposición.
2. Aire. Para evitar la contaminación de este recurso, se recomienda no colocar la planta al aire libre cerca de zonas habitadas. El control de olores durante el preprocesamiento puede lograrse realizando todas las actividades dentro de una construcción y tratar el escape de gases y esporas de hongo. En el caso de la compostación en pilas deben mantenerse las condiciones aerobias durante el proceso para minimizar la formación de olores. El desarrollo de olores debe ser controlado utilizando ventilación del sitio. El escape de aire debe ser tratado en caso de que los impactos lo ameriten.
3. Vectores. Los vectores deben ser controlados teniendo en cuenta las siguientes consideraciones: encerrar toda la unidad, almacenar los residuos que constituyen la materia prima durante el tiempo más corto, preprocesar y reducir el tamaño. Los vectores que sobreviven pueden prevenirse usando una superficie pavimentada.
4. Restricciones en el uso del compost. Los productos del compost que provienen de residuos domésticos y lodos de plantas de tratamiento, deben analizarse para evaluar el contenido de metales pesados, componentes tóxicos orgánicos, fragmentos de vidrio y organismos patógenos. En los terrenos donde se ha producido compost no debe cultivarse productos comestibles por humanos y por animales.

F.4.3.5 Aprovechamiento de gas

El aprovechamiento de gas generado en el relleno sanitario puede ser recolectado a través de un sistema activo para su posterior tratamiento. En el **nivel alto de complejidad del sistema**, el sistema de recolección pasivo descrito en el Título F.6, Rellenos sanitarios, debe ser instalado de manera que pueda ser convertido a un sistema activo.

F.4.3.5.1 Sistema activo

1. Control activo del gas con chimeneas verticales y horizontales dentro del relleno para su extracción

Este sistema puede realizarse mediante el uso de:

- a) Chimeneas verticales. Se puede instalar una chimenea de extracción junto con sondas de gas a distancias regulares de las chimeneas, midiendo el vacío dentro del relleno mientras se aplica la succión a la chimenea de extracción. Se recomienda utilizar un espaciado uniforme de las chimeneas y controlar la zona de influencia de éstas ajustando el vacío en la cabecera de cada chimenea. En rellenos sanitarios profundos con cobertura mixta, las chimeneas deben tener un espaciado mayor que los rellenos con cobertura de arcilla y/o suelo. La chimenea de extracción consistirá de una tubería de 0.10 m a 0.16 m colocada en una perforación de 0.45 m a 0.90 m, el tercio a la mitad inferior se perfora y se coloca un relleno de grava. El resto de la tubería no se perfora y se coloca sobre un relleno de tierra, y se sella con arcilla. Para la colocación de las chimeneas se recomienda que lleguen hasta el fondo del relleno sanitario.
- b) Chimeneas horizontales. Si se utiliza este sistema, las chimeneas deben instalarse después de completar dos o más niveles, excavando en los residuos una zanja horizontal para la extracción del gas con una retroexcavadora; después debe rellenarse la mitad de la zanja con grava e instalar la

tubería perforada con juntas abiertas para rellenarla posteriormente con grava y cubrirla con residuos sólidos. Las zanjas horizontales deben ser instaladas en intervalos verticales de 25 m.

F.4.3.5.2 Control de migración de gases

1. Chimeneas perimetrales al relleno sanitario. Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 8 m. Las chimeneas verticales se localizan dentro o en el borde del relleno sanitario. Cada chimenea se conecta a un tubo colector común que debe estar conectado a un soplador centrífugo de manera que conduzca una presión negativa en el colector y en las chimeneas individuales. La pendiente del colector es del 3% para permitir el movimiento del condensado hasta las trampas de recolección. Debe ventilarse o quemar el gas extraído del relleno de una forma controlada, en la estación del soplador. La chimenea consistirá de una tubería de 0.10 m a 0.16 m, colocada en una perforación de 0.45 m a 0.90 m. Del tercio a la mitad inferior se perfora y se coloca en un relleno de tierra o en su defecto de residuos sólidos. Para prevenir la entrada de aire, las chimeneas deben ser equipadas con tomas para el muestreo de gas y válvulas para controlar el flujo.
2. Zanjas perimetrales al relleno sanitario para la extracción del gas. El sistema de zanjas se recomienda en rellenos con profundidades menores de 8 m. Estas zanjas son instaladas en el suelo original adyacente al perímetro del relleno; están llenas de grava y tuberías perforadas conectadas lateralmente a un colector y compresor centrífugo de extracción. Las zanjas pueden extenderse verticalmente desde la superficie del relleno hasta la profundidad total de los residuos, sellándose en la superficie. Se pueden utilizar válvulas de control para el caudal.
3. Chimeneas perimetrales al relleno y con inyección de aire. En este sistema debe instalarse chimeneas verticales en el suelo original entre los límites del relleno y las instalaciones que deben protegerse contra la intrusión del gas. Este sistema es recomendado para rellenos sanitarios con profundidad mínima de 7 m, en zonas de suelo inalterado entre el relleno y las propiedades potencialmente afectadas.

F.4.3.5.3 Consideraciones de diseño del sistema activo

Los siguientes aspectos deben considerarse en el sistema activo de extracción de gas generado en el relleno sanitario:

1. Los pozos de extracción deben ser profundos y espaciarse de manera que su zona de influencia se traslape. El espaciamiento está dado por la siguiente ecuación:

$$S = \left[2 - \frac{T}{100} \right] R \quad (\text{F.4.2})$$

2. La zona de influencia del sistema de extracción de gas debe determinarse de un estudio de campo, instalando un pozo de extracción con piezómetros de gas a distancias regulares del pozo. El muestreo debe realizarse a largo plazo para los propósitos de recuperación. El pozo debe ser bombeado por un tiempo mínimo de 48 horas y posteriormente debe monitorearse la presión por tres días consecutivos y como mínimo dos veces al día. El radio de influencia corresponde al radio en el cual la presión negativa es cercana a cero.
3. El gas puede ser liberado directamente a la atmósfera si cumple con la reglamentación ambiental vigente y los resultados del estudio de impacto ambiental lo permiten. En caso contrario deben tomarse las medidas para mitigar los impactos.
4. Para conectar los pozos de extracción al soplador debe instalarse tubería plástica no perforada de 0.15 m a 0.20 m de diámetro. Deben protegerse las tuberías contra aplastamiento y asentamientos diferenciales.
5. El soplador debe ser instalado a una altura ligeramente superior del final de la tubería plástica no perforada para facilitar la remoción del condensado.

6. El condensado necesita removerse antes de que el gas entre al soplador. Las trampas de condensado son espaciados entre 150 m a 230 m. Si los parámetros en el condensado exceden las concentraciones permitidas, el condensado debe tratarse de acuerdo a la legislación vigente para vertimiento de aguas.
7. Para destruir los contaminantes peligrosos el quemador debe tener una temperatura de operación y un tiempo de residencia de 815°C a 900°C y de 0.3 s a 0.5 s, respectivamente.

F.4.3.5.4 Tratamiento del gas

El gas debe ser tratado cuando es recolectado en un sistema activo. Los métodos recomendados son los siguientes:

1. Quemado. Este método de combustión controlada se recomienda cuando hay suficiente gas metano presente en el gas. Los quemadores deben diseñarse cerrados, de manera que permitan tiempos de residencias mayores, temperaturas elevadas de combustión. En este sistema la salida del soplador debe contener instrumentos para verificar la temperatura, la presencia de la llama y un arrestallamas. Igualmente se debe instalar un detector de llama de manera que paralice la válvula y se prevenga el escape a la atmósfera. Este método debe incluir los siguientes sistemas mínimos de seguridad: arrestallamas, pilas termoeléctricas, válvulas y sensores paralizadores.
2. Procesamiento de gas y recuperación de energía: El gas puede ser conducido directamente a una tubería para utilizarlo como gas natural, siempre y cuando no existan otros gases malolientes o tóxicos que interfieran con su uso final, o afecte las condiciones de operación de los sistemas de gas natural.

CAPÍTULO F.5

F.5. INCINERACIÓN

F.5.1 ALCANCE

El capítulo sobre incineración establece los principios generales y operacionales mínimos bajo las cuales debe realizarse el proceso de incineración de residuos sólidos, con el fin de reducir la peligrosidad y el volumen de los mismos, minimizar la contaminación producida por los gases de emisión y las cenizas residuales, así como los riesgos sobre la salud pública, la seguridad del personal y el medio ambiente. Sin embargo, si el propietario de la instalación demuestra ante las autoridades ambientales que su planta cumple con las condiciones establecidas, puede usar otro(s) principio(s) relacionado(s) con el tema.

Este capítulo no contempla ni la incineración de residuos hospitalarios la cual esta regulada por normas expedidas por el ministerio de salud y otras entidades, ni la incineración de residuos orgánicos tóxicos y residuos industriales.

F.5.2 GENERALIDADES

F.5.2.1 Definición

La incineración es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante la oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión, compuestos principalmente de óxidos de nitrógeno (NO_x), dióxido de carbono (CO_2), partículas, monóxido de carbono (CO), hidrocarburos, ácidos, metales y vapor de agua (gases de chimenea), y rechazos no combustibles (cenizas).

Las operaciones básicas implicadas en el proceso de incineración son las siguientes:

1. Descarga de los residuos sólidos desde vehículos de recogida en un foso de almacenamiento.
2. Cargue de los residuos por lotes en el conducto de alimentación que dirige los residuos al horno.
3. Introducción de los residuos sólidos al horno, donde son quemados en bruto.
4. Introducción de aire para controlar la velocidad de incineración y la temperatura del horno.
5. Quema de los gases emitidos desde el horno como resultado de la inestabilidad térmica de los residuos.
6. Recuperación y utilización del calor generado por el proceso de combustión.
7. Control de la contaminación atmosférica producida por el proceso de incineración.
8. Tratamiento de las cenizas y líquidos residuales del proceso de incineración.

F.5.2.2 Localización de la planta de incineración

Entre los criterios de localización que deben tenerse en cuenta están:

1. La planta debe ubicarse en una zona donde se disponga de la infraestructura vial necesaria para facilitar el acceso permanente a la misma.
2. Es necesario localizar las plantas de incineración en lugares donde se puedan mantener zonas adecuadas de seguridad alrededor de la instalación. Para tal fin se recomienda la localización de las plantas en zonas o áreas de uso industrial, o en los alrededores de las ciudades.

3. Las condiciones climatológicas, los factores ambientales y los factores socioeconómicos deben tenerse en cuenta como criterios importantes de localización para determinar las direcciones de dispersión de los contaminantes, ver los impactos que se van a generar sobre el medio ambiente y la salud de las personas y finalmente ver la factibilidad económica o no de localizar la planta en un determinado lugar. Se recomienda utilizar los modelos de dispersión aprobados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*EPA Appendix W, 40 CFR, Part 51*).

La localización de la planta de incineración en zona rural o urbana debe regirse por lo establecido en los artículos 8 y 9 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace.

Cualquiera que sea el sistema de tratamiento y disposición de los residuos sólidos, éste debe contemplar lo dispuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial en lo que se refiere a su definición y localización como sistema estructurante del territorio municipal o distrital y como integrante de la estructura ecológica principal y del urbanismo primario del municipio.

Debe presentarse un estudio de impacto ambiental para la instalación de la planta de incineración en la localización escogida. Dicho estudio debe estar acompañado de un análisis de riesgos de los posibles efectos que tengan las emisiones de la planta sobre la salud y el bienestar de las personas. Los puntos del estudio de impacto ambiental se regirán por lo establecido en el artículo 126 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace.

F.5.2.3 Selección de los residuos a incinerar

De acuerdo con el esquema de clasificación de los residuos sólidos presentado en el literal F.1.3.4.1, los residuos que pueden ser incinerados son:

1. Residuos de comida y de jardín.
2. Productos de papel siempre y cuando el papel no haya sufrido un tratamiento previo en el cual se halla utilizado algún tipo de sustancia tóxica.
3. Maderas.
4. Cartón.

Los parámetros importantes que deben analizarse a los residuos que pueden ser incinerados son:

F.5.2.3.1 Contenido de energía (poder calorífico de los residuos)

El poder calorífico de los residuos puede obtenerse de acuerdo con el nivel de vida y la situación de la zona que aporta los residuos que van a incinerarse. La determinación de este parámetro debe realizarse de acuerdo con lo establecido en la tabla F.1.3, tipo de caracterización de los residuos, o referirse a la norma D 5468 de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM).

F.5.2.3.2 Análisis de material volátil, carbón fijo, cenizas y punto de fusión de las cenizas

Estos análisis deben realizarse de acuerdo con lo establecido en la tabla F.1.3, tipo de caracterización de los residuos.

F.5.2.3.3 Determinación de carbono, hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre y cenizas

Estos análisis deben realizarse de acuerdo con lo establecido en la tabla F.1.3, tipo de caracterización de los residuos.

F.5.2.3.4 Contenido de humedad

Este análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en la tabla F.1.3, tipo de caracterización de los residuos.

F.5.2.4 Reducción de la cantidad de residuos

Como resultado del proceso de incineración de residuos sólidos debe lograrse como mínimo una reducción en volumen de los residuos del 90%.

F.5.2.5 Generación de calor

Debe realizarse un estudio técnicoeconómico previo para ver la factibilidad de establecer un sistema de recuperación del calor producido por el proceso de incineración.

Los parámetros técnicos importantes de los residuos que deben tenerse en cuenta al realizar este tipo de estudios son:

1. Contenido de humedad
2. Contenido de energía (poder calorífico)

F.5.2.6 Emisiones de los contaminantes del proceso de incineración

La altura mínima de la chimenea de la planta de incineración debe estar de acuerdo con lo establecido en el artículo 40 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud, altura mínima de descarga de contaminantes a la atmósfera, o el que lo reemplace.

Debe realizarse un análisis de riesgo para determinar los niveles máximos permisibles de emisión de contaminantes. Para la estimación de las emisiones se recomienda utilizar los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA Ap-42). A continuación se presentan algunos valores recomendados sobre dichos niveles para aire seco, a 25°C (298°K), una atm de presión atmosférica (101.3 KPa) y corregidos a un contenido de 11% de oxígeno en volumen:

1. Partículas: 50 mg/m³.
2. Óxidos de nitrógeno (Expresados como dióxido de nitrógeno): 350 mg/m³
3. Óxidos de azufre (Expresados como dióxido de azufre): 100 mg/m³
4. Monóxido de carbono: 50 mg/m³
5. Ácido clorhídrico (HCl): 50 mg/m³
6. Ácido fluorhídrico (HF): 2 mg/m³
7. Sustancias orgánicas expresadas como carbono total: 20 mg/m³
8. Opacidad: 10%
9. Dioxinas y furanes: 1×10^{-5} mg/m³
10. Metales pesados
 - a) Cadmio y sus compuestos, dados como cadmio (Cd): 0.2 mg/m³
 - b) Mercurio y sus compuestos, dados como mercurio (Hg): 0.2 mg/m³
 - c) Talio y sus compuestos, dados como talio (Tl): 0.2 mg/m³
 - d) Arsénico y sus compuestos, dados como arsénico (As): 1 mg/m³
 - e) Cobalto y sus compuestos, dados como cobalto (Co): 1 mg/m³
 - f) Níquel y sus compuestos, dados como níquel (Ni): 1 mg/m³
 - g) Telurio y sus compuestos, dados como telurio (Te): 1 mg/m³
 - h) Selenio y sus compuestos, dados como selenio (Se): 1 mg/m³
 - i) Plomo y sus compuestos, dados como plomo (Pb): 5 mg/m³

- j) Antimonio y sus compuestos, dados como antimonio (Sb): 5 mg/m³
- k) Cromo y sus compuestos, dados como cromo (Cr): 5 mg/m³
- l) Cobre y sus compuestos, dados como cobre (Cu): 5 mg/m³
- m) Manganeso y sus compuestos, dados como manganeso (Mn): 5 mg/m³
- n) Platino y sus compuestos, dados como platino (Pt): 5 mg/m³
- o) Paladio y sus compuestos, dados como paladio (Pd): 5 mg/m³
- p) Rodio y sus compuestos, dados como rodio (Rh): 5 mg/m³
- q) Vanadio y sus compuestos, dados como vanadio (V): 5 mg/m³
- r) Estaño y sus compuestos, dados como estaño (Sn): 5 mg/m³

El calculo de la concentración corregida a un contenido de 11% de Oxígeno en volumen, debe hacerse mediante la siguiente ecuación:

$$CC = CM * \frac{10\%}{21\% - Y} \quad (\text{F.5.1})$$

Una vez definidos los niveles máximos permisibles, es obligatorio implementar, por parte del propietario de la planta, sistemas de remoción de partículas y gases, si las concentraciones de las emisiones de la planta son mayores que los niveles máximos establecidos.

F.5.2.7 Residuos de la incineración

Las cenizas residuales, el material particulado del sistema de remoción y los gases residuales del sistema de remoción en forma de líquidos o sólidos deben ser eliminados, reutilizados o reciclados por el propietario de la planta mediante métodos avalados por la autoridad ambiental, de tal forma que no afecten al medio ambiente, los recursos naturales renovables ni la salud de las personas.

F.5.3 PLANTA DE INCINERACIÓN

F.5.3.1 Parámetros de operación

Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta en el funcionamiento de la planta de incineración son:

F.5.3.1.1 Temperatura de los gases de combustión

La temperatura de los gases de combustión debe ser como mínimo 850°C, y como máximo el punto de fusión de las cenizas.

F.5.3.1.2 Tiempo de residencia de los gases de combustión

Para asegurar la combustión completa de los residuos por incinerar, la planta de incineración debe trabajar con un tiempo de dos segundos a 850°C, como mínimo, de residencia de los gases de combustión en la cámara de combustión.

F.5.3.1.3 Cantidad de aire en exceso

Para lograr la combustión completa de los residuos la planta debe trabajarse con oxígeno en exceso sobre las necesidades estequiométricas. Se recomienda trabajar con cantidades de aire en exceso entre 10 y 200%.

F.5.3.1.4 Combustible auxiliar

Toda planta de incineración debe equiparse de un sistema de combustión auxiliar (combustibles limpios como el gas natural o el gas propano sin azufre) para utilizarse en los siguientes casos:

1. Cuando la temperatura de los gases de combustión sea inferior a la temperatura mínima requerida para lograr la combustión completa de los residuos.
2. Durante la iniciación del proceso de incineración con el fin de alcanzar en el menor tiempo posible la temperatura mínima de combustión.
3. Durante la finalización del proceso de incineración para asegurar que no quede ningún residuo sin incinerar en la cámara de combustión.

F.5.3.2 Parámetros de diseño

Los principales parámetros que deben tenerse en cuenta en el diseño de la planta de incineración son:

F.5.3.2.1 Sistema de descarga y almacenamiento de los residuos

En el diseño y funcionamiento de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. El volumen del tanque o foso de almacenamiento debe ser como mínimo, equivalente al volumen de residuos que la planta maneja en dos días con el fin de darle un factor de seguridad a la planta para subsanar problemas de averías o detenciones de la misma.
2. El foso o tanque de almacenamiento debe protegerse con un sistema impermeable para evitar el paso de lixiviados de los residuos al suelo o al subsuelo. De igual forma debe construirse una trampa de líquidos alrededor del foso, así como un sistema de recolección de lixiviados de los residuos almacenados.
3. Es necesario que el foso o tanque de almacenamiento sea cerrado para evitar la mezcla del agua lluvia con los residuos y para evitar la fuga de olores y polvos provenientes de los residuos.
4. Debe contarse con una buena red de agua y drenaje para limpieza de la fosa de almacenamiento y la plataforma de descargue de los residuos.
5. El propietario de la planta de incineración debe diseñar un plan de contingencia para evitar los incendios y las explosiones ocasionales que puedan ocurrir en el tanque de almacenamiento.
6. El área dispuesta para el foso de almacenamiento debe estar claramente demarcada y señalizada.

F.5.3.2.2 Sistema de entrada de los residuos al incinerador

En el funcionamiento de este sistema se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Se recomienda utilizar un puente grúa o una cadena transportadora para cargar los residuos en el conducto de alimentación.
2. Es necesario refrigerar el conducto de alimentación de residuos en su parte inferior para evitar que el calor irradiado por el horno destruya el material con el que está construido y para evitar que los residuos se sequen prematuramente y entren en ignición.
3. En el caso de utilizar un sistema de parrillas para la entrada de los residuos al incinerador deben tenerse en cuenta los siguientes factores en la operación y selección de las mismas:
 - a) El área que ocuparán las parrillas en el incinerador debe calcularse como la relación entre la masa por unidad de tiempo de residuos quemados dividido entre la masa por unidad de área y de tiempo de capacidad de las parrillas (Kg/h de residuos quemados / $\text{Kg/m}^2/\text{h}$ de capacidad de las parrillas). Para este último parámetro se recomienda utilizar un rango entre 240 y 340 $\text{Kg/m}^2/\text{h}$ como el rango medio de capacidad de los diferentes tipos de parrillas.
 - b) Aptitud de la capa de combustible incandescente para recibir y quemar una masa importante y variable de residuos.
 - c) Aptitud de las parrillas para absorber el calor transmitido por radiación.
 - d) Caudal, temperatura del aire y exceso del aire controlables.

- e) Tiempo de estancia controlable, según la naturaleza del combustible.
- f) Altura de la capa de residuos ajustable.
- g) Suministro controlable del combustible auxiliar.
- h) Refrigeración controlable de las cenizas.
- i) Temperatura ajustable de los humos a la entrada de las superficies de calentamiento, que trabajan por radiación.
- j) Aptitud de la cámara de combustión para funcionar sin perturbaciones.

Se recomienda el uso de alguno de los siguientes tipos de parrillas para un proceso efectivo de incineración:

- Parrillas de alimentación a impulsos horizontales (tipo Alberti)
- Parrillas retro (tipo Martín)
- Parrillas a tambores (tipo Durr)
- Parrillas a sectores basculantes (tipo Flinn)
- Parrilla Babcock & Wilcox
- Parrilla Combustión Engineering
- Parrillas Circulares

F.5.3.2.3 Sistema de entrada del aire al incinerador

En el caso de utilizar un sistema de parrillas se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Es necesario utilizar entre el 2% y el 30% del área ocupada por las parrillas en el incinerador como el área de entrada de aire al incinerador.
2. Se requiere introducir aire desde la parte superior de las parrillas para proveer el sistema con la turbulencia necesaria y completar la combustión de gases volátiles.
3. Se requiere introducir un rango entre el 25 y el 100 % del aire total requerido para la combustión, desde la parte inferior de las parrillas para controlar el proceso de combustión, mantener las parrillas refrigeradas y evitar que haya una gran cantidad de material particulado en los gases que se emiten.

F.5.3.2.4 Cámara de combustión

En el funcionamiento de esta parte del incinerador debe tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe controlarse la calidad de los ladrillos refractarios y aislantes empleados en la construcción de la cámara de combustión.
2. Los parámetros o propiedades de los ladrillos refractarios que deben tenerse en cuenta en la selección de los mismos para el buen funcionamiento de la cámara de combustión son:
 - a) Resistencia química
 - b) Dureza
 - c) Fuerza o resistencia física
 - d) Conductividad térmica
 - e) Porosidad
 - f) Características de expansión térmica
1. En la cámara de combustión es obligatorio controlar los siguientes aspectos, ya que pueden causar la destrucción de los ladrillos refractarios:

- a) Altas temperaturas
- b) Choques térmicos
- c) Abrasión
- d) Excoriación
- e) Astillamientos
- f) Choques de los refractarios contra la llama

1. Se recomienda el uso de los tipos de ladrillos refractarios señalados en la tabla F.5.1.

TABLA F.5. 1
Tipos de ladrillos refractarios

TIPO DE LADRILLO REFRACTARIO	DENSIDAD (Kg/m ³)	MÓDULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
Plástico pegado con un 85% de fosfato de aluminio	276	94
Plástico pegado con un 90% de fosfato de aluminio	285	107
Ladrillos de arcillas inflamables superelaborados ¹ (incinerados)	237	70

TIPO DE LADRILLO REFRACTARIO	DENSIDAD (Kg/m ³)	MÓDULO DE RUPTURA (Kg/cm ²)
Ladrillos pegados con un 75% de fosfato de aluminio (incinerados)	280	98
Ladrillos pegados con un 85% de fosfato de aluminio (incinerados)	295	246

F.5.3.2.5 Sistema de recuperación de calor

Si el estudio técnico-económico que debe realizarse para ver la factibilidad de implementar un sistema de recuperación de calor muestra resultados positivos, es obligatorio la implementación del mismo. En el funcionamiento e implementación de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La energía calorífica recuperada podrá ser utilizada en las instalaciones de la planta o cedida a terceros.
2. En el caso que la energía térmica producida no sea utilizada en las propias instalaciones, o no sea cedida a terceros y tenga la capacidad de producir 0,5 MW, se debe utilizar para generación de energía eléctrica.
3. Si se genera energía a partir del calor recuperado, debe medirse la eficiencia global de la conversión en términos de la tasa de calor, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Tasa de calor (kJ/kWh)} = \frac{\text{Calor suministrado por los residuos (kJ)}}{\text{Energía generada (kWh)}} \quad \text{(F.5.2)}$$

¹ Trabajo realizado con maquinaria industrial sofisticada.

4. El calor recuperado en forma de agua caliente puede ser utilizado para aplicaciones industriales o para calefacción.
5. El calor recuperado en forma de vapor se recomienda para calefacción y generación de energía.
6. Se recomienda la utilización de los siguientes sistemas para la recuperación del calor:

a) Cámara de combustión con pantalla de agua

Si se utiliza este sistema deben monitorearse, controlarse y tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Material de las paredes de la cámara de combustión
- Temperaturas excesivas
- Abrasión mecánica

b) Caldera de calor residual

Si se utiliza este sistema deben monitorearse, controlarse y tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Material de las paredes de la caldera
- Cantidad de calor recuperado
- Cantidad de vapor producido por cantidad de residuos incinerados

c) Utilización del calor residual

Si se utiliza el calor recuperado para generación de energía, se recomienda el empleo de alguno de los siguientes sistemas para tal fin:

- Sistemas con turbina de vapor
- Sistemas de generador con turbina de gas
- Sistemas con motor de combustión interna
- Sistemas de cogeneración

F.5.3.2.6 Sistema de remoción de partículas

En el funcionamiento, control e implementación de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La eficiencia de remoción del sistema debe medirse mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{W_{\text{ENTRADA}} - W_{\text{SALIDA}}}{W_{\text{ENTRADA}}} * 100\% \quad (\text{F.5.3})$$

2. La eficiencia de remoción debe ser tal que cumpla la norma permisible de emisión de partículas establecida.
3. Las partículas finas menores de 10 micrones se pueden controlar utilizando alguno de los siguientes sistemas:

a) Precipitadores electrostáticos

En la utilización de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) La eficiencia del sistema depende de las características de los gases de combustión (temperatura y humedad) y de la resistencia eléctrica de las partículas.
- 2) Para un funcionamiento eficiente del sistema las partículas deben tener una resistividad entre 1×10^4 y 2×10^{10} ohm/cm.

b) Filtro de mangas

En la utilización de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1) Los parámetros de diseño más importantes para este tipo de sistema son:

- El área
- El material
- Método de limpieza del filtro

2) Para utilizar con éxito este sistema es necesario utilizar filtros de materiales compatibles con el gas y las partículas.

c) Depuradores húmedos

En el uso de este sistema se requiere tratar el agua utilizada por el sistema para que cumpla con los requerimientos establecidos por las autoridades ambientales. Por otro lado, para el uso de este sistema es necesario contar con un sistema de suministro continuo de agua que cubra las grandes cantidades de agua que el equipo requiere.

4. Las partículas mayores de 10 micrones pueden controlarse utilizando alguno de los siguientes sistemas:

a) Separadores ciclónicos

Se recomienda el uso de este sistema para lograr una remoción a un bajo costo. Por otro lado, debe vaciarse la tolva sobre la cual caen las partículas removidas permanentemente.

b) Cámaras de sedimentación

Deben utilizarse áreas de terreno grandes para asegurar la remoción de las partículas más pequeñas.

F.5.3.2.7 Sistema de remoción de gases

En el funcionamiento, control e implementación de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La eficiencia de remoción del sistema debe ser tal que cumpla con las normas de emisión establecidas antes para los gases. Dicha eficiencia debe medirse mediante la siguiente expresión:

$$E = \frac{C_{ENTRADA} - C_{SALIDA}}{C_{ENTRADA}} * 100\% \quad (\text{F.5.4})$$

2. Si se requiere controlar óxidos de nitrógeno debe hacerse mediante controles en la combustión y tratamiento de los gases de combustión. Los controles de combustión que deben utilizarse son:

- Recirculación del gas de combustión.
- Debe trabajarse con bajas cantidades de aire en exceso e incineración por etapas.

Las tecnologías que deben utilizarse para tratar los gases de combustión son:

a) Reducción catalítica selectiva

En el funcionamiento adecuado de esta tecnología, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Se inyecta amoníaco en los gases de chimenea, a una temperatura que debe estar entre 280 y 340°C, para que se produzca la reacción catalítica.
- 2) Se pueden emplear como catalizadores metales como cobre, hierro, cromo, níquel, molibdeno, cobalto y vanadio en diversas formas (granulares, cilíndricas, mallas etc.)
- 3) Si los residuos por incinerar tienen un alto contenido de plomo y una alta producción de partículas, no se debe utilizar este sistema.

b) Reducción no catalítica selectiva

Para el buen funcionamiento de la tecnología es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Se inyecta amoniaco al horno a una temperatura entre 700 y 1200°C.
- 2) Se necesita inyectar hidrógeno gaseoso a una temperatura mínima del horno de 870°C.
- 3) Se debe controlar que la temperatura del horno no supere los 1200°C para evitar la producción extra de óxido nitroso.
- 4) Se recomienda la instalación de inyectores múltiples de pared en el horno para el control de la temperatura.

3. Si se requiere controlar gases ácidos y óxidos de azufre, es necesario utilizar alguno de los siguientes métodos:

a) Separación en el origen

En la utilización de esta metodología deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Se puede utilizar para controlar las emisiones de ácido clorhídrico (HCl), dióxido de azufre (SO₂).
- 2) Deben separarse los residuos que contienen grandes cantidades de cloro y azufre.

b) Depuración húmeda

Es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos para el uso de la metodología:

- 1) Se puede utilizar para controlar las emisiones de ácido clorhídrico (HCl), dióxido de azufre (SO₂) y ácido fluorhídrico (HF).
- 2) Debe controlarse el funcionamiento del intercambiador de calor ya que de este depende la eficacia de la operación de depuración.

c) Depuración seca

En el funcionamiento de la metodología deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- 1) Se puede utilizar para controlar las emisiones de ácido clorhídrico (HCl), dióxido de azufre (SO₂) y ácido fluorhídrico (HF).
- 2) Se puede utilizar alguna de las dos técnicas existentes de depuración seca que son:

a) Secado de rocío

En la utilización de este sistema son importante los siguientes aspectos:

1. Se debe controlar el bombeo de las disoluciones de cal y carbonato de sodio (Na₂CO₃).
2. Utilizar el sistema en conjunto con un filtro de mangas para separar las partículas sólidas, así como las cenizas volantes.

b) Inyección en seco

En su utilización es necesario tener en cuenta lo siguiente:

1. Debe controlarse el rocío de la solución de cal en la cámara de reacción.
2. Es pertinente adicionar un agente aglomerante (patentado de acuerdo con la marca del sistema que se utilice) para ayudar a la coagulación de las partículas muy finas.
3. Utilizar el sistema en conjunto con un filtro de mangas para separar las partículas sólidas, así como las cenizas volantes.

4. Si se requiere controlar hidrocarburos y monóxido de carbono, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - a) Verificar continuamente que no haya sobrecarga de residuos en el horno que generen una incineración incompleta de los mismos y, por lo tanto, la producción de monóxido de carbono e hidrocarburos.
 - b) Debe controlarse que el contenido de humedad en los residuos no sea demasiado alto, de modo que cause una disminución en la temperatura de combustión de los residuos y por tanto una incineración incompleta de los mismos.
 - c) Para controlar la producción de hidrocarburos y monóxido de carbono, debe trabajarse siempre bajo condiciones de aire en exceso. El aire en exceso debe equilibrarse para evitar una combustión a temperaturas demasiado altas y la generación de excesivas emisiones de óxidos de nitrógeno. El equilibrio de estos factores se recomienda llevarlo a cabo mediante la supervisión continua de las emisiones de los constituyentes del gas de combustión (CO, CO₂, NO_x, HC y O₂). Las lecturas de monóxido de carbono y oxígeno deben utilizarse para equilibrar el aire en exceso. De igual forma se pueden utilizar las lecturas de temperatura en el horno para ayudar en el control.
5. Si se requiere controlar dioxinas, furanes y metales debe utilizarse alguna de las siguientes metodologías:

- a) Separación en origen

Es conveniente la separación de los residuos que tengan alto contenido de cloro y metales.

- b) Controles de combustión

Para controlar las emisiones de dioxinas y furanes se recomienda trabajar con las especificaciones de temperatura y tiempo de residencia presentadas en el literal F.5.3.1.

Otro aspecto que debe tenerse en cuenta en el uso de esta metodología es la utilización de los controles de combustión para el monóxido de carbono presentados anteriormente como una herramienta de control de dioxinas y furanes.

- c) Remoción

Debe usarse la(s) metodología(s) utilizada(s) para el control del dióxido de azufre.

F.5.3.2.8 Sistema de descarga y almacenamiento de cenizas residuales

En el diseño y funcionamiento de este sistema deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe diseñarse un foso de almacenamiento para recoger las cenizas residuales descargadas del proceso de incineración cuyo volumen sea como mínimo equivalente al volumen de cenizas residuales producidas en una semana en la planta de incineración.
2. El foso de almacenamiento de las cenizas residuales debe ser cubierto para evitar la fuga de las cenizas residuales a la atmósfera, que puedan ser perjudiciales para los trabajadores de la planta y el ambiente circundante.
3. El foso diseñado debe protegerse con una membrana semipermeable para evitar la entrada de agua (lluvia o subterránea) u otros líquidos al foso, o para evitar la salida de lixiviados, ya que bajo ciertas condiciones las cenizas se convierten en lixiviados. De igual forma debe construirse una trampa para atrapar líquidos alrededor del foso.
4. La zona de descarga y almacenamiento de cenizas residuales debe estar claramente demarcada y señalizada.

F.5.3.2.9 Chimenea

Para el adecuado funcionamiento y diseño de la chimenea deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. La altura mínima de la chimenea de la planta de incineración debe estar acorde con lo establecido en el artículo 40 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace.
2. Es obligatorio la instalación de plataformas o puntos de muestreo en la chimenea, los cuales deben ser suficientemente amplios, fáciles de transitar y haber sido acondicionados y elegidos de modo que garanticen mediciones representativas y confiables.
3. La selección del sitio de muestreo, la determinación del número de puntos y su localización en la chimenea deben regirse por lo establecido en los artículos 97 a 101 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace.
4. Debe verificarse y controlarse que la chimenea este construida de láminas de acero no alineado, de láminas de acero alineado refractario o de materiales completamente refractarios. De igual forma es obligatorio que la chimenea tenga una doble pared para resistir los problemas de corrosión, resultado del proceso de condensación.
5. De acuerdo con la altura y el diámetro de la chimenea se puede calcular su tiro natural (natural draft) para permitir el movimiento de los gases a través de la cámara de combustión, según la siguiente relación:

$$D_T = 3.4 * 10^{-2} * P_b * H_S * \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_S} \right) \quad (\text{F.5.5})$$

F.5.3.3 Parámetros de control

Los propietarios de las plantas de incineración deben realizar tanto mediciones en continuo como mediciones individuales o en discontinuo para el control de ciertos parámetros. En las mediciones deben utilizarse procedimientos y dispositivos de medida apropiados y acordes con el estado de la técnica, según las disposiciones detalladas por la planta misma, por el decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace, por las autoridades ambientales, o en su defecto por lo establecido por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (*EPA Appendix A, 40 CFR, Part 60 y EPA Appendix B, 40 CFR, Part 61*).

La planta debe proveerse con la instrumentación necesaria para determinar factores tales como el peso de materiales de entrada y salida en la planta, las cantidades de aire utilizadas, presiones y temperaturas en la cámara de combustión, en los sistemas de contaminación atmosférica y en la chimenea, concentraciones de monóxido y dióxido de carbono, etc. en la chimenea, etc. Deben llevarse registros de la instrumentación utilizada.

Los propietarios de las plantas deben efectuar la correcta calibración de los equipos de medición de las emisiones, de acuerdo con las especificaciones de funcionamiento de cada equipo. Dichas calibraciones de los equipos y las pruebas de funcionamiento de los mismos deben ser reportadas a la autoridad ambiental.

F.5.3.3.1 Parámetros de medición y control en continuo

Los parámetros que deben ser determinados, registrados y evaluados continuamente por parte de la planta de incineración son:

1. Cantidad de los residuos

Debe controlarse el peso total y el volumen (la capacidad de los camiones que descarguen puede ser utilizada para este propósito) de los residuos recibidos durante cada turno, día o jornada de trabajo de la planta, incluido el número de cargas recibidas y la fuente y naturaleza de los residuos recibidos.

2. Calidad de los residuos

Debe controlarse la calidad de los residuos de acuerdo con lo establecido en el literal F.5.2.3, Selección de los residuos a incinerar.

2. Temperatura de los gases de combustión

Es obligatorio controlar que este parámetro este dentro de los rangos establecidos en el literal F.5.3.1.1 con el fin de lograr la combustión completa de los residuos por incinerar y evitar fallas en los equipos utilizados, que causen una detención en el funcionamiento de la planta

3. Cantidad de aire utilizado en la combustión

Es obligatorio controlar que la planta siempre trabaje bajo condiciones de aire en exceso con el fin de lograr la combustión completa de los residuos y evitar la producción de gases y sustancias indeseadas tales como monóxido de carbono(CO) e hidrocarburos (Hc).

4. Presión dentro de la cámara de combustión

Es de vital importancia controlar este parámetro con el fin de evitar problemas operacionales (explosiones principalmente).

5. Oxígeno (O₂) en los gases de salida de la planta

El control de este parámetro es de vital importancia ya que permite determinar si el proceso de incineración se está desarrollando con cantidades de aire en exceso. El método de medición que se utilice debe estar acorde con lo establecido en los artículos 107 a 110 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace.

6. Monóxido de carbono (CO) en los gases de salida

El control de este parámetro se debe realizar con el fin de verificar que se esté dando la combustión completa de los residuos incinerados. El método de medición utilizado debe estar acorde con lo establecido en los artículos 107 a 110 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace.

7. Opacidad a la salida

Debe controlarse que la planta cumpla con los requerimientos de emisión establecidos anteriormente.

8. Cantidad de cenizas residuales

Debe registrarse la cantidad de cenizas producidas por la planta en intervalos de tiempo que no afecten las condiciones normales de operación de la planta. El registro debe incluir el porcentaje estimado de residuos no incinerado en las cenizas.

9. Cantidad de agua utilizada

Debe registrarse la cantidad de agua utilizada por la planta en cada turno, día o jornada de trabajo para las labores de enfriamiento de las cenizas o para los procesos de depuración cuando estos se efectúen. Deben recogerse y analizarse muestras representativas de las aguas procesadas.

10. Energía generada y utilizada

Si la planta cuenta con un sistema de recuperación de calor debe registrarse y controlarse el calor generado y el utilizado en cada turno, día o jornada de trabajo. Si la planta produce vapor debe registrarse la cantidad producida, la calidad y las tasas de consumo del mismo, si se utiliza.

11. Combustible auxiliar

Deben registrarse y controlarse las cantidades de combustible utilizadas y el tipo de combustible auxiliar utilizado.

F.5.3.3.2 Parámetros de medición y control individuales o en discontinuo

Los parámetros que deben ser determinados, registrados y evaluados individualmente y/o discontinuamente por parte de los propietarios de la planta de incineración son:

1. Partículas emitidas

Debe controlarse que la planta cumpla con los requerimientos de emisión de partículas establecidos. De igual forma, deben seguirse los procedimientos establecidos en los artículos 113 a 118 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud o el que lo reemplace.

2. Temperatura de los gases de salida.

3. Velocidad de los gases de salida

Para la medición de la velocidad de los gases de salida, el propietario de la planta debe cumplir con lo establecido en los artículos 103 a 106 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud, determinación de la velocidad de las emisiones en chimeneas, o el que lo reemplace.

4. Humedad

Para la medición de la humedad de las emisiones, el propietario de la planta debe cumplir con lo establecido en los artículos 111 a 114 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud, determinación del contenido de humedad de las emisiones en chimeneas, o el que lo reemplace.

5. Emisiones de óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre, hidrocarburos, gases ácidos, metales pesados, dioxinas y furanes

Debe controlarse que la planta cumpla con los niveles máximos permisibles obtenidos para estos compuestos a partir del análisis de riesgo realizado a los residuos por incinerar. Para la medición de dióxido de azufre debe cumplirse con lo establecido en los artículos 119 a 122 del Decreto 02 de 1982 del Ministerio de Salud, determinación de este contaminante en chimeneas de fuentes fijas artificiales, o el que lo reemplace.

6. Funcionamiento del sistema de recuperación de calor

Debe controlarse que el uso de este sistema cumpla con los aspectos mostrados en el literal F.5.3.2.4. El propietario de la planta debe controlar periódicamente el funcionamiento del sistema. Se recomienda realizar controles al sistema por lo menos una vez por trimestre en conjunto con los otros sistemas de la planta.

7. Funcionamiento del sistema de remoción de partículas

Debe controlarse que el uso de este sistema cumpla con los aspectos mostrados en el literal F.5.3.2.5. Debe controlarse periódicamente el funcionamiento del sistema (trimestralmente preferiblemente) en conjunto con los otros sistemas de la planta.

8. Funcionamiento del sistema de remoción de gases

Debe controlarse que el uso de este sistema cumpla con los aspectos mostrados en el literal F.5.3.2.6. Se recomienda realizar controles en conjunto con los otros sistemas de la planta en periodos de tres meses preferiblemente.

F.5.4 MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA INCINERACIÓN

En el manejo de los residuos de la incineración deben tenerse en cuenta las cenizas residuales (cenizas de fondo), las partículas residuales (cenizas volantes), los productos de depuración y los vertimientos de aguas residuales.

F.5.4.1 Cenizas residuales (cenizas de fondo)

Una buena práctica ingenieril que debe seguirse para el manejo de las cenizas residuales procedentes de la incineración se puede resumir de la siguiente forma:

F.5.4.1.1 Análisis

Deben determinarse las características de las cenizas residuales mediante la implementación en la planta de un laboratorio de análisis o mediante análisis realizados en laboratorios certificados por las autoridades ambientales. Así mismo, analizarse la cantidad de materia orgánica no quemada, que es una medida del rendimiento de la planta de incineración, mediante el índice de quemado de cenizas.

$$ABI = \left[1 - \frac{(A - B)}{A} \right] * 100\% \quad (\mathbf{F.5.6})$$

F.5.4.1.2 Manipulación

Deben manipularse correctamente las cenizas para que no se produzcan emisiones fugitivas de polvo.

F.5.4.1.3 Transporte

Los contenedores de los vehículos en que se transporten las cenizas deben estar cubiertos y ser a prueba de fugas.

F.5.4.1.4 Disposición

En la disposición deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Pueden disponerse las cenizas residuales en rellenos de seguridad, de acuerdo con las especificaciones dadas en el literal F.7.12, o mediante su reutilización en procesos tales como el mantenimiento de diques, la construcción de capas base en las carreteras o en la fabricación de bloques de construcción.
2. Pueden recuperarse los metales y otros materiales a partir de las cenizas residuales mediante separación magnética o cribado.
3. Debe valorarse el potencial de lixiviado en las cenizas, ya que bajo ciertas condiciones, al verter las cenizas a los rellenos, estas pueden lixivarse a las aguas subterráneas y si contienen trazas de metales pesados y orgánicos pueden convertirse en un peligro. Hay diversos ensayos que pueden utilizarse para medir el potencial en las condiciones establecidas por la EPA. Los ensayos son:
 - a) Ensayo EP de toxicidad: Ver literal F.7.3.2.
 - b) Ensayo u procedimiento para las características tóxicas del lixiviado (TCLP): Ver literal F.7.3.2.

F.5.4.2 Partículas residuales (cenizas volantes)

Para el manejo de las partículas residuales o cenizas volantes, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

F.5.4.2.1 Análisis

Deben determinarse las características de las partículas residuales o cenizas volantes mediante la implementación en la planta de un laboratorio de análisis o mediante análisis realizados en laboratorios certificados por las autoridades ambientales.

F.5.4.2.2 Manipulación

Como las cenizas volantes están compuestas por partículas micrónicas y submicrónicas deben manejarse con mucho cuidado para evitar emisiones fugitivas de polvo. Para tal fin deben separarse de los dispositivos de control de la contaminación atmosférica mediante bandas transportadoras automáticas.

F.5.4.2.3 Transporte

Los contenedores de los vehículos en que se transporten las cenizas deben estar cubiertos y ser a prueba de fugas.

F.5.4.2.4 Disposición

En la disposición deben utilizarse algunas de las siguientes metodologías:

1. Disposición de las cenizas volantes en rellenos de seguridad o su reutilización en procesos como la fabricación de bloques de construcción al mezclar cenizas volantes con cenizas de fondo, cal hidratada y cemento Portland. Para este caso es necesario demostrar ante las autoridades ambientales que se tiene el mercado para estos materiales.
2. Disposición en rellenos de seguridad cuando han sido previamente humedecidas y combinadas con cenizas residuales.

F.5.4.3 Productos de depuración

El manejo de los lodos producidos en el proceso de depuración húmeda debe incluir la deshidratación para reducir el volumen de los mismos y la evacuación subsiguiente de los lodos en forma de un residuo sólido (se puede aplicar la misma metodología que para una ceniza residual) y del sobrenadante como un agua residual.

F.5.4.4 Vertimientos de aguas residuales

Los vertimientos de aguas residuales resultantes del proceso de incineración tienen varios orígenes y por lo tanto cada uno de estos debe manejarse de forma diferente.

F.5.4.4.1 Aguas residuales de la separación de cenizas

Deben analizarse con el fin de ver si cumplen con las normas de vertimiento a fuentes de agua o alcantarillados. De lo contrario deben pretratarse antes de verterlas.

F.5.4.4.2 Efluente de la depuración húmeda

Los tratamientos que pueden hacerse a las aguas residuales de depuración húmeda son:

- Neutralización
- Precipitación
- Sedimentación

F.5.4.4.3 Aguas residuales de sellado, baldeo y mantenimiento en general

El agua utilizada para sellar y enfriar bombas y otros equipos y la utilizada para la limpieza de las zonas de descarga debe sedimentarse antes de ser vertida a las alcantarillas o a las fuentes de agua. Esto con el fin de eliminar el contenido de grasas, aceites y compuestos orgánicos presentes en estas.

F.5.4.4.4 Aguas residuales de aguas de alimentación

El sistema típico de tratamiento de las aguas residuales resultantes de las aguas utilizadas para fabricar calor en un sistema de turbina de vapor puede ser una combinación de las siguientes unidades:

- Unidades de ablandamiento
- Unidades de intercambio iónico
- Unidades de precipitación
- Unidades de ósmosis inversa

F.5.4.4.5 Purgas de torres enfriadoras

Si se utiliza un sistema de producción de energía con turbinas de vapor, el agua residual de las torres de enfriamiento (purga) debe pretratarse antes de ser vertida al sistema de alcantarillado o a una fuente de agua, para reducir el alto contenido de sólidos disueltos y sales de cromo típicos de estas aguas.

F.5.5 SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

Los incineradores deben diseñarse, operarse y mantenerse de modo que protejan la salud y la seguridad del personal asociado a la operación de la planta.

F.5.5.1 Procedimientos de diseño y operación

Los procedimientos que deben aplicarse para el diseño y operación de la planta de incineración bajo unas adecuadas condiciones de seguridad industrial y salud ocupacional son:

1. La planta debe poseer un sistema completo de control de incendios.
2. Debe prestarse atención a la salud de los operadores de la planta y los vehículos a través de la provisión de mecanismos y dispositivos de seguridad.
3. La planta debe disponer de métodos y/o equipos para la movilización de personal herido.
4. Procedimientos detallados deben desarrollarse por parte de la gerencia de la planta para la atención de situaciones de emergencia, tales como fallas de energía, fallas en el suministro de agua y aire, daños, incendios y explosiones en los equipos, etc. Estos procedimientos deben darse a conocer a todo el personal, y fijarse en lugares visibles para que los empleen en el caso que se necesiten. Estos procedimientos deben actualizarse y revisarse periódicamente.
5. Las vías y áreas internas de la planta deben ser pavimentadas para evitar la producción de polvo.
6. Respiradores apropiados o aparatos de autocontención de la respiración deben localizarse en lugares visibles para los trabajadores en toda la planta. El personal de la planta debe verificar periódicamente que estos funcionen. De igual forma debe capacitarse a los empleados en el funcionamiento de este tipo de equipos y deben elaborarse sus respectivos manuales de funcionamiento.
7. Los propietarios de la planta deben entrenar al personal en prácticas de primeros auxilios y en procedimientos de emergencia.
8. El personal que labora en la planta debe dotarse con equipos de seguridad tales como botas de seguridad (con puntera de acero), guantes, gafas de seguridad y casco.
9. El personal de la planta debe someterse a exámenes periódicos de control con el fin de evitar enfermedades infectocontagiosas o transmisibles.
10. Los propietarios de la planta deben identificar y controlar los riesgos físicos, químicos, biológicos, mecánicos, eléctricos, etc., relacionados con las actividades de la planta.
11. Es obligatorio establecer por parte de los propietarios de la planta regulaciones técnicas y administrativas destinadas a proteger, conservar y mejorar la salud de los trabajadores.
12. Debe elaborarse un manual de operación para la planta, donde se describan las tareas desarrolladas, los procedimientos de operación y las precauciones de seguridad para las diversas áreas de la planta. El manual debe estar a disposición del personal y debe escribirse de modo que sea entendible para cualquier nivel.
13. Deben establecerse señales audibles con el fin de alertar al personal de operación en una situación de emergencia.
14. Deben controlarse desviaciones peligrosas en las variables del proceso de incineración mediante la implementación de sistemas adecuados de instrumentación y control, además de buenas prácticas de operación y manejo.

F.5.6 MANTENIMIENTO

Las actividades de mantenimiento que se ejecuten en la planta para controlar y prevenir daños, o para corregir estos cuando se hallan producido, deben dividirse en actividades de mantenimiento preventivo y en actividades de mantenimiento correctivo.

El equipo humano o el personal encargado de realizar las actividades de mantenimiento deberá estar conformado por personas responsables, con probada capacidad técnica, experiencia y conocimientos para cumplir con la labor de mantenimiento que permita que la planta de incineración tenga una mayor eficiencia y que los costos se vean reducidos.

Para el desarrollo de las actividades de mantenimiento deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

1. Debe desarrollarse un manual de operación y mantenimiento, en lo posible para todas las partes, unidades, sistemas y equipos de la planta de incineración. El manual debe incluir los planos, las partes y el sistema de funcionamiento.
2. Deben asegurarse los recursos financieros necesarios para realizar las actividades de mantenimiento dentro del presupuesto de funcionamiento de la planta.
3. Debe establecerse un cronograma de mantenimiento preventivo anual para la planta de incineración de modo que se vea afectada lo menos posible la operación de la planta. Dicho cronograma debe establecer actividades de:
 - a) Limpieza de los sistemas de almacenamiento de residuos y cenizas de la planta, de la cámara de combustión, del sistema de entrada de los residuos al incinerador, del sistema de remoción de partículas, del sistema de remoción de gases, del sistema de entrada de aire al incinerador y del sistema de recuperación de calor.
 - b) Verificación del funcionamiento y control de los sistemas de almacenamiento de residuos y cenizas de la planta, de la cámara de combustión (principalmente el estado del material refractario), del sistema de entrada de los residuos al incinerador, del sistema de remoción de partículas, del sistema de remoción de gases, del sistema de entrada de aire al incinerador y del sistema de recuperación de calor. Dentro de las actividades de verificación y control que deben desarrollarse en cada uno de los sistemas están:
 - Control de vibraciones y ruidos
 - Revisión de conexiones entre equipos
 - Actividades de lubricación y limpieza
 - Revisión de motores, compresores, etc.
 - Control y revisión de partes eléctricas
 - Control de fugas
 - Control de corrosión mediante aplicación de pinturas anticorrosivas o mediante la utilización de ánodos de sacrificio o corriente impresa
 - Revisión de instrumentos y controladores
 - Pruebas de aislamientos en motores, medidores, etc.
4. Debe capacitarse permanentemente al personal de mantenimiento de la planta por medio de personal de la misma planta o personal contratado para tal fin.

5. Deben establecerse procedimientos de operación alternos en la medida de lo posible, para cuando que haya necesidad de realizar mantenimiento, tanto preventivo como correctivo, se vea afectada lo menos posible la actividad de la planta de incineración.
6. Debe llevarse un registro de las actividades de mantenimiento realizadas, tanto preventivas como correctivas, que permitan hacer más eficiente la labor desarrollada. El registro de mantenimiento debe contener como mínimo los siguientes parámetros:
 - a) Actividad desarrollada (mantenimiento preventivo o correctivo).
 - b) Unidad, equipo o sistema analizado.
 - c) Problemas encontrados. (Si los hay o no).
 - d) Acciones desarrolladas. (Arreglos, cambios de partes, etc.)
 - e) Tiempo empleado.
 - f) Conclusiones y recomendaciones si las hay.
7. Debe contarse con una cantidad suficiente de materiales en bodega, herramientas, etc. para poder llevar a cabo las operaciones de mantenimiento dentro de la planta. Para tal fin, se exigirá:
 - a) Tener un inventario detallado de las existencias de equipos, herramientas, materiales y todos los elementos que se encuentren en la bodega de almacenamiento.
 - b) Una señalización adecuada en la bodega que permita ubicar fácilmente lo que se necesite usar.
 - c) Personal responsable a cargo de estos elementos.
 - d) Tener un control de entradas y salidas de los elementos utilizados día a día.
 - e) Mantener al día las solicitudes de elementos a medida que estos se vayan utilizando.

CAPÍTULO F.6

F.6. RELLENOS SANITARIOS

F.6.1 ALCANCE

El título define los requerimientos mínimos necesarios para que el sistema de disposición final de rellenos sanitarios sea diseñado, operado y monitoreado para evitar y mitigar los impactos ambientales que son generados al utilizar este sistema.

Cuando las especificaciones que se mencionan en el presente literal no hacen referencia a un **nivel de complejidad** específico, estas deben adoptarse indiferentemente para los cuatro **niveles de complejidad del sistema**.

Los requisitos para los **niveles medio y bajo de complejidad** corresponden a especificaciones para rellenos sanitarios manuales.

F.6.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS SITIOS DE UBICACIÓN DE RELLENOS SANITARIOS

El objetivo principal para la selección del sitio de ubicación del relleno sanitario, es que éste permita realizar la disposición final en forma técnica y económica. Se deben analizar los inconvenientes del sitio en función de los recursos técnicos y económicos.

En la selección del sitio de ubicación también se deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

1. Minimizar los efectos del impacto ambiental. Deben preservarse las condiciones ambientales y sanitarias del medio donde se desarrolla el relleno sanitario.
2. Minimizar la distancia de transporte. Es una de los objetivos más importantes en la selección del sitio de disposición final, ya que la distancia de transporte puede afectar significativamente el diseño y la operación del sistema integrado de residuos sólidos municipales.
3. Cumplir con la capacidad requerida para la vida útil del relleno sanitario. La capacidad del sitio debe ser suficientemente grande para permitir su utilización, de modo que su vida útil sea compatible con la gestión, los costos de adecuación y las obras de infraestructura.
4. Tener accesibilidad al sitio. El terreno debe estar cerca a una vía principal, para que su acceso sea fácil y resulte más económico el transporte de los residuos sólidos y la construcción de las vías internas.
5. Disponer de suficiente material de cobertura. Deben obtenerse datos sobre las cantidades y las características de los suelos que se van a utilizar como material de cubierta .
6. Facilitar la operación de la unidad. Constituye una de las principales propiedades del sitio y se encuentra vinculada directamente a las características topográficas.
7. Analizar el desarrollo del municipio en función de los requerimientos definidos en el POT (Plan de Desarrollo Territorial) y garantizar que el sitio seleccionado cumpla estos requerimientos.
8. Acreditar con un documento legal, una vez que se cumplan los requisitos del numeral anterior, la propiedad sobre el terreno. El proyecto de relleno sanitario debe iniciarse solamente cuando la entidad responsable del relleno tenga en su poder el documento legal que acredite su propiedad y autorice a construirlo con sus obras complementarias.

F.6.2.1 Restricciones generales y distancias mínimas

1. Casco urbano. La distancia mínima con respecto al límite del casco urbano será 1.000 m, distancia que puede ser superior con relación a los resultados del estudio de impacto ambiental.
2. Aeropuertos. En aeropuertos donde maniobren aviones de motor a turbina y aviones de motor a pistón, las distancias mínimas serán 3.000 m y 1.500 m, respectivamente. Si el sitio se localiza dentro de los rangos anteriores, debe demostrarse que los pájaros no representan un peligro para la actividad del aeropuerto. A continuación se recomiendan ciertos procedimientos operacionales que reducen el abastecimiento de comida y pueden impedir que los pájaros habiten el sitio:
 - a) Cubrimiento de los residuos, el número de veces que sea necesario durante el día, de tal forma que no constituyan una fuente de alimento.
 - b) Trituración de residuos que contengan alimento.
 - c) Eliminación de residuos del relleno sanitario que representen una fuente de alimento para los pájaros, a través de métodos de aprovechamiento como separación y compostaje.
 - d) Uso de barreras físicas como alambradas alrededor del frente de trabajo.
3. Cuerpos de agua. La distancia de ubicación del sitio para la disposición final, con respecto a cuerpos de aguas superficiales, deberá ser mínimo de 500 m a partir de la orilla del cuerpo de agua o de la base de los diques; en el caso de las corrientes superficiales, a partir del centro del cauce.
4. Zonas de fallas geológicas. El sitio de localización está prohibido dentro de los 60 m de zonas de fallas geológicas que hayan experimentado desplazamiento del sitio desde los últimos 10.000 años.
5. Fuentes de agua potable. La distancia mínima del sitio a los pozos de agua potable, tanto en operación como en abandono, a los manantiales y a cualquier fuente superficial o subterránea de abastecimiento hídrico debe ser mayor de 500 m.
6. El relleno sanitario no puede ocasionar ninguna disminución en la calidad del agua superficial y/o subterránea de los acuíferos localizados bajo el relleno y de las aguas superficiales adyacentes a la unidad. Para los **niveles medio-alto, medio y bajo de complejidad del sistema**, la distancia mínima entre el fondo del relleno y la tabla de agua es de 5 m, esta distancia debe verificarse que ocurra aún en condiciones de altura máxima del nivel freático. El **nivel alto de complejidad** debe realizar un estudio que demuestre que las aguas superficiales y/o subterráneas no serán contaminadas.
7. Se deberán respetar todas las obras civiles como acueductos, vías, alcantarillados, transmisión eléctrica, etc., y de comunicación.

F.6.2.2 Aspectos hidrológicos

El sitio de disposición final no deberá ubicarse en zonas de pantanos, humedales y áreas similares a menos que demuestre los siguientes aspectos durante la construcción y operación del relleno:

1. No existen otras alternativas de localización disponibles.
2. No se contaminará el área.
3. No se violarán las reglamentaciones de calidad del agua.
4. No se pueden arriesgar especies amenazadas y hábitats críticos.
5. No se causará o contribuirá a una degradación de los humedales y similares.
6. El diseño debe demostrar claramente la estabilidad del suelo donde se construirá el relleno sanitario.

F.6.2.3 Aspectos geológicos y geotécnicos

No deben construirse sitios de disposición final en áreas propensas a zonas de fallas. Si se demuestra que la unidad mantendrá la integridad estructural en el evento de un desplazamiento de la falla, el relleno

sanitario puede construirse a 60 m de la zona de falla; y simultáneamente esa distancia debe garantizar la protección de la vida humana y el ambiente.

No deberá ubicarse en sitios que puedan generar asentamientos que desestabilicen la integridad del relleno, como estratos de suelos altamente compresibles, sitios susceptibles de deslizamientos y aquellos donde se pueda generar fenómenos de carsismo.

Si es localizado en una área inestable, debe demostrarse que el diseño asegura la integridad de los componentes estructurales del relleno sanitario.

El valor máximo permitido de la permeabilidad del depósito superficial será 1×10^{-7} cm/s y debe tener un espesor mínimo de 1 m.

F.6.2.4 Aspectos sísmicos

El nivel alto de complejidad del sistema debe realizar estudios dinámicos y de licuación, correspondiente a los Títulos A y H, respectivamente, de la Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismoresistentes NSR-98. El diseño debe garantizar que la unidad resista la máxima aceleración horizontal y que permanezca estable.

F.6.2.5 Aspectos ambientales

Se deben considerar los impactos asociados a los olores y los ruidos generados por el tráfico debidos a la operación del relleno sanitario.

En el caso de que se dispongan en el relleno sustancias tóxicas, se debe tener en cuenta la evaluación la emisión de dichas sustancias por el relleno y el efecto que puedan tener sobre la salud pública de las personas que habitan en los alrededores del relleno sanitario.

F.6.3 ESTUDIOS PREVIOS

Una vez seleccionado el sitio para la disposición final de los residuos sólidos, es necesario realizar los siguientes estudios:

F.6.3.1 Estudio topográfico

Se deben compatibilizar los niveles del proyecto del relleno sanitario con el levantamiento planimétrico y altimétrico y las dimensiones del terreno, de manera que se puedan seleccionar y diseñar los frentes de trabajo, establecer métodos de operación, determinar la capacidad volumétrica, ubicar el material disponible para efectuar trabajos de rellenos y de cobertura y planificar el sistema de control de contaminación ambiental. El estudio topográfico debe localizar toda servidumbre que contenga el terreno y también se debe realizar un levantamiento del área de influencia determinando fundamentalmente las vías de acceso y las características urbanísticas del entorno.

1. Planimetría

$$T_A = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (\text{F.6.1})$$

$$T_A = \frac{1}{\sqrt{5000}} \quad (\text{F.6.2})$$

- a) Todos los puntos en sus vértices deben estar referenciados a bancos de nivel fijo y de ser posibles oficiales, con objeto de rehacer la poligonal cuando se requiera.
- b) La poligonal del terreno debe estar referida a un sistema de coordenadas.
- c) La poligonal del terreno en cada uno de sus vértices debe contar con ángulos internos, rumbos y azimuts.

d) Al plano de altimetría se deben anexar las libretas de campo.

2. Altimetría

a) Los bancos de nivel deben estar referidos a bancos oficiales.

b) Las curvas de nivel se deben trazar de acuerdo con los siguientes requerimientos: en equidistancias de curvas a cada medio metro para sitios planos y ligeramente ondulados, y cada metro para ondulados, hondonadas profundas y valles escarpados.

3. Secciones

Se deben ubicar secciones a partir del K0+000 del camino de acceso, referenciadas a las estaciones establecidas sobre el perfil del camino. Las secciones son siempre perpendiculares al eje del camino de acceso y deben abarcar 20 m a cada lado del eje, como mínimo.

F.6.3.2 Estudio geotécnico

F.6.3.2.1 Nivel de detalle del estudio geotécnico

- Definición. Se define como nivel de detalle como el resultado de la aplicación de dos criterios concomitantes, el uno dependiente del **nivel de complejidad del sistema** y el segundo dependiente de la variabilidad del subsuelo sobre el que se apoya el relleno sanitario.
- Variabilidad del subsuelo. La variabilidad del subsuelo se define como en el artículo H.3.1.3 de la Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismoresistente (NSR-98).
- En el estudio geotécnico se definen los niveles de detalle I, II, III y IV, según la tabla F.6.1.

TABLA F.6.1

Definición del nivel de detalle del estudio geotécnico

Nivel de complejidad del sistema	Variabilidad del subsuelo		
	Baja	Media	Alta
Bajo	I	I	II
Medio	II	II	III
Medio-alto	II	III	III
Alto	III	IV	IV

F.6.3.2.2 Investigación del subsuelo

- Información previa. El ingeniero geotecnista debe recopilar y evaluar los datos disponibles sobre las características del sitio y del proyecto:
 - Del sitio. Esta información debe ser obtenida por el ingeniero encargado del estudio geotécnico y comprende: geología, sismicidad, clima, vegetación, infraestructuras y estudios anteriores. El ingeniero geotecnista responsable del proyecto debe dar fe de que conoce el sitio y lo ha visitado para efectos de la elaboración del estudio.
 - Del proyecto. La siguiente información debe ser suministrada al ingeniero geotecnista: levantamiento topográfico, altura del relleno, secuencias de construcción, niveles de excavación, cargas, redes de servicio y los demás aspectos que el ingeniero geotecnista estime necesarios para la realización del estudio.
- Exploración de campo. Deben realizarse apiques, trincheras, perforaciones estáticas o dinámicas, u otros procedimientos reconocidos en la práctica, con el fin de ejecutar pruebas directas o indirectas en el terreno y obtener muestras para ensayos de laboratorio. La exploración debe ser amplia y suficiente para garantizar un adecuado conocimiento del subsuelo hasta la profundidad afectada por el relleno sanitario

3. Número mínimo de sondeos. El número mínimo de sondeos de exploración se define de acuerdo con el nivel de detalle, según la tabla F.6.2.

TABLA F.6.2
Número mínimo de sondeos

Nivel de detalle	Número mínimo de sondeos
I	3
II	3
III	5
IV	10

- a) Sobre las características y distribución de los sondeos. Las características y distribución de los sondeos deben cumplir las siguientes disposiciones:
- Los sondeos con recuperación de muestras deben constituir como mínimo el 50% de los sondeos practicados en el estudio definitivo.
 - Las muestras, en tal caso, se toman en cada cambio de material o por cada 1.5 m de longitud del sondeo.
 - Los sondeos practicados dentro del desarrollo del estudio preliminar pueden incluirse como parte del estudio definitivo, siempre y cuando hayan sido ejecutados con la misma calidad y siguiendo las especificaciones dadas en este reglamento.
 - El número de sondeos finalmente ejecutado debe cubrir el área que ocupa el relleno sanitario.
4. Profundidad de los sondeos. Por lo menos el 50% de todos los sondeos debe alcanzar la máxima profundidad dada por las siguientes alternativas:
- a) Profundidad en la que el incremento de esfuerzos causados por el relleno sanitario sobre el terreno sea el 10% del esfuerzo con el terreno natural.
- b) 1.5 veces la altura del relleno.
- c) En los casos donde se encuentre roca firme, o aglomerados rocosos o capas de suelos asimilables o rocas, a profundidades inferiores a las establecidas, los sondeos deben penetrar un mínimo de 3 m en dichos materiales. Sin embargo, el ingeniero debe evaluar las condiciones geológicas para comprobar que debajo de este estrato no exista un estrato de menor resistencia.
5. Ensayos de laboratorio. Deben ensayarse muestras de tamaño representativo de manera que las pruebas no varíen en un rango amplio debido al contenido de suelo.
- a) Selección de muestras. Las muestras obtenidas de la exploración de campo deben ser seleccionadas por el ingeniero geotecnista, quien debe ordenar los ensayos de laboratorio que permitan conocer con claridad la clasificación, peso unitario, humedad natural, propiedades de resistencia al corte, deformación, permeabilidad y compresibilidad de los diferentes materiales.
- b) Tipo y número de ensayos. El tipo y número de ensayos depende de las características propias de los suelos o materiales rocosos por investigar y del criterio del ingeniero geotecnista.
- Ensayos para suelos. Para suelos deben realizarse como mínimo ensayos de clasificación, completa para cada uno de los estratos o unidades estratigráficas, sus niveles de meteorización, su humedad natural, peso unitario y permeabilidad.
 - Ensayos para rocas. Para materiales rocosos deben realizarse como mínimo ensayos de peso específico, compresión simple, absorción, alterabilidad y permeabilidad.

F.6.3.3 Estudio climatológico

Debe obtenerse información confiable de la zona sobre los siguientes factores climatológicos: temperatura, precipitación y vientos registrados en estaciones climatológicas cercanas al sitio, preferentemente con periodo de 25 años como mínimo.

F.6.3.3.1 Temperatura

Debe obtenerse y analizarse la información correspondiente a la temperatura media mensual, preferentemente durante un periodo de observación de al menos 25 años. En zonas o épocas de temperaturas altas se favorece el proceso de fermentación de los residuos llegando a producir fenómenos de autocombustión y olores desagradables que se deben evitar con el cubrimiento diario, o si es necesario, más de una vez al día.

F.6.3.3.2 Precipitación

Debe determinarse la precipitación mensual media, la precipitación media diaria, correspondiente al mes más lluvioso registrado en todo el periodo de observación y la intensidad de lluvia máxima horaria media, a partir de registros que abarquen un periodo de 25 años como mínimo.

F.6.3.3.3 Vientos

Debe determinarse la dirección media de los vientos reinantes, la dirección media de los vientos dominantes y su posible variación en las diferentes épocas del año, de manera que se construyan defensas que eviten la acción intensa de los vientos sobre los materiales.

F.6.3.4 Estudio geológico

Se requieren estudios geológicos regionales y locales para evaluar las condiciones del sitio destinado para la disposición final de los residuos sólidos. Deben cumplir con las siguientes características:

1. Estudios geológicos regional y local para **los niveles alto y medio alto del sistema de complejidad**. Determinar el marco geológico regional y local con el fin de identificar las diferentes unidades litológicas, su geometría, distribución e identificación de discontinuidades, tales como fallas y fracturas; e identificar posibles fenómenos de inestabilidad de laderas.

F.6.3.5 Estudios hidrogeológicos

Los niveles alto y medio alto del sistema de complejidad deben considerar los siguientes aspectos en el estudio hidrogeológico:

1. Establecer la ubicación y distribución de todos los cuerpos de agua subterránea superficiales (no confinados) y profundos (confinados), a escala regional y local.
2. Identificar las unidades hidrogeológicas, extensión y geometría, tipo de acuífero (libre, confinado, semiconfinado) y relación entre las diferentes unidades hidrogeológicas que definen el sistema acuífero de la zona.
3. Determinar los valores de la conductividad hidráulica, carga hidráulica, porosidad efectiva en partículas del sistema de flujo y posición del nivel freático, con los cuales se definirá la dirección y velocidad del agua subterránea. Se debe analizar la composición físicoquímica del agua subterránea con el fin de calcular los niveles de fondo de la calidad del agua.

F.6.3.6 Generación de lixiviados

Debe aplicarse un modelo matemático para conocer de manera confiable la cantidad de lixiviados a generarse en el relleno sanitario, tanto en la operación como en el cerramiento a 20 años.

Para determinar la generación de lixiviados, debe tomarse en cuenta los factores climatológicos, así como las características de los residuos, las características del material de cobertura, las características de la

operación, las características del cerramiento final y el mantenimiento a largo plazo de éste. Debe hacerse un análisis de escenarios de trabajo para las diferentes características mencionadas, incluyendo operaciones adecuadas e inadecuadas del sistema.

De manera específica debe tenerse en cuenta las infiltraciones de aguas lluvias, de escorrentía y de nivel freático al relleno. El modelo a utilizar para la generación de lixiviados debe igualmente considerar la generación de éstos por efectos de la descomposición de la fracción orgánica de los residuos en el relleno. Deben igualmente verificarse las capacidades de drenaje del sistema para garantizar que el lixiviado producido se pueda evacuar.

F.6.4 PARÁMETROS DE DISEÑO

F.6.4.1 Selección del método a utilizar

La selección del método a utilizar para la operación del relleno sanitario debe realizarse con base en las condiciones topográficas, geotécnicas y geohidrológicas del sitio seleccionado para la disposición final de los residuos. Debe establecerse el perfil estratigráfico del suelo y el nivel de acuíferos freáticos permanentes y transitorios.

F.6.4.1.1 Método de zanja o trinchera

Este método debe utilizarse en regiones planas. La tierra que se extrae debe colocarse a un lado de la zanja para utilizarla como material de cobertura.

F.6.4.1.2 Método de área

Este método debe utilizarse en áreas relativamente planas, donde no es factible excavar trincheras para enterrar los residuos sólidos. Estas pueden depositarse directamente sobre el suelo original, en cuyo caso el material de cobertura deberá ser importado de otros sitios o, si es posible, puede ser extraído de la capa superficial.

Este método también se adapta para rellenar depresiones naturales o artificiales. El material de cobertura se excava de las laderas del terreno, procurando que sea lo más cerca posible para evitar sobrecostos en el transporte.

F.6.4.1.3 Método de rampa

El método debe utilizarse en terrenos de pendiente moderada. Puede planearse de manera que se formen escalones, haciendo pequeñas excavaciones para obtener el material de cubierta.

F.6.4.1.4 Método combinado

Los métodos de área y trinchera, por poseer técnicas similares de operación, pueden combinarse para obtener un mejor aprovechamiento del terreno del material de cobertura y rendimientos en la operación. Si las condiciones topográficas lo permiten se pueden combinar los métodos.

F.6.4.2 Trama vial

Para el diseño de la trama vial debe tenerse presente el uso definitivo del área rellenada. En el trazado debe tenerse presente la secuencia del relleno y la tecnología a implementar de acuerdo con las condiciones climáticas, con el fin de minimizar las inversiones.

F.6.4.2.1 Trama vial para los niveles medio y bajo de complejidad

Al relleno sanitario debe llegarse por una vía pública de acceso, la cual debe ser una vía principal de uso permanente y debe reunir las condiciones aceptables de diseño.

F.6.4.2.2 Trama vial para los **niveles alto y medio alto de complejidad**

1. Interna

En el trazado de las vías internas debe tenerse en cuenta las dimensiones de las celdas, submódulos y módulos; la metodología operativa y las condiciones climáticas, de manera que bajo cualquier condición deben recibirse los residuos.

Las vías internas deben cumplir como mínimo con las especificaciones siguientes:

- a) Deben permitir la doble circulación de los vehículos recolectores o de transferencia hasta el frente de trabajo del relleno sanitario.
- b) Deben ser temporales y no pueden presentar pendientes mayores de 5%.
- c) Deben tener los radios de giro adecuados.
- d) Deben tener instalaciones de energía eléctrica que satisfagan las necesidades de iluminación en las señalizaciones exteriores e interiores.
- e) La red de circulación interna de ingreso y egreso de vehículos debe diseñarse para circular en un solo sentido, colocando la demarcación vertical portátil necesaria para las distintas etapas del relleno.

2. Externa

Las vías externas deben cumplir como mínimo con las siguientes especificaciones:

- a) El acceso al relleno sanitario debe ser por una vía pública.
- b) Deben ser de trazado permanente.
- c) Deben garantizar el tránsito en cualquier época del año, a todo tipo de vehículos que acudan al relleno sanitario.

F.6.4.3 Sistema de impermeabilización

Todo relleno sanitario debe tener un sistema de impermeabilización en el fondo.

La impermeabilización para los **niveles medio y bajo de complejidad del sistema** debe estar conformado por una capa de arcilla. Para los **niveles alto y medio alto**, el sistema de impermeabilización debe constar de una capa de arcilla y de una geomembrana. Si en los niveles medio y bajo de complejidad por razones topográficas y/o geotécnicas la capa de arcilla no garantiza el aislamiento del relleno sanitario del subsuelo la impermeabilización debe estar constituida tanto por la capa de arcilla como de la geomembrana.

Los mínimos requisitos que deben cumplir los elementos constitutivos del sistema de impermeabilización son los siguientes:

1. Capas de arcilla. Construidas de materiales de suelos naturales, aunque la capa puede contener materiales procesados como bentonita o materiales sintéticos. Esta capa debe tener un espesor mínimo de 1 m.
 - a) Requisitos de compactación y permeabilidad. Debe lograrse una masa homogénea con una conductividad hidráulica menor o igual a 1×10^{-7} cm/s, compactando el suelo con un contenido de humedad de 2% a 3% por encima de la humedad óptima y con un alto nivel de energía de compactación.
 - b) Materiales. Los siguientes son los requisitos mínimos para lograr la conductividad hidráulica requerida:
 - % finos $\geq 20\%$ - 30%
 - Índice de plasticidad $\geq 20\%$
 - Porcentaje de suelo grueso $\leq 30\%$

- Tamaño máximo de partícula = 25 mm a 50 mm
Si la capa de suelo no logra la permeabilidad requerida, se pueden utilizar aditivos como bentonita, caolinita, etc. No se recomienda utilizar aditivos con altos índices de plasticidad ($I_p > 30-40\%$), por la dificultad que presentan en el trabajo en campo.
- a) Construcción
- Procesamiento
Para que la hidratación o deshidratación del suelo sea uniforme se requiere de 1 a 3 días. Cuando se utilizan aditivos como la bentonita, deben mezclarse los componentes extendiendo una capa de suelo de espesor de 0.20 m a 0.30 m; y sobre ésta se coloca el aditivo para mezclar los materiales.
 - Preparación de la superficie
La superficie de la capa compactada debe ser áspera; de lo contrario, debe ser escarificada 2 cm a 3 cm con un disco o cualquier aparato disponible.
Colocación del suelo: Si se utilizan estacas para controlar el espesor de la capa de suelo, una vez removidas las estacas deben sellarse las perforaciones. Después de colocado el suelo, debe añadirse una pequeña cantidad de agua para compensar la pérdida por evaporación.
 - Compactación
Se recomiendan las siguientes especificaciones para el equipo de compactación:
Peso mínimo = 1800 kg
Longitud mínima del pie = 180 mm a 200 mm
Número mínimo de pasadas = 5; del compactador aprobado y verificado para obtener la densificación de la referencia.
Una pasada corresponde a una pasada completa del compactador sobre toda el área (parte frontal y parte posterior de los tambores).
 - Protección
Para evitar la desecación del suelo después del proceso de compactación, se recomienda:
Cubrir la capa compactada temporalmente con plástico, cuidando que no se caliente excesivamente y seque la arcilla.
La superficie puede ser allanada con rodillo para formar una capa relativamente impermeable en la superficie.
Humedecer periódicamente el suelo.
Las anteriores recomendaciones deben aplicarse a cada sección de capa compactada y a la última capa terminada.
 - Pruebas de control de calidad
Para controlar la calidad de la construcción de la capa, debe verificarse que los materiales de construcción son los adecuados y se deben realizar pruebas y observaciones para verificar que el proceso de compactación es adecuado.
- d) Contenido de humedad y peso unitario seco. Para establecer el contenido de humedad óptimo y el peso unitario seco máximo se recomienda compactar el suelo con energías de compactación, representadas por la energía promedio y alta de compactación. Se recomienda utilizar el ensayo de Proctor Estándar y Proctor Modificado para las energías promedio y alta, respectivamente. Debe compactarse las capas de suelo hasta lograr como mínimo el 95% de la densidad máxima del Proctor Estándar y el 90% de la densidad máxima del Proctor Modificado.

2. Geomembranas. Los siguientes factores deben ser considerados en el diseño e instalación de la geomembrana:

- a) Propiedades y materiales. Deben tener excelente resistencia química y juntas confiables. El diseñador debe asegurarse que el material seleccionado para la geomembrana cumpla con los requisitos de compatibilidad química entre el lixiviado y la geomembrana en el corto y en el largo plazo, de tal forma que no sufra deterioro en sus características mecánicas por reacciones con el líquido que la inhabiliten para cumplir su función. La selección del material debe tener en cuenta igualmente los esfuerzos residuales que se generan durante el proceso de unión y sellado del material.
- b) Preparación de la subrasante. La superficie del estrato de suelo compactado debe ser plana y fuerte para que proporcione un soporte continuo a la geomembrana. Esta superficie debe estar libre de rocas, raíces y exceso de agua.
- c) Transporte, almacenamiento y colocación de la geomembrana. La geomembrana debe ser transportada en rollos al sitio de trabajo, en su almacenamiento debe evitarse el contacto directo con el terreno y debe ser protegida de la exposición excesiva al polvo, agua y calor.
- d) Pruebas y juntas de la geomembrana. Si las juntas de la geomembrana se llevan a cabo por procesos térmicos, se requieren buenas condiciones climáticas y superficies completamente limpias. La junta debe efectuarse cuando la temperatura ambiente está entre 5 °C y 40 °C y debe existir un buen control del polvo durante el proceso. Debe establecerse un programa de pruebas de juntas para el control de calidad, el cual puede basarse en las normas ASTM D4437-84, D4545-86 y D5820-95.
- e) Seguridad de la calidad en la construcción. Debe establecerse un programa de seguridad de la calidad en la construcción para la instalación de la geomembrana. El programa debe consistir en un sistema planeado de actividades, realizado para asegurar que la construcción sea igual a la que se especifica en el diseño. El programa debe ser desarrollado durante la etapa de diseño del relleno sanitario y debe tener en cuenta los siguientes elementos:
 - Personal calificado. La inspección debe ser realizada por personal con experiencia y conocimiento.
 - Actividades de inspección. El programa debe definir con claridad las pruebas y los criterios de aceptación, especificando la frecuencia de las pruebas a ser realizadas en el suelo compactado y la geomembrana. El inspector debe exigir los resultados de los ensayos de los materiales.
 - Estrategias de muestreo. Las pruebas deben realizarse mediante la estrategia de muestreo estadístico.
- f) Requisitos de diseño de geomembranas. Las geomembranas deben diseñarse teniendo en cuenta los siguientes criterios y el factor de seguridad para las propiedades admisibles deben simular el comportamiento in situ del material.

- Espesor

$$t_{\text{req}} = \frac{p}{\cos\beta} * \frac{x}{\sigma_{\text{adm}}} * (\tan\delta_U + \tan\delta_L) \quad (\text{F.6.3})$$

$$FS = \frac{t_{\text{act}}}{t_{\text{req}}} \quad (\text{F.6.4})$$

- Esfuerzo de subsidencia

$$\sigma_{\text{req}} = \frac{2DL^2p}{3t(D^2 + L^2)} \quad (\text{F.6.5})$$

$$FS = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{req}} \tag{F.6.6}$$

- Esfuerzo de Tensión

$$T_{req} = [(C_{au} - C_{al}) + p \cos \omega (\tan \delta_U - \tan \delta_L)] LW \tag{F.6.7}$$

$$FS = \frac{T_{act}}{T_{req}} \tag{F.6.8}$$

- Anclaje

$$\sigma_{adm} = p * \tan \delta * L_{RO} + 2 * (K_0 * \sigma_{vprom}) * \tan \delta * d_{AT} \tag{F.6.9}$$

FIGURA F.6.1
Diseño del espesor debido al doblamiento

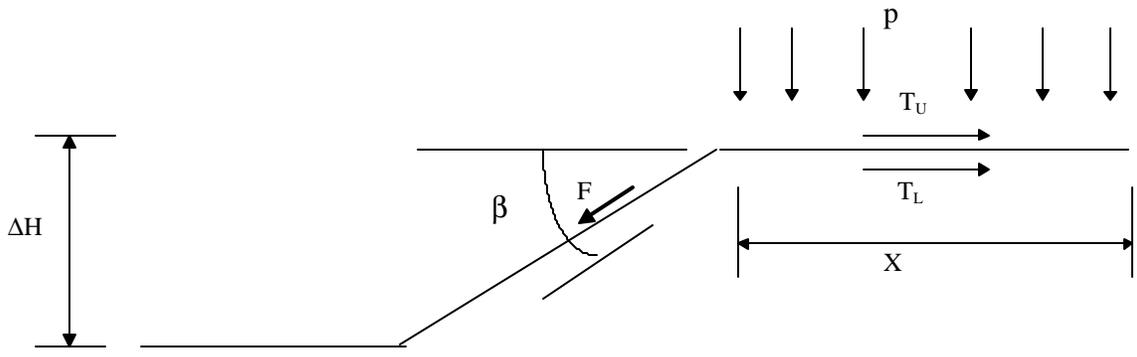


FIGURA F.6.2
Diseño de la resistencia debido a la subsidencia

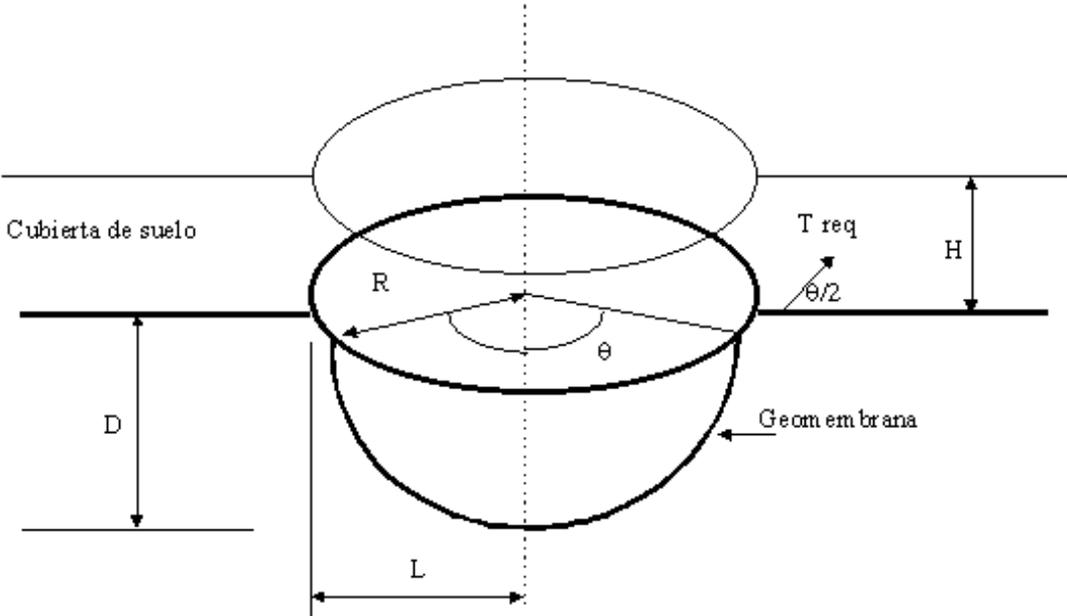


FIGURA F.6.3
Diseño de la resistencia debido al cortante no balanceado

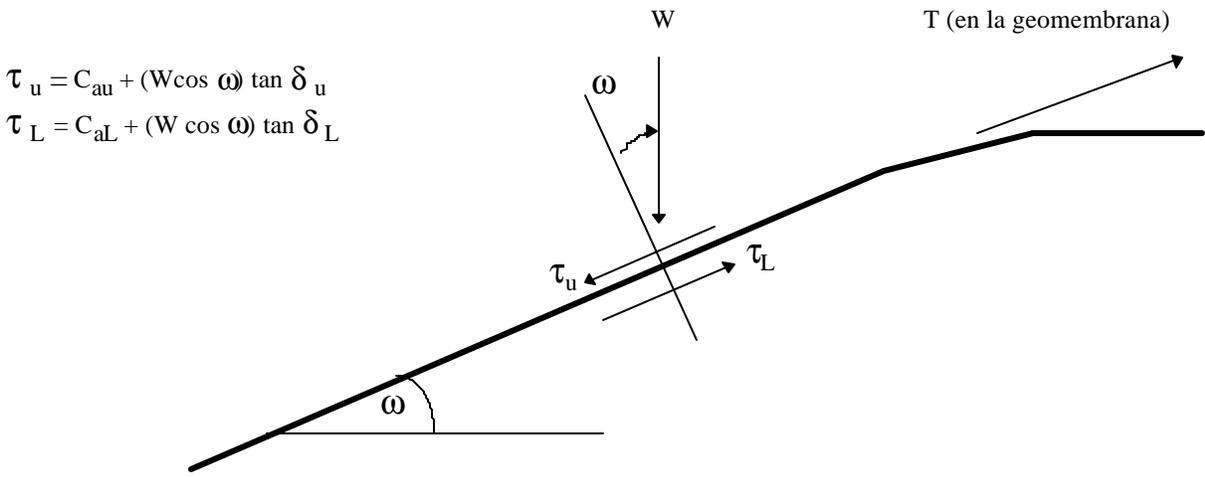
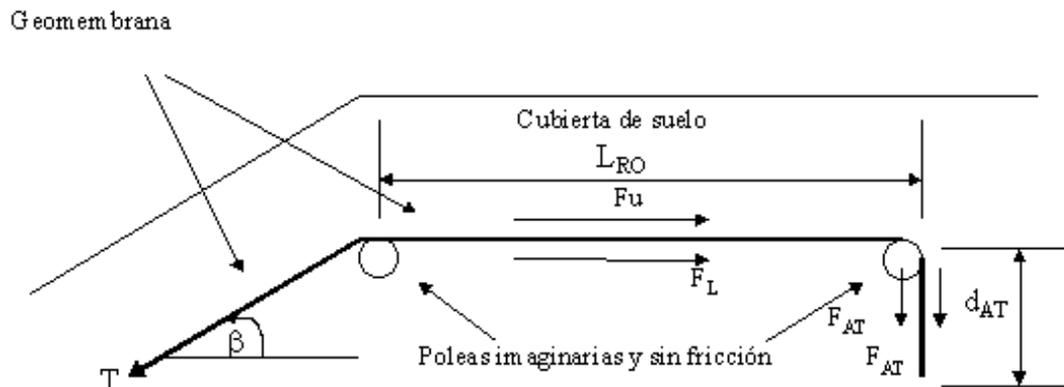


FIGURA F.6.4
Diseño del espesor debido al empotramiento



- Ensayos: Las siguientes propiedades deben verificarse en el diseño de capas de geomembranas. En la tabla F.6.3 se recomiendan las normas ASTM, que pueden consultarse para evaluar las propiedades físicas, mecánicas y resistencia química.

TABLA F.6.3
Normas ASTM para geomembranas

Propiedades	Norma ASTM
FISICAS	
Espesor	ASTM D5199-95
MECANICAS	
Resistencia	ASTM D4885-88
Resistencia al punzonamiento	ASTM D4833-88 ó D 5494-93
Fricción en la interfase entre la geomembrana y otro geosintético o suelo	ASTM D5321-92
Agrietamiento	ASTM D5397-95
RESISTENCIA QUIMICA	
Resistencia a los líquidos	ASTM D5747-95a
Resistencia al lixiviado	EPA Método 9090 ó ASTM D5747-95a

F.6.4.4 Sistemas de drenaje

Todo relleno sanitario debe contar con un sistema de recolección y evacuación de aguas de escorrentía y lixiviados.

F.6.4.4.1 Aguas de escorrentía

El objetivo del sistema de drenaje es interceptar y desviar las aguas lluvias que caen o penetran al predio del relleno hacia el cuerpo receptor más cercano. La absorción debe ser mínima o nula en áreas rellenadas.

1. Drenaje de aguas lluvias para los **niveles medio y bajo de complejidad**. Debe interceptarse y desviarse el escurrimiento del agua lluvia fuera del relleno sanitario mediante la construcción de canales en tierra o suelo cemento de forma trapezoidal y debe ser dimensionado de acuerdo con las condiciones de precipitación local, área tributaria, características del suelo, vegetación y topografía. El canal debe ser trazado por la curva de nivel máximo a que llegará el relleno y debe garantizar una velocidad máxima media de 0.5 m/s.

2. Drenaje de aguas lluvias para los **niveles alto y medio alto de complejidad**. El drenaje de aguas lluvias debe asegurar su permanente evacuación a los cauces naturales, manteniendo una dinámica acorde con las distintas etapas del relleno sanitario.

Las obras de drenaje deben ser permanentes y temporales.

Las obras de drenaje permanentes deben construirse en los límites del relleno para captar el escurrimiento de aguas arriba; los canales deben revestirse con material apropiado. La velocidad del agua dentro de los canales no debe ser menor de 0.30 m/s.

Los canales de las obras de drenaje temporal deben construirse con taludes 3:1 (H:V), rellenos de grava de 5 cm de tamaño máximo para evitar socavaciones.

Los canales permanentes y los temporales son dimensionados de acuerdo con:

- a) Condiciones de precipitación. Para las condiciones de precipitación local deben conocerse los valores máximos anuales de las lluvias para distintas duraciones, entre 5 minutos y 24 horas en una estación representativa de la zona.
- b) Red de escurrimiento natural. Con base en el estudio topográfico y los planos publicados por organismos competentes que contengan las líneas de nivel suficientemente detalladas en relación al tamaño de la cuenca, deben establecerse los parámetros necesarios, como límites, área, forma, pendiente media de la cuenca y longitud del cauce principal.
- c) Coeficiente de escorrentía. Deben estimarse el coeficiente de escorrentía considerando los siguientes factores: topografía, tipo de suelo, tamaño de la cuenca, pendientes y saturación del suelo.

F.6.4.4.2 Lixiviados

El sistema de recolección de lixiviados debe diseñarse teniendo en cuenta el caudal máximo de lixiviado y el de agua de escorrentía.

1. Drenaje de lixiviados para los **niveles bajo y medio de complejidad**. Después de realizar la impermeabilización del fondo y de las paredes laterales, debe construirse un sistema de drenaje en el terreno, que sirva de base al relleno sanitario antes del depósito de las residuos sólidos. También deben construirse drenajes en todas las bases de los taludes interiores y exteriores de las terrazas o niveles que conforman el relleno sanitario.

- a) Construcción del sistema de drenaje. El sistema de drenaje debe ser una red horizontal de zanjas en grava gruesa.

Para la construcción de los drenes, debe realizarse el trazado donde se ubica el drenaje en el terreno, similar al de un sistema de alcantarillado. La pendiente del fondo es del 2%. Deben llenarse las zanjas con piedra de 10 cm a 15 cm, que permitan más espacios libres, y eviten su rápida colmatación. Se recomienda colocar a continuación un material que permita infiltrar los líquidos y retener las partículas finas que lo puedan colmatar.

Cuando ocurran periodos de lluvias fuertes, y la cantidad de lixiviado exceda la capacidad de los drenajes en el interior del relleno, se recomienda prolongar y orientar el sistema de drenaje de las mismas características y conformar por fuera del relleno un campo de infiltración que permita almacenar líquido durante estos días.

En regiones con condiciones extremas de precipitación pluvial, mayor de 3.000 mm/año, donde resulta difícil el manejo debido a la gran cantidad de lixiviado que se puede generar cuando la lluvia cae directamente sobre el área rellena, se recomienda:

- Sobredimensionar el sistema de drenaje a construir en el terreno.
- Construir el relleno de manera que se tengan áreas estrechas de trabajo; es decir, el avance debe hacerse más en altura que en área.

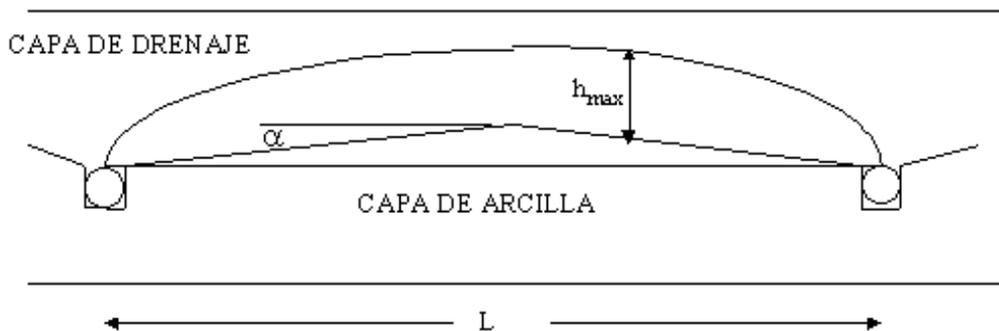
- Introducir en las operaciones de rutina diaria, el cubrimiento de las celdas y áreas terminadas temporalmente, con material plástico, a fin de impedir la infiltración del agua de lluvias a través de las residuos sólidos.
 - Aplicar la cobertura final y de inmediato sembrar grama sobre las áreas terminadas del relleno.
2. Drenaje de lixiviados para los **niveles alto y medio alto de complejidad**. Después de realizarse la impermeabilización debe construirse el sistema de recolección de lixiviados, el cual debe asegurar que se acumule menos de 0.30 m de lixiviado sobre el estrato compuesto de impermeabilización para minimizar la posible contaminación del agua subterránea. Este sistema debe considerar los siguientes componentes:
- Área recolectora. El área recolectora cubre la superficie del área impermeabilizada y recoge el lixiviado. Debe consistir de un estrato de arena de 0.30 m de espesor con una permeabilidad mínima de 10^{-2} cm/s, localizado en el fondo del relleno.
 - Recolectores laterales. Se requieren para mantener la cabeza de 0.30 m; para lo cual los recolectores laterales deben ser tubos perforados, de manera que el lixiviado sea
 - conducido a los sumideros para ser removido del relleno sanitario. La pendiente de los recolectores laterales debe ser mayor de 2% y su espaciamiento es calculado por la siguiente ecuación:

$$h_{\max} = \frac{L\sqrt{c}}{2} \left[\frac{\tan^2 \alpha}{c} + 1 - \frac{\tan \alpha}{c} \sqrt{\tan^2 \alpha + c} \right]$$

(F.6.10)

- Sumideros. Los sumideros deben ubicarse en los puntos bajos del estrato construido para recolectar el lixiviado.

FIGURA F.6.5
Sistema de recolección de lixiviado



- El diseñador está en libertad de usar geotextiles para la retención de finos o no, sin embargo debe asegurar que éstos no se obstruyan ni se atasquen debido a las características incrustantes del lixiviado.
- En caso de que se use suelo de protección sobre la capa de arena drenante, éste suelo debe tener una conductividad hidráulica superior a la de la capa drenante que protege. Bajo ningún motivo se debe utilizar suelo de protección con características limosas o arcillosas.

F.6.4.4.3 Deflexiones en tuberías

Las deflexiones en las tuberías utilizadas por motivo de las presiones internas en el relleno, deben cumplir con los requisitos exigidos en el Título G-Aspectos Complementarios de este reglamento.

F.6.4.4.4 Drenaje de gases

1. Drenaje de gases para los **niveles bajo y medio de complejidad**.

El drenaje de gases debe estar constituido por un sistema de ventilación en piedra o tubería perforada de concreto revestida en piedra, que funcione como chimeneas, las cuales atraviesan en sentido vertical todo el relleno desde el fondo hasta la superficie. Las chimeneas deben estar construidas verticalmente a medida que avanza el relleno, logrando una buena compactación a su alrededor. Se recomienda instalarlas cada 50 m, con un diámetro entre 0.30 y 0.50 m cada una.

Deben interconectarse los drenes, a fin de lograr una mayor eficiencia en el drenaje de líquidos y gases en el relleno sanitario.

Cuando se tenga previsto finalizar la última celda, deben colocarse dos tubos de concreto: el primero, perforado y revestido en piedra para facilitar la captación, salida de gases y evitar la obstrucción de los orificios ya sea por los residuos sólidos o por el material de cobertura. La segunda tubería no es perforada, a fin de coleccionar el gas y quemarlo, eliminando los olores producidos por otros gases.

2. Drenaje de gases para los **niveles alto y medio alto de complejidad**

La eliminación de los gases puede realizarse mediante los siguientes procedimientos:

- a) Para permitir la libre evacuación de los gases de la masa de residuos de cada módulo, deben colocarse chimeneas, mínimo cuatro por hectáreas y no menos de una por módulo. Deben ubicarse en la mayor cota final del módulo relleno y cubierto. Este procedimiento debe realizarse para rellenos tipo área. Para rellenos tipo trinchera, las chimeneas deben ubicarse cada 20 m o 50 m.
- b) Cuando sea necesario evitar que el gas se difunda lateralmente a través del terreno y pueda llegar a zonas cercanas deben interponerse barreras de venteo lateral entre la zona de relleno y aquellas que deben protegerse, estableciendo un sector de mayor permeabilidad que el terreno por donde el gas pueda evacuarse hacia la atmósfera con facilidad, mediante zanjas longitudinales de profundidad igual a la del relleno sanitario, hechas en el terreno natural y ubicadas perimetralmente al relleno. El ancho debe ser de 0.6 m; las zanjas son rellenas con grava, piedra partida o material similar y cubiertas con una capa de tierra de 0.30 m de espesor. Deben colocarse tuberías de 0.15 m de diámetro con orificios laterales, que penetren 1.50 m en la masa de piedra partida y el manto de cobertura; se colocaran cada 20 m y deben sobresalir 2.0 m sobre la superficie del terreno llevando en su extremo superior una pieza en T de 0.15 m de diámetro. En la superficie lateral de la zanja opuesta a la zona del relleno, cuando el coeficiente de permeabilidad es mayor que 10^{-6} cm/s, se colocará una película de polietileno (200-250 micrones).

F.6.4.5 Diseño de celdas

F.6.4.5.1 Dimensionamiento

1. Para el dimensionamiento de las celdas, el ancho debe estar definido por el número de vehículos que llegan simultáneamente o con intervalos de 5 minutos y el largo debe estar definido por la cantidad de residuos sólidos que llega al relleno en un día. Para los niveles medio y bajo de complejidad la altura se debe limitar a 1.5 m. incluido el material de cobertura, si este es manual. Para los niveles alto y medio alto de complejidad la altura máxima de la celda diaria debe ser de 3 m incluidos el espesor de los residuos a disponer y el material de cubierta requerido, pero de todas maneras la altura depende de la estabilidad del sitio..
2. Inclinación. El talud de la celda diaria para los **niveles medio y bajo de complejidad** deben ser 3:1 (H:V). Para los **niveles alto y medio alto de complejidad** la inclinación de la celda diaria requiere del análisis de estabilidad de taludes.

F.6.4.5.2 Compactación

1. Para **los niveles medio y bajo de complejidad**, los residuos sólidos deben ser descargados en el frente de trabajo y esparcidos por los trabajadores sobre el talud de las celdas ya terminadas en capas sucesivas de 0.20 m a 0.30 m y nunca mayor a 0.60 m. Empleando herramientas menores, se nivela la superficie superior y se compacta con el rodillo; las superficies laterales son compactadas por medio de pisones de mano hasta darles uniformidad. El esparcimiento y compactación debe realizarse en capas inclinadas con una pendiente 1:3 (V:H), lo cual proporciona mayor grado de compactación, mejor drenaje superficial, menor consumo de tierra y mejor estabilidad del relleno. La superficie final debe tener una pendiente comprendida entre el 2% y el 3%.
2. En **los niveles alto y medio alto de complejidad** se debe utilizar equipo pesado para realizar las operaciones mencionadas y con un número mínimo de pasadas de 3 a 4 por capa.

F.6.4.5.3 Material de cobertura

1. Cobertura diaria e intermedia

La celda debe cubrirse con una capa de material de espesor mínimo de 0.10 m, esparcida y compactada con rodillo y pisones de mano para los **niveles medio y bajo de complejidad**, y con espesor mínimo de 0.15 a 0.30 m utilizando maquinaria pesada para los **niveles alto y medio alto de complejidad**; siguiendo el mismo procedimiento aplicado a los residuos sólidos. La cobertura debe aplicarse como mínimo una vez por cada día de operación de manera que no quede ningún residuo sólido expuesto. La capa compactada de cobertura debe tener una pendiente comprendida entre el 2% y el 3%, para que una vez producido el asentamiento la misma no sea menor de 1%. Las cubiertas intermedias que sirven de separación a los niveles deben tener espesor mínimo de 0.30 m compactados. Debe evitarse en lo posible el uso de material impermeable entre capas. En caso de que el material a utilizar sea limoso o arcilloso deben hacerse filtros longitudinales pasantes en grava gruesa que conecten un nivel con el siguiente de tal forma que se permita el flujo de lixiviados de forma vertical entre niveles.

F.6.4.6 Suelo de soporte

La adecuación del terreno mejora sus condiciones y facilita las operaciones de ingreso de los residuos sólidos, la construcción de las celdas y las operaciones del relleno sanitario. Por lo anterior deben realizarse las siguientes actividades:

F.6.4.6.1 Limpieza y desmonte

Debe prepararse un área que sirva de base o suelo de soporte al relleno realizando la limpieza y el desmonte. Esta actividad debe hacerse por etapas, de acuerdo con el avance de la obra, para evitar la erosión del terreno.

F.6.4.6.2 Tratamiento del suelo de soporte

Las primeras capas de suelo deben removerse dependiendo de la cantidad de material de cobertura disponible. El movimiento de tierras para la nivelación del suelo de soporte y los cortes de los taludes debe realizarse por etapas; con el fin de que la lluvia no cause erosión ni se pierda material que pueda emplearse como material de cobertura. Las actividades de nivelación, apertura de zanjas, construcción de vías internas, extracción y almacenamiento de material de cobertura deben realizarse con equipo pesado para que sean eficientes.

F.6.4.7 Estabilidad del relleno sanitario

La estabilidad de los taludes que conforman el relleno sanitario debe ser verificada teniendo en cuenta los parámetros que se enuncian en este literal .

F.6.4.7.1 Caracterización de los residuos

El comportamiento mecánico del residuo es caracterizado por los parámetros de fricción Φ_a y cohesión C_a , los cuales deben ser definidos en pruebas de laboratorio o de campo, asumiendo un factor de seguridad mínimo de 1.5.

1. Composición del residuo. El peso unitario del residuo debe calcularse teniendo en cuenta como mínimo los siguientes componentes: compactabilidad, contribución de la cubierta diaria y humedad de absorción del residuo.
2. Resistencia cortante del residuo. El criterio de falla modificado de Coloumb puede emplearse para caracterizar la resistencia cortante del residuo, considerando un ángulo de fricción, Φ_a , y una cohesión, C_a . La determinación de la resistencia en el laboratorio puede estar dada para un nivel de esfuerzo de 15% a 20%.

Deben ensayarse muestras de tamaño representativo de manera que las pruebas no varíen en un rango amplio debido al contenido de suelo.

Si el residuo llega a saturarse con el tiempo en el relleno, las pruebas para estabilidad deben ser basadas en muestras saturadas. Los valores del ángulo de resistencia al corte y la cohesión deben apoyarse en pruebas de laboratorio.

F.6.4.7.2 Cortante a lo largo de las interfaces

La estabilidad será expresada en términos del factor de seguridad contra deslizamiento a lo largo de la interface, de las capas y cubiertas formadas por geomembranas, geotextiles y drenaje usadas en conjunto con materiales térreos. El ángulo de fricción en la interface, δ , depende del tipo de materiales situados en ambos lados de la interface, tipo de resina, textura de la superficie, rigidez del geotextil o la geomembrana, y otros factores relacionados con la colocación en campo y calidad de control.

Debe ensayarse el material para evaluar el ángulo de fricción en la interface.

Si las características de fricción en la interface no son adecuadas para asegurar la estabilidad, la cubierta de suelos puede ser reforzada con geotextiles de alta resistencia.

F.6.4.7.3 Métodos de análisis de estabilidad

La evaluación de la estabilidad del relleno sanitario debe definirse en términos del factor de seguridad, expresado como:

$$FS = \frac{\text{Resistencia disponible en la superficie de falla}}{\text{Fuerzas motoras en la superficie de falla}} \quad (\text{F.6.11})$$

Para evaluar el factor de seguridad pueden utilizarse software para estabilidad de taludes.

El análisis de estabilidad debe involucrar la evaluación de las propiedades del residuo y las propiedades del suelo, los niveles de lixiviado y la determinación del tipo de análisis requerido.

1. El estudio de estabilidad de taludes debe realizar un análisis a largo plazo. **Los niveles alto y medio alto de complejidad del sistema** deben considerar las presiones generadas por el gas.
2. Consideraciones sísmicas. Debe realizarse el análisis de estabilidad de taludes teniendo en cuenta la aceleración máxima presentada en el sitio según las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismoresistente NSR-98.

F.6.4.8 Obras complementarias

F.6.4.8.1 Las siguientes son las obras complementarias que se requieren para **los niveles medio y bajo de complejidad**:

1. Cerco perimetral. Debe construirse una cerca de alambre de púas de 1.50 m de altura, como mínimo. Se debe impedir el libre acceso del ganado al interior del relleno. Es necesaria la conformación de un cerco vivo de árboles que sirva como barrera natural. Se recomienda sembrar árboles de rápido crecimiento.
2. Caseta. Se requiere la construcción de una caseta con una área aproximada de 10 a 15 m². Esta obra se utiliza como portería, lugar para guardar las herramientas y la ropa de los trabajadores, instalaciones sanitarias. Una caseta prefabricada también puede ser adaptada y empleada para estas funciones.
3. Instalaciones Sanitarias. Debe contarse con instalaciones mínimas que aseguren la comodidad y bienestar de los trabajadores.
4. Patio de maniobras. Debe prepararse una zona de aproximadamente 200 m² para que los vehículos recolectores puedan maniobrar y descargar los residuos sólidos en el frente de trabajo.
5. Valla publicitaria. Es necesario colocar un cartel de presentación de la obra en construcción. Debe contener una breve descripción del proyecto y una leyenda cívica.

F.6.4.8.2 Las obras complementarias para **los niveles alto y medio alto de complejidad**:

1. Trama vial circundante. Deben realizarse las modificaciones necesarias que permitan el normal desplazamiento de los vehículos recolectores. Debe iluminarse la trama vial circundante y su señalización puede ser de tipo móvil o fijo, acorde con el uso final, de manera que puedan ser utilizadas durante el periodo de ejecución del relleno y su posterior integración al destino final que se dará al sitio.
2. Cerco perimetral. Debe construirse un cerco perimetral a toda la superficie donde se ejecuta la obra con el fin de controlar el acceso al relleno sanitario. Las características de construcción deben satisfacer las condiciones estéticas del entorno. Se puede utilizar alambre tejido de 1.80 m de altura y colocarse en la parte superior hilos de alambre de púas. Los portones de acceso y egreso pueden tener características de construcción similares.
3. Caseta de vigilancia. A la entrada del relleno sanitario debe instalarse una caseta con un área aproximada de 10 m². Desde este puesto debe controlarse el ingreso de los vehículos y verificarse la calidad del material a descargar. Debe realizarse un registro de entradas y salidas. Las características de construcción de esta instalación deben reunir condiciones estéticas y de confort adecuadas, tanto para el personal que desempeña funciones en ella como para el que debe ingresar para descargar materiales.
4. Estación de pesaje. Debe ubicarse de tal manera que permita realizar las funciones eficientemente durante toda la operación del relleno. Las dimensiones de la caseta de pesaje debe tener como mínimo 10 m². Debe tener una superficie de dimensiones suficientes y una capacidad acorde para dar servicios a la unidad recolectora o de transferencia de mayor volumen de carga. Debe preverse una zona de espera para pesaje, ubicada dentro del cerco perimetral, ante las eventuales demoras que puedan producirse en la estación de pesaje por arribos simultáneos de vehículos recolectores que deben estacionarse ordenadamente. Deben instalarse dos básculas que puedan funcionar simultánea o alternadamente.
5. Almacén y oficinas. Debe construirse un almacén para guardar equipo, herramientas y materiales; su tamaño depende del equipo que se disponga. El frente debe tener un patio de maniobras lo suficientemente grande para poder recibir los vehículos que descargarán los materiales, y contar con un área adicional destinada para el mantenimiento y limpieza de los equipos. Igualmente debe disponerse de un espacio para oficinas con instalaciones sanitarias y elementos necesarios para desarrollar las actividades con eficiencia.

6. Área de emergencia. Esta área debe destinarse para la recepción de los residuos municipales, cuando las condiciones climatológicas no permita, la operación en el frente de trabajo. Debe contar con lonas plásticas para cubrir los residuos. Su capacidad debe ser suficiente para operar de manera ininterrumpida durante 3 meses. El terreno del área de emergencia debe estar impermeabilizado y en su protección debe realizarse, por lo menos, obras de drenaje pluvial temporal.
7. Área de Amortiguamiento. Debe construirse una franja perimetral forestada con especies vegetales de talla y follaje suficiente para reducir la salida de polvos, ruidos y materiales ligeros durante la operación.
8. Servicios de obra. Deben resolverse las necesidades de provisión de servicios públicos, tarea que debe compatibilizarse con el uso futuro del sitio.
9. Valla publicitaria. Es necesario colocar un cartel de presentación de la obra en construcción. Este cartel debe contener una breve descripción del proyecto y una leyenda cívica.

F.6.4.9 Cierre y uso final del sitio

Los siguientes componentes deben ser considerados en el cierre del relleno sanitario o de un sector parcial:

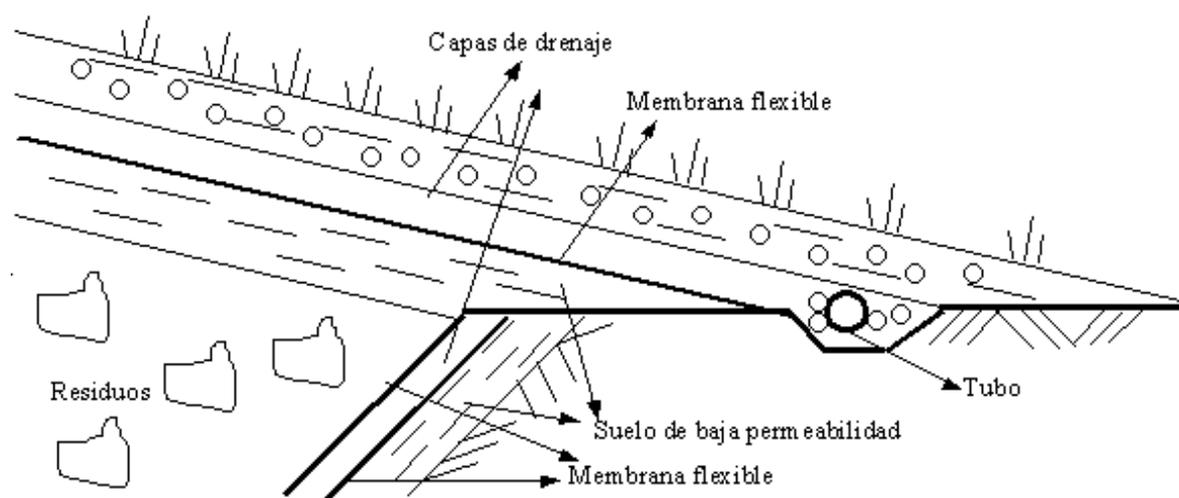
F.6.4.9.1 Cobertura final

El sistema de cubierta debe ser diseñado y construido de acuerdo con los siguientes parámetros:

- a) Debe minimizar la infiltración y percolación de líquidos al relleno sanitario durante todo el periodo de posclausura.
 - b) Debe aislar del medio ambiente los residuos sólidos rellenos.
 - c) Debe conducir el agua de escorrentía de manera que no desarrolle cárcavas debidas a la erosión.
 - d) Debe evitar la salida de gases tóxicos en caso de que se dispongan sustancias volátiles peligrosas en el relleno sanitario.
 - e) La construcción del sistema de cubierta debe tener en cuenta el asentamiento inicial, y debe mantener la integridad de la capa impermeable durante los periodos de clausura y posclausura.
 - f) Puede colocarse una cubierta temporal que minimice la infiltración en el relleno sanitario para que el sistema de recolección de lixiviados opere apropiadamente. Su espesor mínimo debe ser de 0.30 m. Deben emplearse métodos para prevenir la erosión y la exposición del residuo.
1. Perfil de la cobertura. El perfil mínimo de cubierta requerido debe constar de una capa de control de infiltración para **los niveles medio y bajo de complejidad**. El **nivel medio alto**, debe conformar la cobertura con las capa de control de infiltración y de erosión. Para el **nivel alto de complejidad**, el perfil de cobertura debe contener la capa de control de infiltración, la capa de control de erosión, sistema de recolección de gas y una capa de drenaje.
 - a) Capa o barrera de control de infiltración. Si la impermeabilización del relleno sanitario está constituida por el suelo natural (in situ), la capa de control de infiltración debe consistir de un estrato de suelo compactado de un espesor mínimo de 0.45 m y una permeabilidad máxima de 1×10^{-5} cm/s. Si en el diseño de la impermeabilización del relleno sanitario se utiliza un sistema de estrato compuesto, debe instalarse una geomembrana sobre el estrato de suelo compactado. Se puede aprobar la utilización de un sistema alternativo con infiltración equivalente o menor que el sistema descrito. El material de la geomembrana usado para la cobertura final debe ser de larga duración y debe tolerar deformaciones inducidas por la subsidencia.
 - b) Capa de control de erosión. El espesor mínimo requerido de la capa de erosión es de 0.15 m. El espesor de esta capa debe ser evaluado usando un análisis de balance hídrico y debe proporcionar la humedad disponible para las plantas durante periodos prolongados de sequía. Las pendientes requeridas serán menores que 4:1 (H:V). La erosión hídrica puede ser controlada también por endurecimiento de la superficie de la cubierta mediante riprap.

- c) Capa de drenaje. Debe localizarse en algunas partes del sistema de cubierta con pendientes mayores que la relación 5:1 (H:V). Esta capa debe retener la humedad que se infiltra de la capa de control de erosión y que se acumula sobre la capa de infiltración, evitando el deslizamiento de la capa de control de erosión por presiones excesivas de poros. El material de esta capa debe ser un agregado limpio de tamaño uniforme y debe cumplir con los siguientes requisitos: $D_{85} < 4D_{15}$ y $D_{2} < 0.25$ cm. Esta capa debe diseñarse y construirse de manera que la descarga del flujo vaya en dirección lateral, para minimizar la cabeza hidrostática en la capa permeable y establecer un recorrido de los líquidos infiltrados para salir del sistema de cubierta. Los tubos de drenaje necesarios para controlar la cabeza hidrostática deben localizarse dentro de la capa de drenaje e instalarse a una distancia que asegure que la cabeza hidrostática sobre la capa impermeable no exceda el espesor de la capa de drenaje durante una tormenta de 24 horas en 25 años. Una grava gruesa debe rodear al tubo de drenaje para minimizar el movimiento de partículas de suelo dentro de la tubería.

FIGURA F.6.6
Capa de drenaje



- d) Sistema de recolección de gas. En el sistema de venteo de gas pueden utilizarse pozos verticales de gravas, colchones recolectores, drenes de grava en trinchera para recolectar los gases del relleno. Los gases deben ser dirigidos a la cubierta a través de tubos de venteo. Esta capa debe localizarse directamente bajo el estrato impermeable y sobre el residuo compactado.
2. Estabilidad de la pendiente de la cubierta. La pendiente de la cubierta del relleno debe ser estable para mantener la infiltración y la escorrentía de una tormenta de 24 horas en 25 años. Para pendientes mayores de 5:1 (H:V), debe asegurarse que el estrato de drenaje constituya parte de la cobertura final, también debe asegurarse que la fricción en la interfase de los estratos adyacentes que forman la cubierta sea suficiente para prevenir la falla por deslizamiento. Deben realizarse pruebas de fricción en la interface para determinar una pendiente máxima aceptable para la cubierta del relleno, la cual corresponde a la mínima pendiente obtenida durante las pruebas.

La pendiente final mínima de la cubierta después de que hayan ocurrido los asentamientos y la subsidencia debe ser de 3%.

F.6.4.9.2 Efectos de subsidencia

La subsidencia local en el relleno sanitario puede producir depresiones en la cubierta, las cuales pueden ocasionar excesivas deformaciones de tensión en los estratos de la cubierta y conducir al almacenamiento de agua. Este impacto puede ser minimizado usando una geomembrana con características de alta

resistencia a deformaciones biaxiales. Debe evitarse el almacenamiento de agua para que no cause la destrucción de la vegetación ni la expansión del agua en la cubierta.

F.6.4.9.3 Efectos climáticos

La cubierta debe ser capaz de resistir condiciones climáticas extremas y debe permanecer en constante funcionamiento con un mínimo de mantenimiento.

F.6.4.9.4 Cuidados después del cierre del relleno sanitario

Después de cerrar el relleno e instalar la cubierta final, se debe realizar el monitoreo y el mantenimiento para asegurar que el relleno permanezca seguro y estable. Los cuidados de posclausura y monitoreo deben realizarse durante el tiempo en el cual se garantice la estabilidad de los residuos. Debe prepararse un plan de mantenimiento de posclausura y monitoreo, el cual debe incluir:

1. Fechas de iniciación y terminación del periodo de posclausura.
2. Descripción del plan de monitoreo.
3. Descripción del programa de mantenimiento
4. Personal del relleno en caso de emergencias.
5. Descripción del uso final del sitio.

Las actividades de mantenimiento de posclausura deben incluir las siguientes actividades:

1. Mantenimiento de la integridad de la cobertura y control de erosión. El control de erosión incluye mantenimiento rutinario de la vegetación, reparación de los efectos de la subsidencia, control de aguas de infiltración y de escorrentía.
2. Monitoreo de la producción de lixiviados. Deben tenerse registros semanales de medición de caudales. Disminuciones excesivas de los caudales de lixiviado con respecto a la tendencia observada deben investigarse cuidadosamente para determinar su causa. En caso de obedecer a una obstrucción del sistema de drenaje debe tomarse las acciones necesarias para evitar la acumulación de líquidos dentro del relleno. El programa de monitoreo y control de biogas y lixiviados debe extenderse hasta un periodo en el cual se garantice que los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario se han estabilizado, asegurando que todos los contaminantes generados en este tiempo son controlados.
3. Inspección del sistema de venteo de gas y reparación inmediata en caso de daños.
4. Monitoreo de aguas subterráneas. Debe constituirse en una rutina básica.

El cierre del relleno sanitario al final su vida útil, debe diseñarse tomando en cuenta su conformación final, estabilidad de taludes, mantenimiento, monitoreo y control de contaminantes, así como su uso último.

La forma final a dar a los residuos sólidos depositados en el relleno sanitario debe contemplar las restricciones relacionadas con el uso último que se dará al sitio, estabilidad de taludes, límites del predio, características de la cubierta final y drenajes superficiales.

El diseño de cierre del relleno sanitario debe incluir el uso final del sitio, es decir, el aprovechamiento del sitio una vez concluida su vida útil. Dicho diseño debe estar acorde con el uso del suelo permitido.

F.6.5 CONTROL AMBIENTAL

Debe instrumentarse un programa de monitoreo ambiental, el cual debe incluir medición y control de los impactos generados en el sitio de disposición final. El cumplimiento de este programa asegura la adecuada operación del relleno sanitario.

F.6.5.1 Contaminación de aguas superficiales y subterráneas

Debe establecerse un programa de monitoreo de la calidad hídrica, el cual debe considerar los siguientes aspectos:

1. Calidad de los recursos hídricos del entorno y del área del relleno, antes del inicio de los trabajos.
2. Estudios hidrogeológicos
3. Diseño de la red de monitoreo de las aguas subterráneas
4. Estaciones de muestreo en los cursos de agua superficiales aledañas.
5. Determinación de la frecuencia del muestreo.
6. Determinación de la técnica de toma de muestras y control de calidad.
7. Determinación de los parámetros por analizar.
8. Control del líquido percolado: Composición y cantidad.
9. Recopilación y análisis estadístico de los datos obtenidos.

Deben tomarse muestras de agua superficial de canales, acumulada en depresiones del terreno natural, a las cuales deben realizarse los análisis físicos, químicos y bacteriológicos para determinar sus características.

El procedimiento para realizar el monitoreo de aguas subterráneas y superficiales debe estar basado según la Guía Técnica GTC 30 y las Normas Técnicas NTC-ISO 5667-6 y NTC-ISO 5667-11, del Instituto Técnico Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC.

Las especificaciones técnicas para la construcción de los pozos de monitoreo para aguas subterráneas están dadas por la Norma Técnica Colombiana NTC 3948.

Los parámetros por determinar y su frecuencia de muestreo en el programa de monitoreo de acuíferos aparecen en la tabla F.6.4.

TABLA F.6.4

Parámetros y frecuencia de muestreo del monitoreo de acuíferos

Parámetros	Frecuencia
pH	SEMESTRAL
Conductividad eléctrica	SEMESTRAL
Oxígeno Disuelto	SEMESTRAL
Metales Pesados	SEMESTRAL
DQO , DBO	SEMESTRAL
Materia Orgánica	SEMESTRAL
Amoníaco	SEMESTRAL
Nitritos	SEMESTRAL
Nitratos	SEMESTRAL

F.6.5.2 Monitoreo de biogas

Los parámetros por determinar y su frecuencia de muestreo en el programa de monitoreo de biogas aparecen en la tabla F.6.5.

TABLA F.6.5
Parámetros y frecuencia del monitoreo de biogas

Parámetros	Frecuencia
Composición de biogas: CH ₄ , CO ₂ , O ₂	BIMESTRAL
Explosividad	BIMESTRAL
Caudal	MENSUAL

F.6.5.3 Monitoreo de Partículas aerotransportables

El programa de monitoreo de las partículas aerotransportables debe tomar en cuenta las siguientes especificaciones que aparecen en la tabla F.6.6.

TABLA F.6.6
Parámetros y frecuencia de muestreo de partículas aerotransportables

Parámetros	Frecuencia
Partículas suspendidas totales	MENSUAL
Partículas respirables	MENSUAL

F.6.5.4 Análisis del monitoreo

La información obtenida a partir del monitoreo de los impactantes ambientales generados en el relleno sanitario, debe almacenarse en un banco de datos para analizarla y tomar las medidas adecuadas para el control de dichos impactantes.

F.6.6 OPERACIÓN DEL RELLENO SANITARIO

Los siguientes requisitos son necesarios para asegurar la protección de la salud humana y del ambiente:

F.6.6.1 Acceso

El acceso al relleno sanitario debe estar indicado y enunciado con carteles diagramados, las barreras y casillas de control de ingreso y vigilancia.

F.6.6.2 Frente de trabajo

La operatividad del frente de trabajo debe ser continua en cualquier época del año. En los casos de operación nocturna el frente deber estar iluminado en su totalidad.

F.6.6.3 Restricción e identificación de residuos

F.6.6.3.1 Exclusión de residuos peligrosos y líquidos

Los residuos peligrosos deben ser excluidos del relleno sanitario de residuos sólidos municipales para proteger las aguas subterráneas de la contaminación, incompatibilidad con otros materiales del relleno y por constituir un impacto negativo a la tratabilidad del lixiviado. La gestión y el manejo de dichos residuos deben hacerse de acuerdo a los especificado en el capítulo F.7 del presente título. Los siguientes métodos pueden ser empleados para excluir los residuos peligrosos del relleno sanitario :

1. Inspecciones aleatorias. Puede realizarse una inspección simple en la que el operador lleva a cabo una inspección visual de los residuos contenidos en el vehículo recolector. Si alguno de los materiales no son aceptados, por ser residuos peligrosos o por ser un residuo no conocido que constituye un nivel de riesgo, deben ser rechazados y manejados con las técnicas apropiadas.

2. Control en la fuente. Si se realiza las inspecciones en la fuente, los residuos recibidos provendrán sólo de las fuentes permitidas; de esta manera pueden identificarse las características de los residuos antes de ser dispuestos en el sitio. Este método se recomienda para **los niveles alto, medio alto y medio de complejidad**.

F.6.6.3.2 Separación de residuos peligrosos

Si se considera que algún residuo no debe aceptarse, el operador puede rechazarlo hasta que se determine que es apto para su disposición en el relleno sanitario; de lo contrario, el operador es responsable si se realiza la disposición. El almacenamiento temporal de los residuos no aceptados puede hacerse hasta por 90 días y deben ser marcados como residuos peligrosos, restringiendo el área en que se hallan sólo para personal autorizado.

F.6.6.3.3 Notificación y observación del registro

Si se encuentran residuos que son rechazados, ya sea en el sitio o durante las inspecciones, el operador debe registrar toda la información y notificarla a la entidad encargada. Este registro debe incluir fecha y hora en que el registro fue recibido, nombre y firma del conductor, fuente del residuo y observaciones y resultados de la inspección.

F.6.6.4 Compactación de los residuos

F.6.6.4.1 Niveles medio y bajo de complejidad del sistema

Los residuos sólidos deben ser descargados en el frente de trabajo, y deben esparcirlas sobre el talud de las celdas ya terminadas en capas sucesivas empleando herramienta menor. La superficie superior debe nivelarse y compactarse con rodillo. Las superficies laterales deben compactarse con pisones de mano.

F.6.6.4.2 Niveles alto y medio alto de complejidad del sistema

Para lograr una mejor compactación se recomienda descargar los residuos sólidos en la celda y comenzar la compactación en forma uniforme para evitar la construcción de rampas para el desplazamiento de la maquinaria. Igualmente, trabajar en pendiente con el fin de lograr una compactación adecuada. La compactación debe efectuarse con capas máximas de 30 cm de espesor y con un número mínimo de pasadas de 3 a 4 por capa. La pendiente debe ser 3:1 (H:V) para máquina de cadenas y 4:1 (H:V) para equipo compactador.

F.6.6.5 Material de cubierta diaria

Este material debe colocarse diariamente sobre los residuos para controlar vectores, pájaros y olores; evitar el contacto del agua lluvia con los residuos, el efecto visual de los residuos descubiertos, la dispersión por efecto del viento de los elementos livianos y crear una barrera cortafuego que evite que se extienda por todo el relleno. Este material se coloca después de la compactación de los residuos y debe cumplir con los requisitos enunciados en el literal F.1.3.5., diseño de celdas.

F.6.6.6 Control del agua de infiltración y de escorrentía

F.6.6.6.1 Control del agua de infiltración

Debe prevenirse el flujo de agua que corre hacia el relleno y evitarse los problemas de erosión que puedan presentarse. Para cumplir con este requisito se requiere un sistema de control, del cual se debe determinar el tamaño de las cunetas y alcantarillas.

F.6.6.6.2 Control del agua de escorrentía

Debe prevenirse el escape de contaminantes y evitar la erosión del sistema de cubierta, mediante canales perimetrales, bermas o canales de sedimentación.

1. Canales perimetrales. Deben ubicarse gradiente arriba del relleno sanitario para evitar que el agua de escorrentía entre a la unidad, y gradiente abajo para recoger el agua de escorrentía de las partes cubiertas del relleno.
2. Bermas. Pueden utilizarse bermas temporales dentro del relleno para controlar el agua de escorrentía. Las bermas pueden estar construidas en tierra con alturas de 0.30 m o 0.60 m
3. Cuencas de sedimentación. Esta área debe almacenar el agua permitir la sedimentación. La cuenca debe dragarse periódicamente para remover sedimentos y evitar el crecimiento de plantas acuáticas.

F.6.6.7 Tratamiento de lixiviados

Todo el líquido contaminante generado en el relleno sanitario debe tratarse antes de ser vertido en un cuerpo de agua, superficial o subterráneo, utilizando procesos de reconocida viabilidad técnica.

En el proceso de tratamiento deben tenerse en cuenta explícitamente los siguientes aspectos:

1. Toxicidad a microorganismos en caso de usarse procesos biológicos de tratamiento.
2. Formación de precipitados en tuberías, canales, válvulas, bombas, tanques, y en general en toda la obra. Debe preverse la operación considerando que se van a formar dichas incrustaciones. Debe considerarse la posibilidad de remover los iones incrustantes.
3. Formación de espumas. Se debe prever la forma de operación y el rendimiento para que aun en el caso de que su formen se garantice el cumplimiento de calidad en el efluente.
4. Variabilidad de las características del lixiviado en el tiempo. Deben preverse que las características físico-químicas y biológicas del lixiviado cambian extremadamente durante la vida útil de la planta. Se debe prever la flexibilidad de operación y rendimiento para todo el período de diseño y cerramiento del relleno sanitario.
5. El proceso debe cumplir con las calidades del agua al verter de tal forma que se garanticen los usos del agua, en el cuerpo receptor, que han sido asignados para éste. Las normas de calidad para el cuerpo receptor de acuerdo a los usos, serán las estipuladas por el decreto 1594 de 1984 reglamentario de la Ley 9ª en cuanto a usos del agua y residuos líquidos o aquel que lo modifique o sustituya.

F.6.6.8 Instrumentación

En el **nivel alto de complejidad del sistema**, los rellenos sanitarios deben ser instrumentados con piezómetros, inclinómetros y construcción de una malla topográfica, para medir presiones de poros y deformaciones. Su número y localización debe ser determinado por la interventoría.

F.6.7 EJECUCIÓN DE LA OBRA

F.6.7.1.1 Cronograma de obra

Debe elaborarse un programa de ejecución de la obra que contenga disgregadas todas las actividades, para permitir una rápida y permanente actualización durante la construcción.

Deben establecerse con toda precisión las precedencias inmediatas para cada una de las actividades que se enuncian y el comienzo y la terminación de cada una de ellas debe limitarse por acontecimientos perfectamente identificables en obra, para permitir la adecuación de los distintos tiempos de la programación durante el desarrollo de la obra.

Es conveniente dividir la obra según la secuencia de relleno y determinar su secuencia de construcción. Para cada unidad establecida debe fijarse el orden de trabajo en cada una de las celdas, las necesidades de avance de la infraestructura operativa, la preparación de las superficies portantes, los periodos de relleno, la construcción de los mantos de cobertura definitiva y la evolución del sistema de drenajes. Debe existir un periodo de avance en la preparación de los módulos para prevenir contingencias y asegurar la continuidad

del servicio de disposición final. Se recomienda mantener módulos preparados para recepcionar materiales equivalentes a 6 meses de operación.

F.6.7.1.2 Metodología operativa

Debe realizarse en forma simultánea con el cronograma. Debe contener las indicaciones de la ejecución de todas las actividades enunciadas, detallando los distintos elementos que la componen, materiales, equipos a ser empleados y forma de construcción. Si se utilizan materiales provenientes del interior del terreno que va a rellenarse debe indicarse la metodología de extracción, acopio y transporte.

Deben detallarse todos los aspectos de la operación de recepción y procesamiento de los residuos sólidos. desde cuando el vehículo de transporte ingresa al centro de disposición y registra su peso hasta cuando de descarga y el equipo del frente de operaciones arrastra y distribuye los residuos y se realiza la compactación. Durante la colocación de la cobertura debe especificarse el origen del material, el equipo a ser empleado y los acopios a utilizar.

También debe incluir la determinación del personal empleado en las tareas de ejecución y supervisión en los distintos horarios en que se habilitará el centro de disposición.

F.6.7.1.3 Plan de trabajo

Con la metodología operativa y el cronograma de obra debe elaborarse un plan de trabajo. Este plan debe comenzar con el replanteo en terreno del módulo a rellenar y desarrollar cada una de las tareas ejecutadas, especificando el personal responsable de cada una de ellas y los equipos a emplear en cada uno de los frentes.

El plan debe actualizarse diariamente conforme el avance que se registre en obra y atendiendo las prioridades que hacen a la continuidad del servicio de disposición final de residuos. El plan de trabajo debe complementarse con informes diarios que detallen los resultados reales obtenidos, el equipo utilizado y las condiciones climáticas registradas, de manera que puedan evaluarse los trabajos que se ejecutan y verificar el rendimiento de la maquinaria.

F.6.7.1.4 Control de gestión

Debe realizarse un seguimiento de todas las actividades por parte de la entidad encargada, con el fin de que la ejecución de la obra satisfaga un servicio y salvaguarde la salud pública.

CAPÍTULO F.7

F.7. RESIDUOS PELIGROSOS

F.7.1 REFERENCIACIÓN

F.7.1.1 NORMAS TÉCNICAS DE LA U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA

EPA SW-846	Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, (Métodos de ensayo para evaluar residuos sólidos), Tercera Edición y sus modificaciones.
EPA SW-846	Métodos 1010, 1020A, 1110, 9040B, 9010, 9030A y 1311 para determinar características de peligrosidad (inflamabilidad, corrosividad y reactividad)
Appendix II 40 CFR 261	Toxicity Characteristic Leaching Procedure, TCLP (prueba de lixiviación para determinar la característica de toxicidad). Apéndice II de la Parte 261 del Título 40 del Código Federal de Regulaciones de los EUA (Title 40, Environmental Protection, United States Code of Federal Regulations)

F.7.2 ALCANCE

El propósito principal del literal sobre residuos peligrosos es establecer las condiciones básicas para realizar las actividades de gestión de residuos peligrosos a lo largo de la vida de estos residuos con el fin de minimizar los riesgos para la salud humana y el ambiente asociados con dicha gestión.

El literal sobre residuos peligrosos presenta principios fundamentales y criterios operacionales que deben seguirse para realizar una adecuada gestión de residuos peligrosos, con miras a la minimización de riesgos a la salud y el medio ambiente durante dicha gestión. Este literal no presenta detalles específicos. Tales detalles deben ser establecidos por las autoridades competentes según sea necesario.

El literal sobre residuos peligrosos contempla, en el literal F.7.17 específicamente, directrices y criterios sobre la gestión de residuos hospitalarios distintos de los residuos sólidos asimilables a los residuos sólidos domésticos por sus características y de los residuos peligrosos infecciosos generados en los establecimientos relacionados con el área de salud en los cuales se generan los residuos hospitalarios. No obstante las directrices y criterios presentados en este literal sobre la gestión de residuos hospitalarios, la gestión de dichos residuos debe realizarse de acuerdo con la reglamentación aplicable y vigente expedida por las correspondientes autoridades competentes ambientales y de salud a nivel nacional, regional y local.

El literal sobre residuos peligrosos no contempla la gestión de residuos radiactivos. La gestión de los residuos radiactivos debe realizarse de acuerdo con las normas y regulaciones aplicables vigentes expedidas por el Instituto de Asuntos Nucleares y Energías Alternativas (INEA) y otras autoridades competentes.

Cuando las especificaciones que se mencionan en el presente literal no hacen referencia a un **nivel de complejidad** específico, estas deben adoptarse indiferentemente para los cuatro **niveles de complejidad del sistema**.

F.7.3 DEFINICIONES

Para los efectos de este código se aplican las definiciones establecidas en el literal F.1.2.

F.7.4 CARACTERÍSTICAS Y TIPOS DE RESIDUOS PELIGROSOS Y DETERMINACIÓN DE INCOMPATIBILIDADES ENTRE RESIDUOS

F.7.4.1 Características y tipos de residuos peligrosos

1. Definición general de residuo peligroso

Se denomina residuo peligroso a aquel que por exhibir una o varias de las características y/o propiedades que confieren la calidad de peligroso pueda causar daño a la salud humana o al medio ambiente. Así mismo, se consideran residuos peligrosos los envases, empaques y embalajes que hayan estado en contacto con residuos o materiales considerados como peligrosos, cuando dichos materiales, aunque no sean residuos, exhiban una o varias de las características y/o propiedades que confieren la calidad de peligroso.

2. Características que confieren a un residuo la calidad de peligroso

La calidad de peligroso es conferida a un residuo que exhiba características y/o propiedades infecciosas, combustibles, inflamables, explosivas, radiactivas, volátiles, corrosivas, reactivas y tóxicas. A continuación se definen estas características y/o propiedades.

a) Característica que hace a un residuo peligroso por ser infeccioso

Se considera residuo infeccioso aquel que contiene microorganismos tales como bacterias, protozoarios, virus, rickettsias, hongos y recombinantes híbridos y mutantes y sus toxinas, con la suficiente virulencia y concentración para producir una enfermedad infecciosa o toxiinfecciosa.

b) Característica que hace a un residuo peligroso por ser combustible

Se considera residuo combustible aquel que puede arder por acción de un agente exterior, como chispa o cualquier fuente de ignición, y que contiene sustancias, elementos o compuestos que al combinarse con el oxígeno son capaces de generar energía en forma de calor, luz, dióxido de carbono y agua, y tienen un punto de inflamación igual o superior a 60°C e inferior a 93°C.

c) Característica que hace a un residuo peligroso por ser inflamable

Se considera residuo inflamable aquel residuo (o mezcla de residuos) que puede arder en presencia de una llama o un chispa bajo ciertas condiciones de presión y temperatura, y presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Ser un gas que a 20 °C y una atmósfera de presión arde en una mezcla igual o menor al 13% del volumen del aire.
- Ser un líquido cuyo punto de inflamación es inferior a 60 °C, con excepción de las soluciones acuosas con menos de 24 grados de alcohol en volumen.
- Ser un sólido con la capacidad bajo condiciones de temperatura de 25 °C y presión de una atmósfera, de producir fuego por fricción, absorción de humedad y alteraciones químicas espontáneas, o de quemar vigorosa y persistentemente dificultando la extinción del fuego.
- Ser un oxidante que puede liberar oxígeno y, como resultado, estimular la combustión y aumentar la intensidad del fuego en otro material.

d) Característica que hace a un residuo peligroso por ser explosivo

Se considera residuo explosivo todo residuo sólido o líquido (o mezcla de residuos) que por sí mismo es capaz, mediante una reacción química, de emitir un gas a una presión que pueda ocasionar daño a la salud humana y/o al medio ambiente, y además presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Formar mezclas potencialmente explosivas con el agua.

- Ser capaz de producir fácilmente una reacción o descomposición detonante o explosiva a 25 °C y presión de una atmósfera.
- Ser una sustancia fabricada con el fin de producir una explosión o efecto pirotécnico.

e) Característica que hace a un residuo peligroso por ser radiactivo

Se considera residuo radiactivo cualquier residuo que contenga compuestos o elementos isótopos con una actividad radiactiva por una unidad de masa superior al límite establecido en la legislación relativa a este tipo de residuos expedida por la autoridad competente, capaces de emitir de forma directa o indirecta radiaciones ionizantes de naturaleza corpuscular o electromagnética que en su interacción con la materia produce ionización en niveles superiores a las radiaciones naturales de fondo.

f) Característica que hace a un residuo peligroso por ser volátil

Se considera residuo volátil aquel que exhiba cualquiera de las siguientes propiedades:

- Tener una presión de vapor absoluta mayor de 78 mm de mercurio a 25 °C.
- Tener una constante de la ley de Henry mayor de o igual a 10^5 atm.m³/mol.

g) Característica que hace a un residuo peligroso por ser corrosivo

Se considera residuo corrosivo aquel que posee la capacidad de deteriorar o destruir tejidos vivos, degradar otros materiales, y presenta cualquiera de las siguientes propiedades:

- Que sea acuoso y que tenga un pH menor de o igual a 2, o mayor de o igual a 12.5.
- Que sea líquido y corroa el acero a una tasa mayor de 6.35 mm por año, a una temperatura de ensayo de 55 °C.

h) Característica que hace a un residuo peligroso por ser reactivo

Se considera residuo reactivo aquel que al mezclarse o ponerse en contacto con otros elementos, compuestos, sustancias o residuos pueda tener cualquiera de las siguientes propiedades:

- Ser normalmente inestable y reaccionar de forma violenta e inmediata sin detonar.
- Interactuar violentamente con agua.
- Generar gases, vapores y humos tóxicos en cantidades suficientes para provocar daños a la salud humana o al ambiente cuando se mezcla con agua.
- Poseer, entre sus componentes, sustancias tales como cianuros, sulfitos, etc. que por reacción bajo ciertas condiciones específicas liberan gases, vapores o humos tóxicos en cantidades suficientes para poner en riesgo la salud humana o el ambiente.
- Ser capaz de producir una reacción explosiva o detonante bajo la acción de un fuerte estímulo inicial o de calor en ambientes confinados.
- Produce una reacción endotérmica o exotérmica al ponerse en contacto con el aire, agua o cualquier sustancia o elemento.

i) Característica que hace a un residuo peligroso por ser tóxico

Se considera residuo tóxico aquel que en virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana, animal o vegetal y/o al medio ambiente. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos que se clasifican de acuerdo con los criterios de toxicidad (efectos agudos, retardados o crónicos y ecotóxicos) definidos a continuación y para los cuales, según sea necesario, las autoridades competentes establecerán los límites de control correspondientes.

- Dosis letal media oral para ratas igual a o menor de 50 mg/Kg de peso corporal.
- Dosis letal media dérmica para ratas igual a o menor de 100 mg/Kg de peso corporal.

- Concentración letal media inhalatoria para ratas igual a o menor de 5 mg/L.
- Alto potencial de irritación ocular, respiratorio y cutáneo o capacidad corrosiva sobre tejidos vivos.
- Susceptibilidad de bioacumulación y biomagnificación en los seres vivos y en las cadenas tróficas.
- Carcinogenicidad, mutagenicidad y teratogenicidad.
- Neurotoxicidad, inmunotoxicidad u otros efectos retardados.
- Toxicidad para organismos superiores y microorganismos terrestres y acuáticos.
- Baja degradabilidad o capacidad de formación de productos intermedios o finales de mayor toxicidad.
- Otras alteraciones de las cadenas tróficas.
- Otros que las autoridades competentes definan como criterios de riesgo de toxicidad humana o para el medio ambiente.

Así mismo, una vez que la autoridad competente haya establecido los correspondientes niveles máximos permisibles de concentración por encima de los cuales se considerará que el residuo es tóxico y haya establecido los métodos de análisis para realizar esta determinación, se considerará residuo tóxico aquel que contenga una o más de las sustancias, elementos o compuestos que se presentan en la Tabla F.7.1.

Además, se considera residuo tóxico aquel que, al realizarse una prueba de lixiviación para característica de toxicidad (conocida como prueba TCLP, por su sigla en inglés, y descrita en el literal F.7.3.2 , parte 3), contiene una o más de las sustancias, elementos o compuestos que se presentan en la Tabla F.7.2, en concentraciones superiores a los niveles máximos permisibles en el lixiviado establecidos en dicha tabla.

F.7.4.2 Procedimientos para determinar la peligrosidad de un residuo

1. Determinación de la peligrosidad de un residuo

La determinación de si un residuo posee o no una o varias de las características y/o propiedades que le otorgarían la calidad de peligroso puede hacerse como se describe a continuación:

- a) El generador de un residuo puede, con base en su conocimiento técnico sobre las características de los insumos y procesos asociados con el residuo generado, determinar si el residuo posee una o varias de las características que le otorgarían la calidad de peligroso según lo establecido en el literal 7.3.1. El generador debe contar con toda la documentación necesaria para justificar su determinación.
- b) El generador podrá consultar las listas que promulgue la autoridad competente, en las cuales se identifiquen aquellos residuos que son considerados peligrosos (por ejemplo, residuos provenientes de procesos industriales específicos y residuos derivados del empleo de sustancias con características peligrosas).

TABLA F.7.1
Sustancias tóxicas de interés

CONTAMINANTE
Antimonio y sus compuestos
Asbestos en todas sus formas, incluido el amianto
Berilio y sus compuestos
Carbonilos metálicos
Cianógenos y sus compuestos
Compuestos de cobre
Compuestos aromáticos halogenados y no halogenados
Compuestos inorgánicos de flúor
Compuestos orgánicos halogenados, incluidos los bifenilos policlorados y polibromados
Dibenzofuranos policlorados
Éteres
Fenoles compuestos fenólicos
Fósforo y sus compuestos
Fluoroacetato y fluoroacetamida
Níquel y sus compuestos
Peróxidos, cloratos, percloratos y nitratos orgánicos
Plutonio y sus compuestos
Solventes orgánicos halogenados y no halogenados, incluidos los usados y residuos de recuperación de los mismos
Talio y sus compuestos
Telurio y sus compuestos
Titanio y sus compuestos
Vanadio y sus compuestos
Zinc y sus compuestos
Medicamentos vencidos
Residuos de plaguicidas
Fuente: Ministerio del Medio Ambiente. Resolución 189 de 1994.

c) Si el generador carece del conocimiento técnico suficiente para determinar si el residuo es peligroso o no y si el residuo no aparece citado en las listas que promulgue la autoridad competente, el generador debe analizar el residuo generado de acuerdo con los métodos presentados en esta sección o por otros métodos que sean homologados por la autoridad competente para este fin.

2. Referencia para procedimientos de muestreo y de análisis de laboratorio para determinar la peligrosidad de un residuo

Se recomienda como referencia básica para métodos de muestreo y análisis de residuos peligrosos el documento SW-846, *Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods* (Métodos de ensayo para evaluar residuos sólidos), Tercera Edición, publicado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. Environmental Protection Agency, EPA). En la medida en que el Instituto Colombiano de Normas Técnicas, ICONTEC, elabore normas de muestreo y de análisis de laboratorio para estos fines y éstas sean homologadas por la autoridad competente, las normas técnicas de ICONTEC deberán considerarse como referencia básica y el documento SW-846 como referencia suplementaria (En los anexos F.1 a F.3 se presentan los métodos de interés establecidos en el documento SW 846).

3. Métodos de análisis recomendados para determinar características de peligrosidad de un residuo.

A continuación se presentan los métodos recomendados para determinar características de peligrosidad de un residuo:

- a) Método de análisis para determinar la característica de inflamabilidad: métodos 1010 y/o 1020 de la sección 8.1 de la referencia SW-846 de la EPA. Los métodos correspondientes se presentan en el Anexo F.1.

TABLA F.7.2
Concentraciones máximas de contaminantes en la prueba TCLP

CONTAMINANTE	NÚMERO CAS ¹	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE EN EL LIXIVIADO (mg/L)
Arsénico	7440-38-2	5,0
Bario	7440-39-3	100,0
Benceno	71-43-2	0,5
Cadmio	7440-43-9	1,0
Tetracloruro de carbono	56-23-5	0,5
Clordano	57-74-9	0,03
Clorobenceno	108-90-7	100,0
Cloroformo	67-66-3	6,0
Cromo	7440-47-3	5,0
o-Cresol	95-48-7	³ 200,0
m-Cresol	108-39-4	³ 200,0
p-Cresol	106-44-5	³ 200,0
Cresol	-	³ 200,0
2,4-D	94-75-7	10,0
1,4-Diclorobenceno	106-46-7	7,5
1,2-Dicloroetano	107-06-2	0,5
1,1-Dicloroetileno	75-35-4	0,7
2,4-Dinitrotolueno	121-14-2	² 0,13
Endrín	72-20-8	0,02
Heptacloro (y sus epóxidos)	76-44-8	0,008
Hexaclorobenceno	118-74-1	² 0,13
Hexaclorobutadieno	87-68-3	0,5
Hexacloroetano	67-72-1	3,0
Plomo	7439-92-1	5,0
Lindano	58-89-9	0,4
Mercurio	7439-97-6	0,2
Metoxiclor	72-43-5	10,0
Metil etil cetona	78-93-3	200,0
Nitrobenceno	98-95-3	2,0
Pentaclorofenol	87-86-5	100,0
Piridina	110-86-1	5,0
Selenio	7782-49-2	1,0
Plata	7440-22-4	² 5,0
Tetracloroetileno	127-18-4	0,7
Toxapeno	8001-35-2	0,5
Ticloroetileno	79-01-6	0,5
2,4,5-Triclorofenol	95-95-4	400,0
2,4,6-triclorofenol	88-06-2	2,0
2,4,5-TP (silvex)	93-72-1	1,0
Cloruro de vinilo	75-01-4	0,2

¹ CAS= Chemical Abstract Service

² El límite de cuantificación es superior al límite de control calculado. Por tanto, el límite de cuantificación se toma como el límite de control.

³ Si las concentraciones de o-, p- y m-cresol no pueden ser diferenciadas, se debe usar la concentración total de cresol y su límite de control será igual a 200 mg/L.

Fuente: Subparte 261.24 del Título 40 del Código Federal de Regulaciones de los EUA (Title 40, Environmental Protection, United States Code of Federal Regulations, 40 CFR 261.24)

- b) Método de análisis para determinar la característica de corrosividad: método 1110 de la sección 8.2 y/o método 9040 de la referencia SW-846 de la EPA. Los métodos correspondientes se presentan en el Anexo F.2.
- c) Método de análisis para determinar la característica de reactividad: métodos presentados en los literales 7.3.3 y 7.3.4 de la sección 7 de la referencia SW-846 de la EPA. Los métodos correspondientes se presentan en el Anexo F.3.
- d) Método de análisis para determinar la característica de toxicidad: método 1311 de la referencia SW-846 de la EPA. El método, conocido como prueba de lixiviación para determinar la característica de toxicidad o TCLP (por sus sigla en inglés, que corresponde a *toxicity characteristic leaching procedure*), también aparece en el Apéndice II de la Parte 261 del Título 40 del Código Federal de Regulaciones de los EUA (Title 40, Environmental Protection, United States Code of Federal Regulations, 40 CFR 261 Appendix II). El método para la prueba TCLP se presenta en el Anexo F.4. Este método permite establecer, a través de la determinación de la concentración de ciertos constituyentes en el lixiviado de la prueba y su comparación con los niveles máximos permisibles presentados en el literal F.7.3.1, si un residuo exhibe la característica de toxicidad que le confiere la calidad de residuo tóxico.

F.7.4.3 Procedimiento para determinar la incompatibilidad entre residuos peligrosos

Con el fin de garantizar su adecuado manejo, sólo debe efectuarse mezcla o almacenamiento en un mismo sitio de dos o más residuos peligrosos que, siendo sometidos a los correspondientes análisis físicos y químicos, resulten de naturaleza similar o compatibles.

Para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos peligrosos debe desarrollarse el siguiente procedimiento:

1. Identificación de grupos reactivos correspondientes.

Se identifican los residuos peligrosos dentro de alguno de los grupos reactivos que aparecen en la tabla 1 del Anexo F.5. La tabla 2 del Anexo F.5 muestra los componentes de cada grupo reactivo.

2. Determinación de posibles reacciones entre distintos residuos.

Hecha la identificación de acuerdo con el paso 1, se procede a determinar las posibles reacciones entre distintos residuos, según sus respectivos grupos reactivos. Esta determinación se hará empleando la matriz de incompatibilidades que aparece en la tabla 3 del Anexo F.5. Para cada residuo, según su grupo reactivo, se identifican en la matriz de incompatibilidades los códigos de reacciones de incompatibilidad (ver tabla 4, Anexo F.5) que aparecen en las intersecciones con los grupos reactivos de cada uno de los demás residuos evaluados.

3. Prevención de reacciones de incompatibilidad

Si como resultado de la evaluación realizada de acuerdo con el paso 2 se establece que para dos residuos en particular podrían presentarse una o varias de las reacciones correspondientes a los códigos de reacciones de incompatibilidad, presentados en la Tabla 3 del Anexo F.5, entonces debe considerarse

que esos dos residuos en particular son incompatibles y se procede a su almacenamiento, transporte y/o disposición separada con el fin de evitar riesgos a la salud humana y/o al medio ambiente.

El análisis de las posibles reacciones de incompatibilidad debe realizarse teniendo en cuenta todas las posibles combinaciones entre los distintos tipos de residuos que estén siendo evaluados para su gestión. Este análisis debe ser empleado para determinar el mínimo número de áreas separadas necesarias para el almacenamiento de un conjunto de residuos de distintos tipos.

F.7.5 DIRECTRICES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

La gestión de residuos peligrosos debe adelantarse en el marco de las directrices básicas que se presentan a continuación:

1. Minimizar el riesgo sobre la salud humana y sobre el ambiente asociado con cada uno de los elementos de gestión de residuos peligrosos.
2. Identificar adecuadamente cada flujo de residuos peligrosos para garantizar su adecuada gestión.
3. Cuantificar la tasa de generación de cada flujo de residuos peligrosos.
4. Segregar los residuos peligrosos según incompatibilidades de acuerdo con el procedimiento presentado en el literal F.7.3.3.
5. Segregar diferentes flujos de residuos peligrosos. El generador de residuos peligrosos, así como todo aquel que participe en la gestión de residuos, debe segregar flujos de residuos peligrosos y no peligrosos. El propósito de la segregación es evitar acciones que posiblemente interferirían con el posterior aprovechamiento o tratamiento de dichos residuos y minimizar el riesgo sobre la salud humana y el medio ambiente.
6. Con el fin de incentivar la segregación de residuos peligrosos y no peligrosos, toda mezcla de residuos peligrosos y residuos no peligrosos se considera como residuo peligroso, aún cuando la mezcla no exhiba ninguna de las características que confiere a un residuo la calidad de peligroso.
7. Se prohíbe la dilución de todo residuo peligroso.
8. La jerarquía de alternativas de gestión de residuos peligrosos es la siguiente:

Más deseable:	Reducción en la fuente
	Reutilización
	Reciclaje
	Tratamiento

Más indeseable:	Disposición final en un relleno de seguridad
-----------------	--

Todos los actores involucrados en la gestión de residuos peligrosos deben propender una gestión orientada hacia la prevención de la contaminación a través de la reducción en la fuente. De ser evitable la generación de residuos peligrosos, dichos actores deben propender un aprovechamiento de los residuos (bien sea por medio de la reutilización o el reciclaje), teniendo en cuenta criterios técnicos y económicos. Si el aprovechamiento no es viable teniendo en cuenta dichos criterios, se debe optar por el tratamiento. Como última opción debe considerarse la disposición final de los residuos peligrosos en un relleno de seguridad.

9. Los residuos que sean combustibles, inflamables o reactivos, o aquellos que sean incompatibles con otros residuos deben ser manejados con particular atención. Ese manejo debe involucrar los siguientes elementos:
 - a) Proteger los residuos de fuentes de ignición.
 - b) Separar físicamente los residuos incompatibles.

- c) Instalar señales preventivas cerca de las áreas donde se manejan residuos combustibles o reactivos.
 - d) Controlar la partida y el arribo de materiales y residuos de una manera segura.
9. Los residuos infecciosos deben ser manejados con particular atención, teniendo en cuenta las directrices presentadas en el literal F.7.17.

F.7.6 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES SOBRE LA IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

1. Caracterización. Con el fin de garantizar un adecuado manejo de los residuos peligrosos, es necesario conocer las características de los residuos para determinar las incompatibilidades. Asimismo, el generador de los residuos sólidos debe evaluar si alguno de sus residuos exhibe alguna de las características que confieren la calidad de peligroso y debe garantizar que reciban un manejo adecuado. La caracterización debe realizarse de acuerdo con los procedimientos establecidos en el literal F.7.3.2 y la determinación de incompatibilidades debe realizarse de acuerdo con el procedimiento establecido en el literal F.7.3.3.
2. Actualización de la caracterización de un residuo peligroso. El generador de un residuo peligroso debe actualizar periódicamente la caracterización de un residuo peligroso, particularmente si se presentan cambios en el proceso que genera el residuo en cuestión (esos cambios pueden incluir, entre otros, variaciones en los insumos y variaciones en las condiciones de operación). Esta actualización de la caracterización debe realizarse también para residuos sólidos, en caso de que estos residuos sean generados en procesos que emplean sustancias o materiales peligrosos.
3. Etiquetado. Los recipientes o envases que contengan residuos peligrosos deben ser etiquetados de forma clara, legible e indeleble; además, la etiqueta debe estar firmemente fijada sobre el envase. En la etiqueta debe figurar:
 - a) Nombre, dirección y teléfono del generador de los residuos.
 - b) Las palabras "Residuo peligroso".
 - c) Identificación clara de los residuos (nombre y, si existen, códigos que los identifiquen).
 - d) Naturaleza de los riesgos que presentan los residuos.
 - e) Fecha de iniciación de la acumulación de residuos en el recipiente o envase.
4. Identificación de áreas de manejo. Todas las áreas de una instalación en las que se manejen residuos peligrosos deben estar claramente identificadas como tales, teniendo en cuenta criterios de incompatibilidad entre distintos tipos de residuos.

F.7.7 CRITERIOS PARA LA UBICACIÓN DE INSTALACIONES PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Los sitios en donde se ubiquen instalaciones para la gestión de residuos peligrosos (almacenamiento, aprovechamiento, tratamiento o disposición final, etc.) deben seleccionarse teniendo en cuenta los siguientes criterios:

1. Criterio sísmico - fallas. No deben ubicarse en zonas que se encuentren a menos de 60 m de fallas geológicas que han presentado desplazamientos en el periodo holoceno. Este requisito no es aplicable cuando el generador o receptor responsable de las instalaciones puede demostrar a satisfacción de las autoridades competentes que dichas instalaciones mantendrán su integridad estructural en el evento de un desplazamiento de la falla.
2. Criterio sísmico - estabilidad. No deben ubicarse en zonas que estén sujetas a deslizamientos. Cuando una nueva unidad o expansión de una unidad existente es localizada en una zona de impacto sísmico,

sus estructuras (estratos, sistemas de recolección de lixiviados, sistemas de control de agua superficial) deben diseñarse para resistir los efectos del movimiento del suelo debido a los terremotos.

3. Criterio de estabilidad en general. El operador de una instalación para el manejo de residuos peligrosos debe demostrar a satisfacción de la autoridad competente que todas las estructuras en donde se manejen dichos residuos no están comprometidas durante "eventos inestables", incluidos:
 - a) Flujos de residuos arrastrados por la lluvia en casos de altas precipitaciones.
 - b) Rápida formación de sumideros causados por una excesiva retirada del agua subterránea.
 - c) Deslizamientos por explosivos.
 - d) Licuefacción repentina del suelo.

Criterio de inundación. No deben ubicarse en zonas que sean propensas a inundarse, y en particular en zonas que se encuentren dentro de la planicie de inundación definida con base en un período de recurrencia de 100 años. La determinación de la ubicación de la planicie de inundación con el período de recurrencia señalado debe realizarse con la ayuda de los mapas respectivos expedidos por la autoridad competente o, en su defecto, a partir de un estudio hidrológico específico del sitio propuesto teniendo en cuenta los datos hidrológicos necesarios para estimar la extensión de dicha planicie de inundación. En caso de que la determinación se realice a partir de un estudio hidrológico específico, esa determinación debe ser aprobada por la autoridad competente.

4. Criterio de humedales. No pueden ubicarse en humedales, a menos que el operador demuestre a satisfacción de la autoridad competente que el riesgo de contaminación del área es mínimo teniendo en cuenta el tipo y cantidad de residuos que pueden ser liberados al ambiente en el evento de una inundación y su impacto sobre la calidad de las aguas superficiales y sobre el medio ambiente, incluidos los sedimentos y las especies de flora y fauna de la zona. Así mismo, el operador debe demostrar a satisfacción de la autoridad competente que no existen otras zonas alternas disponibles y que en general las instalaciones no causan o contribuyen a una degradación significativa de los humedales. En caso de impactos inevitables sobre los humedales, el operador debe demostrar a satisfacción de la autoridad competente que ha tomado medidas compensatorias (por ejemplo, creación de nuevos humedales equivalentes) para evitar una pérdida neta de humedales.

F.7.8 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A LOS GENERADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS

1. El generador debe basar su gestión de residuos peligrosos en las directrices presentadas en el literal F.7.4.
2. El generador debe adoptar medidas tendientes a minimizar la cantidad y peligrosidad de residuos peligrosos que genere, en proporción a sus volúmenes de producción. Estas medidas deben aplicarse en forma periódica a través de una evaluación integral dentro de una estrategia de mejoramiento continuo.
3. El generador debe identificar las características peligrosas de cada uno de los residuos que genere, teniendo en cuenta las características de los procesos en donde dichos residuos sean generados y de las materias primas y otros insumos empleados. Esta identificación debe realizarse también para aquellos residuos considerados a priori como peligrosos sólidos no peligrosos. Si la caracterización requiere análisis de laboratorio, estos deben realizarse por un laboratorio aprobado por la autoridad competente. La identificación de los residuos peligrosos debe basarse en las buenas prácticas presentadas en el literal F.7.5.
4. El generador debe envasar los residuos en recipientes herméticos y de características físicas y mecánicas tales que permitan, en forma segura, su manipulación y transporte, así como minimizar los riesgos de pérdida o derrame de dichos residuos. Los envases, teniendo en cuenta su material de construcción, deben ser compatibles con los residuos peligrosos que en ellos se pretenda envasar.

5. Cada recipiente que contenga residuos peligrosos debe estar identificado en forma indeleble y numerado consecutivamente; la identificación deber incluir un rótulo o etiqueta firmemente fijado sobre el envase. La etiqueta debe incluir, de manera legible, la descripción del residuo peligroso (según sus características y el proceso de origen); su cantidad; su estado físico; su tipo y grado de peligrosidad; el nombre, dirección y teléfono del generador; fecha de envasado (si se trata de un residuo acumulado a lo largo de un periodo de tiempo, la fecha en que empezó la acumulación).
6. Previo a su transporte, cada recipiente que contenga residuos peligrosos debe tener un rótulo o etiqueta en la cual se indique el destino y las medidas de emergencia que deben ser tomadas en caso de alguna contingencia.
7. El generador debe disponer de un área de almacenamiento de residuos peligrosos diseñada o adecuada para tal fin. La ubicación del área de almacenamiento debe tener en cuenta los criterios establecidos en el literal F.7.6. El área de almacenamiento debe diseñarse y manejarse de tal manera que se minimicen los riesgos sobre la salud humana o el ambiente. En particular, el diseño y manejo del área de almacenamiento debe tener en cuenta las posibles incompatibilidades entre distintos tipos de residuos peligrosos.
8. El generador debe llevar un registro o bitácora en el cual documente regularmente el origen, cantidad y características de cada uno de los flujo de residuos peligrosos que genere. Así mismo, debe documentar regularmente el manejo que de a los residuos peligrosos que genere (por ejemplo, reutilización, reciclaje, pretratamiento o tratamiento). La frecuencia con la cual deben actualizarse dichos registros depende y debe corresponder a las tasas de generación de residuos peligrosos.
9. El generador debe llevar un registro o bitácora de los movimientos de entrada y salida de recipientes del área de almacenamiento.
10. El generador debe realizar inspecciones frecuentes de las áreas en donde maneje residuos peligrosos y debe documentar dichas inspecciones, así como los hallazgos de las mismas y las acciones correctivas correspondientes.
11. El generador debe suministrar a las empresas encargadas del manejo de los residuos peligrosos (transporte, aprovechamiento, tratamiento o disposición final) la información necesaria para que éstas puedan adelantar un manejo adecuado y en forma segura. Esta información debe incluir como mínimo una certificación de envío (guía o manifiesto) describiendo adecuada y suficientemente cada envío de residuos peligrosos. El generador debe conservar copias de dichas certificaciones.
12. El generador debe capacitar al personal encargado del empaque, almacenamiento y embalaje del residuo peligroso dentro de sus instalaciones y además debe brindar el equipo para el manejo adecuado de estos y la protección personal necesaria para ello.
13. El generador debe poseer un plan de atención de emergencias relacionadas con el manejo de los residuos peligrosos y debe contar en todo momento con personal capacitado para su implementación.
14. Con el fin de garantizar una adecuada y responsable gestión integral de los residuos peligrosos, se recomienda que el generador lleve a cabo auditorías de las empresas transportadoras y receptoras que manejen sus residuos peligrosos.
15. El generador de residuos peligrosos sólo puede contratar la prestación de servicios de cualquiera de las operaciones de manejo de residuos peligrosos con personas naturales o jurídicas que estén debidamente inscritas ante la Cámara de Comercio y que posean la respectiva licencia otorgada por parte de la autoridad competente.

F.7.9 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A TRANSPORTADORES DE RESIDUOS PELIGROSOS

1. El transportador debe basar su gestión de residuos peligrosos en las directrices presentadas en el literal F.7.4.

2. En casos en que el transportador, debidamente autorizado por la autoridad competente, brinde el servicio de envasado y/o etiquetado de residuos peligrosos a un generador, debe realizar estas actividades de acuerdo con los requisitos correspondientes establecidos para el generador.
3. El transportador debe entregar la totalidad de los residuos peligrosos recibidos de un generador al receptor designado por dicho generador.
4. El transportador debe contar con un procedimiento de carga y descarga de los residuos peligrosos de sus vehículos.
5. El transportador debe verificar que las condiciones de embalaje y etiquetado de los residuos peligrosos sean adecuadas, cuando estas actividades hayan sido realizadas por el generador.
6. El transportador debe estudiar y seleccionar las rutas y horarios adecuados con el fin de minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. En la medida posible, la selección de rutas y horarios debe propender por evitar cruces con cuerpos de agua y zonas de alto riesgo.
7. El transportador debe llevar consigo la certificación (guía o manifiesto) dada por el generador del residuo y debe conservar una copia de la misma una vez realice la entrega de los residuos sólidos en las instalaciones del receptor.
8. El transportador debe brindar el entrenamiento adecuado a sus trabajadores con el fin de garantizar un manejo adecuado de los residuos peligrosos y una atención pronta a emergencias.
9. El transportador debe tener un plan de contingencia en caso de derrame o fuga de residuos peligrosos. Dicho plan de contingencia debe contemplar la notificación y coordinación con las autoridades competentes y con las autoridades locales a lo largo de la ruta.
10. En el evento que un derrame o fuga de residuos peligrosos ocurra durante el transporte, el transportador debe tomar la acción correctiva inmediata apropiada para proteger la salud humana y el ambiente. Dichos eventos y las acciones correctivas correspondientes deben ser documentados.
11. Con el fin de llevar un control adecuado del destino, horario y ruteo, el transportador debe contar con un sistema de comunicaciones adecuado que permita la localización de cada uno de sus vehículos en el momento que ello se requiera.
12. Un transportador solo puede realizar actividades de almacenamiento temporal de los residuos peligrosos que haya recibido de un generador antes de entregarlos al receptor si:
 - a) Cuenta con el permiso correspondiente otorgado por la autoridad competente como receptor para realizar actividades de almacenamiento temporal de residuos peligrosos.
 - b) Dicho almacenamiento temporal se ha acordado previamente con el generador y este ha consignado esta actividad en la certificación entregada al transportador.
13. El transportador en ningún momento puede movilizar en un mismo transporte aquellos residuos que resulten incompatibles.
14. El transportador debe garantizar que los equipos por él utilizados para actividades de carga, descarga, embalaje y transporte de residuos peligrosos sean los adecuados para tales fines. Así mismo, el transportador debe garantizar que el uso de dichos equipos para otras actividades no constituye un riesgo para la salud humana o el medio ambiente.

F.7.10 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A RECEPTORES DE RESIDUOS PELIGROSOS

F.7.10.1 Tipos de instalaciones para la gestión de residuos peligrosos

Los requisitos y estándares que se encuentran en este literal se aplican a los propietarios y operadores de todo tipo de instalaciones que almacenen, aprovechen, traten, o dispongan de manera definitiva residuos peligrosos. Los tipos específicos de estas instalaciones pueden incluir, entre otros:

1. Áreas de almacenamiento de contenedores.
 - a) Tanques de almacenamiento
 - b) Sistemas de tratamiento fisicoquímico o biológico
 - c) Incineradores
 - d) Hornos y calderas industriales debidamente autorizadas para procesar residuos peligrosos
 - e) Piscinas o embalses superficiales
 - f) Rellenos de seguridad
 - g) Pilas de residuos peligrosos
 - h) Unidades misceláneas

F.7.10.2 PLAN DE OPERACIÓN PARA INSTALACIONES DE GESTIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

Toda instalación de gestión de residuos peligrosos debe contar con un plan de manejo, el cual debe incluir, como mínimo con los siguientes elementos:

1. Descripción general de las instalaciones
2. Documentación del cumplimiento con los criterios de ubicación de las instalaciones
3. Aspectos de seguridad
4. Plan de análisis de residuos
5. Descripción de los procesos de manejo de residuos peligrosos
6. Plan y calendario de inspecciones
7. Plan de contingencia y medidas de prevención y preparación para atender a emergencias
8. Plan de capacitación
9. Plan de clausura de las instalaciones
10. Plan de posclausura (para instalaciones en donde se manejen residuos peligrosos sobre el terreno; por ejemplo, piscinas o embalses superficiales, pilas de residuos y rellenos de seguridad).

A continuación se presentan algunas buenas prácticas relacionadas con los elementos del plan de manejo.

1. **SEGURIDAD.** Para mantener la seguridad en la instalación se requiere:
 - a) Sistema de vigilancia las 24 horas del día; O una barrera natural o artificial que rodee completamente la porción activa de la instalación.
 - b) Mecanismos para controlar la entrada y salida.
 - c) Avisos de "peligro" a lo largo del perímetro de las instalaciones con el fin de evitar entrada de personal no autorizado a la instalación.
2. **ANÁLISIS DE RESIDUOS.** Antes que cualquier residuo sea almacenado, tratado o dispuesto, debe obtenerse un análisis fisicoquímico detallado del mismo, incluyendo toda la información necesaria para el

almacenamiento, tratamiento o disposición adecuada del residuo. Debe desarrollarse y seguirse un plan escrito del análisis del residuo, el cual describa los parámetros analíticos, métodos de muestreo, métodos de la prueba, frecuencia de la prueba y respuestas a cualquier cambio en el proceso que pueda afectar el carácter del residuo.

3. INSPECCIONES. El dueño u operador de la instalación debe inspeccionarla para evitar el mal funcionamiento, deterioro, errores de operación y descargas que puedan conducir a accidentes que involucren la liberación de componentes peligrosos al medio ambiente o pongan en peligro la salud humana. Con respecto a las inspecciones y la prevención de accidentes, se requiere:
 - a) Plan de inspección escrito.
 - b) Documentación de las inspecciones, malos funcionamientos y de cualquier acción correctiva en un registro de operación que cubra por lo menos los últimos tres años.
 - c) Inspecciones diarias de las áreas expuestas a derrames, tales como áreas de carga y descarga, áreas de almacenamiento de contenedores, etc., cuando estas se encuentren en uso, e inspecciones de áreas que no se encuentren en uso de acuerdo con un calendario que garantice la minimización de riesgos para la salud humana y el medio ambiente.
4. PREPARACION PARA ATENDER EMERGENCIAS Y ATENCIÓN A CONTINGENCIA . Los propietarios u operadores de instalaciones de tratamiento, almacenamiento o disposición de residuos peligrosos deben tener un plan de contingencia escrito para minimizar los peligros derivados del fuego, explosiones o escapes. Deben implementarse los procedimientos de atención a emergencias planeados para emprender acciones inmediatas donde se presente una situación de emergencia real o inminente, que implique fuego, explosión o cualquier escape no planeado repentino o no repentino de residuos peligrosos o componente del residuo peligroso que pueda amenazar la salud humana o el ambiente. El plan de contingencia debe incluir los siguientes elementos:
 - a) Las acciones emprendidas por el personal de la instalación en una emergencia.
 - b) Los arreglos o acuerdos con las autoridades locales o regionales.
 - c) Los nombres, direcciones, números telefónicos de todas las personas calificadas y designadas para actuar como coordinadores de la emergencia.
 - d) Una lista de todo el equipo de emergencia incluyendo localización, descripción física y perfil de las capacidades del coordinador.
 - e) Un plan de evacuación para el personal de la instalación.
 - f) Se necesita tener en el sitio una copia del plan de contingencia y todas las revisiones que se hayan hecho al documento. Debe presentarse el plan a la autoridad competente. También debe revisarse el plan en respuesta a cualquier cambio en la instalación, equipo o personal; a una falla del plan observada durante una la atención a una emergencia real o a cualquier revisión a la licencia de la instalación.
 - g) Debe designarse un coordinador de emergencias que se encuentre en el sitio o esté disponible todo el tiempo. El coordinador debe familiarizarse con todos los aspectos de la operación del sitio y los procedimientos de la emergencia y debe tener la autoridad para implementar todos los aspectos del plan de contingencia.
 - h) En una emergencia el coordinador debe identificar el carácter, la fuente y la extensión del escape y evaluar cualquier peligro potencial a la salud humana y al ambiente.
 - i) El coordinador debe notificar prontamente a la autoridad local competente cuando exista un peligro. Inmediatamente después de esto, debe encargarse del tratamiento, almacenamiento o disposición del residuo recuperado, suelo contaminado, agua superficial contaminada o cualquier otro material resultante del escape, fuego o explosión. Además, el registro de operación de la instalación debe incluir los detalles de cualquier incidente que requiera de la implementación del plan.

- j) Toda instalación de tratamiento, almacenamiento o disposición de residuos peligrosos debe diseñarse, construirse, mantenerse y operarse con el fin de minimizar la posibilidad de fuego, explosión o escape de residuos peligrosos o de componentes de residuos peligrosos que puedan poner en peligro la salud humana o el ambiente. A partir de lo anterior, las instalaciones deben contar con el siguiente equipo:
- Sistema interno de alarma
 - Radio, teléfono u otro mecanismo para asistencia en caso de emergencia
 - Equipo portátil de control de fuego
 - Volumen y presión de agua adecuada en mangueras, pulverizadores, espumadores o aspersores
- k) Procedimientos para realizar pruebas y efectuar el mantenimiento a todas las alarmas requeridas, al equipo de protección contra fuego, al de control de derrames y al de descontaminación, cuando esto sea necesario. Además, protocolos para documentar esas actividades.
- l) Mecanismos para brindar al personal el acceso inmediato al equipo de comunicación de emergencia durante el manejo físico de residuos peligrosos.
- m) Procedimientos y criterios para mantener aislado el espacio adecuado, para no obstruir el movimiento de personal y el equipo de protección contra fuego, control de derrames y descontaminación.
- n) Descripción de los arreglos necesarios con las autoridades locales del servicio de emergencia y de los procedimientos de simulacros que deben realizarse con el fin de familiarizar a dichas autoridades con las diversas actividades de manejo de residuos peligrosos dentro de la instalación y con las propiedades de dichos residuos peligrosos.
5. ENTRENAMIENTO DE PERSONAL. El personal que labore en la instalación debe completar un programa de entrenamiento en procedimientos de manejo de residuos peligrosos. Los nuevos empleados deben recibir el entrenamiento adecuado a sus responsabilidades específicas dentro los seis primeros meses de contratación y deben atender un curso anual de actualización. Deben mantenerse todos los registros de entrenamiento incluidos los títulos o diplomas recibidos por los empleados, descripciones de los cargos laborales (que indiquen las responsabilidades específicas relacionadas con la gestión de residuos peligrosos) y los registros de cada empleado.
6. CLAUSURA Y POSCLAUSURA DE UNA INSTALACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS. Los estándares de clausura y posclausura de una instalación se establecen con el fin de minimizar la necesidad de un mantenimiento posterior al cese de actividades de gestión de residuos peligrosos en dicha instalación. Así mismo, dichos estándares propenden el control, minimización o eliminación, en la medida posible, de riesgos de escapes o fugas de residuos peligrosos, constituyentes de residuos peligrosos, lixiviados, escorrentía contaminada, o productos de la descomposición de residuos peligrosos que puedan afectar el suelo, las aguas superficiales o la atmósfera, la salud humana o el ambiente y, por tanto, conlleven un riesgo para la salud humana o el medio ambiente. El plan de posclausura se requiere para instalaciones en donde se manejen residuos peligrosos sobre el terreno; por ejemplo, piscinas o embalses superficiales, pilas de residuos y rellenos de seguridad.
- a) El plan de clausura debe satisfacer los siguientes requisitos:
- Describir cómo y cuándo debe cerrarse la instalación.
 - Describir el inventario máximo de residuos peligrosos que la instalación puede contener antes de la clausura.
 - Describir métodos de remoción, transporte, almacenamiento, o disposición de todos los residuos peligrosos.
 - Describir los pasos tomados para la remoción o descontaminación del equipo de la instalación.
 - Especificar el año anticipado de clausura y el cronograma de actividades que se realicen durante las varias fases de la clausura.

- Estimar los costos de la clausura.
- b) El Plan de posclausura debe satisfacer los siguientes requisitos:
- Describir las actividades de monitoreo planeadas y la frecuencia de dichas actividades.
 - Describir las actividades de inspección y mantenimiento planeadas y la frecuencia con que dichas actividades deben realizarse para asegurar la integridad de la cobertura final o de otros sistemas de contención y para asegurar el funcionamiento apropiado del equipo de monitoreo requerido.
 - Brindar el nombre, dirección, y teléfono de la persona u oficina que debe contactarse durante el periodo de posclausura. Una copia del plan de posclausura debe estar en esta oficina.
 - Estimar costos de las actividades de posclausura para todo el periodo de posclausura.

F.7.11 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO EN TAMBORES Y OTROS RECIPIENTES MÓVILES

1. Asegurar la compatibilidad de los residuos almacenados en los recipientes.
2. Brindar un sistema de contención en lugares donde se encuentren almacenados recipientes con sustancias líquidas.
3. Localizar los recipientes que contengan residuos reactivos o combustibles a una distancia no inferior a 15 metros del lindero del terreno en donde esté ubicada la instalación.
4. Reenvasar el residuo, si el recipiente en el que este se halla se encuentra en estado defectuoso.
5. Garantizar que el recipiente usado para almacenar el residuo no reaccione de ninguna manera con el contenido.
6. Garantizar que todo recipiente de residuos peligrosos siempre debe permanecer cerrado durante su almacenamiento, excepto cuando sea necesario remover o adicionar residuo.
7. Manejar el recipiente de manera tal que se evite la ruptura o se presenten fugas.
8. Inspeccionar por lo menos una vez por semana las áreas de almacenamiento de recipiente de residuos peligrosos con el fin de verificar la presencia de derrames o fugas de los recipientes debido a la corrosión u otros factores.
9. Asegurar que la base del área donde se encuentren los recipientes este libre de grietas y que dicha área posee la suficiente capacidad de almacenamiento secundario para contener los derrames o fugas que puedan presentarse hasta que este material sea removido. Así mismo, la base de dicha área debe estar inclinada para permitir el drenaje e impedir el contacto de los recipientes con los residuos peligrosos derramados.
10. Asegurar que el sistema de contención o sistema de almacenamiento secundario de un área de almacenamiento tenga la capacidad de retener como mínimo el 10% del volumen total máximo de los recipientes almacenados en dicha área.
11. Durante la clausura, todos los residuos peligrosos deben removerse del sistema de contención. Los contenedores remanentes, las barreras impermeabilizantes, las bases y el suelo que contenga o se encuentre contaminado con residuo debe ser descontaminado o removido.

F.7.12 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A TANQUES Y SISTEMAS DE TANQUES PARA EL ALMACENAMIENTO DE RESIDUOS SOLIDOS

1. Asegurar que el sistema de tanques reúna los requisitos de integridad estructural suficiente, y que esta es aceptable para almacenar y tratar residuos peligrosos.
2. Asegurar que existan las medidas adecuadas de protección contra la corrosión para evitar que el sistema de tanques sea objeto de un colapso, ruptura o falla.
3. Prevenir derrames, goteos y sobrellenado. En caso de que estos se presenten, debe tenerse un sistema de contención secundario que impida la contaminación del suelo, las aguas subterráneas y superficiales.
4. Prevenir la localización de residuos reactivos o explosivos en el mismo sistema de tanques.
5. Asegurar que para tanques enterrados se tengan las suficientes medidas de diseño y operación para evitar el daño debido al tráfico pesado.
6. Asegurar que las condiciones de diseño en cuanto a fundación, puede soportar la carga a tanque totalmente lleno.
7. Anclar los sistemas de tanques con el fin de prevenir la flotación o desestabilización de los mismos.
8. El material de relleno situado alrededor del tanque y de la tubería del mismo debe servir como soporte uniforme y debe ser un material homogéneo, poroso y no corrosivo.
9. Probar los sistemas de tanques contra escapes antes de ser enterrados, encerrados o puestos en uso.
10. La instalación de un tanque debe ser llevada a cabo por una persona experimentada en este campo.
11. Contar con un sistema de detección de goteos o derrames.
12. Cuando ocurra un derrame o contaminación del suelo o las aguas subterráneas o superficiales, estos deben ser removidos o descontaminados.
13. Inspeccionar en el sistema de tanques los controles de sobrellenado, la corrosión o derrames de residuo, monitoreo al equipo de detección de goteos, sistemas de protección catódica.
14. Llevar registros de los monitoreos e inspecciones realizadas al sistema de tanques, ya que la autoridad competente puede requerirlos en cualquier momento.

F.7.13 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A RELLENOS DE SEGURIDAD

El **nivel alto de complejidad del sistema** debe contar con una zona especial, bien sea dentro del límite del relleno sanitario, descrito en el capítulo F.6, o fuera de él, para la disposición final de residuos peligrosos. La zona especial que se designe para disponer los residuos peligrosos debe cumplir con los siguientes requisitos mínimos:

F.7.13.1 Requisitos de diseño y operación.

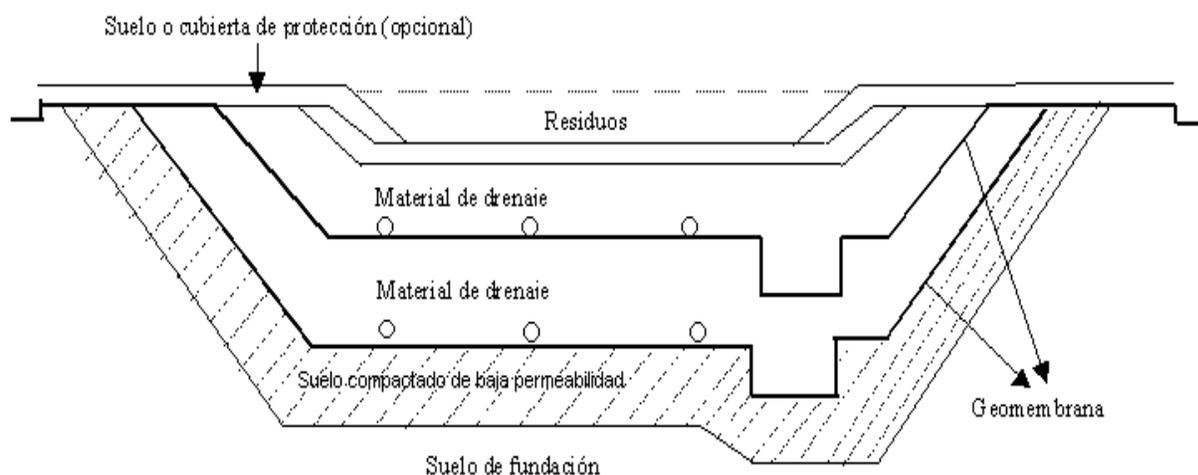
El sistema de barreras impermeabilizantes debe satisfacer los siguientes requisitos:

1. Ser diseñado, construido e instalado para prevenir cualquier migración de residuos fuera del relleno de seguridad al subsuelo adyacente, al agua subterránea o al agua superficial, durante la vida activa (incluyendo el periodo de cierre) del relleno de seguridad.
2. Ser construido de materiales que tengan propiedades químicas adecuadas y la suficiente resistencia y espesor para prevenir fallas debidas a gradientes de presión (incluidas cabeza estática y fuerzas hidrogeológicas externas), contacto físico con el residuo o el lixiviado ante el cual están expuestas, condiciones climáticas, el estrés de la instalación y el estrés de la operación diaria.

3. Ser emplazado sobre una fundación o base capaz de proveer el soporte necesario para la barrera impermeabilizante y la resistencia a los gradientes de presión, sobre y bajo la barrera impermeabilizante con el fin de prevenir fallas de esta debido al asentamiento o compresión.
4. Ser instalado para cubrir todo el terreno circundante que esté en contacto con el residuo o el lixiviado.
5. Reunir requisitos tecnológicos mínimos para la construcción u operación de rellenos de seguridad, mediante la instalación de dos o más barreras impermeabilizantes y el doble sistema de recolección, remoción y detección de lixiviados. Debe instalarse una barrera de arcilla compactada de por lo menos 30 cm de espesor o de otro tipo de material natural que posea una permeabilidad no menor de 1×10^{-7} cm/s. Las capas de arcilla y las geomembranas deben cumplir con las especificaciones enumeradas en el literal F.6.4.3 del capítulo F.6.
6. Después de terminada la impermeabilización en el fondo debe construirse el doble sistema de recolección, remoción y detección de lixiviados, el cual está compuesto por filtros, capas de drenaje, sumideros y tubería perforada. El sistema primario es localizado sobre la geomembrana superior y la capa de filtro. El sistema secundario es localizado entre el suelo de protección y la geomembrana superior.

El material que conforma la capa de drenaje de los sistemas primario y secundario puede ser sintético o granular. Si la capa es granular debe estar conformada por arenas o gravas limpias con alta conductividad hidráulica y baja tensión de capilaridad, con un espesor de 0.30 m. Si se utiliza un drenaje de material sintético éste debe ser de alta transmitividad hidráulica, compatible químicamente con el lixiviado producido por los residuos peligrosos y debe tener suficiente resistencia y espesor para prevenir el colapso debido a las cargas que va a estar sometido. En el caso de utilizar una cubierta de suelo de protección, ésta debe ser de un material que tenga una permeabilidad igual o mayor a la capa drenaje del sistema de detección de lixiviados. La figura F.7.1. muestra el sistema de recolección, remoción y detección de lixiviados y el sistema de impermeabilización.

FIGURA F.7.1
**Perfil del sistema de recolección, remoción y detección de lixiviados
 y sistema de impermeabilización en el fondo**



7. Debe determinarse la naturaleza y cantidad de los residuos, la operación y diseño propuestos, el asentamiento hidrogeológico de la instalación, la capacidad atenuante y el espesor de las barreras impermeabilizantes y los suelos presentes entre el relleno y el agua subterránea o superficial, así como otros factores que pueden influenciar la calidad y movilidad del lixiviado producido y el potencial de este de migrar al agua superficial o subterránea.

8. Debe garantizarse un sistema de evacuación de aguas lluvias que permita el normal funcionamiento del relleno durante los periodos de lluvias.
9. Si el relleno posee material particulado que debe disponerse, este debe ser cubierto o manejado con el fin de evitar dispersión por el viento.

F.7.13.2 Requisitos de monitoreo e inspección.

El operador de un relleno de seguridad debe satisfacer los siguientes requisitos relacionados con el monitoreo e inspección:

1. Durante la construcción e instalación de los sistemas de barreras impermeabilizantes y de cubierta, estos deben inspeccionarse para asegurar su uniformidad y que no presenten daños o imperfecciones.
2. Las barreras sintéticas y las cubiertas deben revisarse con el fin de asegurar los sellos adecuados, juntas y la ausencia de rasgaduras o huecos.
3. Las barreras impermeabilizantes y las cubiertas basadas en suelo, deben inspeccionarse con el fin de verificar la presencia de uniformidades estructurales, las cuales puedan aumentar la permeabilidad de las mismas.
4. Durante la operación del relleno, este debe inspeccionarse semanalmente y después de una tormenta, con el fin de verificar el funcionamiento adecuado del sistema de aguas lluvias, el funcionamiento adecuado del sistema de control de dispersión debido al viento, verificar la presencia de lixiviado y el funcionamiento adecuado de los sistemas de recolección y extracción de lixiviado.

F.7.13.3 Mantenimiento de registros.

El operador de un relleno de seguridad debe satisfacer los siguientes requisitos relacionados con el mantenimiento de registros y bitácoras:

1. Debe situarse en un mapa la exacta localización y las dimensiones, incluida la profundidad, de cada celda.
2. Deben registrarse los contenidos de cada celda y la localización aproximada de cada tipo de residuo peligroso dentro de ella.
3. Debe contarse con un programa de monitoreo de agua subsuperficial.

F.7.13.4 Clausura y posclausura.

El operador del relleno de seguridad debe satisfacer los siguientes requisitos durante los periodos de clausura y posclausura:

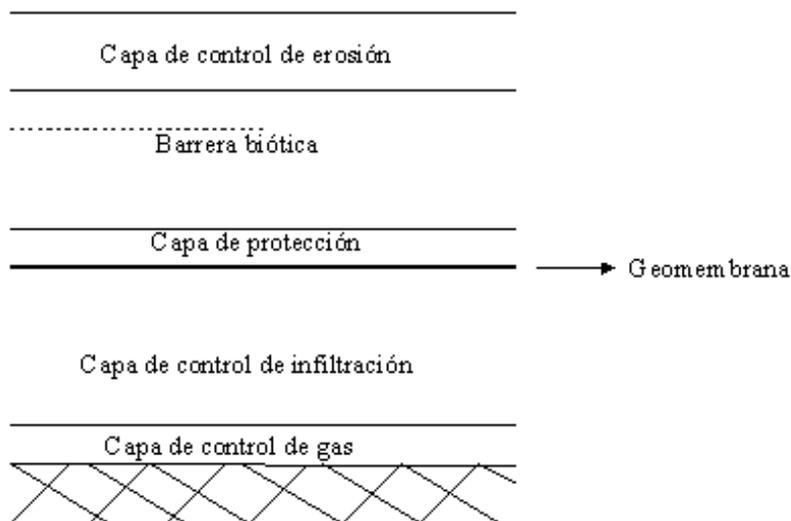
1. Durante la clausura del relleno, o para el cierre de cualquier celda, se debe diseñar y construir una cubierta final con el fin de:
 - Minimizar la migración de líquidos a través del relleno.
 - Funcionar con un mínimo mantenimiento.
 - Promover el drenaje y minimizar la erosión o abrasión de la cubierta.
 - Tener una permeabilidad igual a o menor que cualquier barrera impermeabilizante.
2. Mantener la integridad y efectividad de la cobertura final, incluidas las reparaciones de la capa.
3. Continuar operando el sistema de recolección y remoción de lixiviados hasta que estos no se detecten.
4. Mantener y monitorear el sistema de agua subsuperficial.
5. Prevenir la erosión de la cobertura final debida a la lluvia.

6. El perfil de cubierta requerido para los rellenos de seguridad debe contener una capa biótica adicional al perfil indicado en el capítulo F.6 para los rellenos sanitarios. La capa o barrera biótica debe prevenir la intrusión de animales al área rellena y estar constituida por una capa de grava y roca con espesores mínimos de 0.30 m y 0.70 m, respectivamente.

Los espesores mínimos del perfil de la cobertura final para rellenos de seguridad son los siguientes:

Capa de control de erosión :	0.60 m
Capa o barrera biótica:	Grava: 0.30 m Roca: 0.70 m
Capa de protección de la geomembrana:	0.30 m
Capa de control de infiltración :	0.90 m
Capa de control de gas:	0.30 m

FIGURA F.7.2
Perfil de cobertura final



F.7.13.5 Residuos reactivos o inflamables.

El operador del relleno de seguridad en donde se manejen residuos reactivos o inflamables debe satisfacer los requisitos establecidos a continuación:

1. No deben disponerse residuos reactivos en un relleno de seguridad.
2. Los residuos inflamables deben disponerse en contenedores que no permitan goteos, y deben ser cuidadosamente manejados y colocados con el fin de evitar calor, rupturas o cualquier otro tipo de condición que pueda causar ignición en el residuo. El residuo inflamable debe cubrirse diariamente con suelo o cualquier otro material no combustible, con el fin de minimizar el potencial de ignición. Tampoco debe colocarse un residuo en conjunto con otro que pueda generar suficiente calor para causar ignición.
3. No disponer en un mismo sitio residuos peligrosos que resulten incompatibles.

F.7.13.6 Líquidos empacados y residuos a granel.

El manejo de residuos peligrosos a granel o de recipientes que contengan líquidos debe satisfacer los siguientes requisitos:

1. Se prohíbe la disposición de líquidos no empacados y residuos a granel en un relleno de seguridad.

2. Antes de disponer el residuo líquido o el residuo que contenga líquidos libres, debe tratarse o estabilizarse mediante medios físicos o químicos.
3. Contenedores que posean líquidos libres no pueden disponerse en rellenos de seguridad, a menos que los constituyentes del residuo hayan sido tratados o estabilizados.
4. Garantizar la no migración de componentes de los residuos peligrosos.
5. Evitar la disposición de contenedores parcialmente vacíos.

F.7.14 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A PISCINAS O EMBALSES SUPERFICIALES

1. Asegurarse de que los embalses estén protegidos con una barrera impermeabilizante para prevenir la migración de residuos hacia el suelo circundante o el agua subterránea.
2. Tener un programa de monitoreo de agua subterránea.
3. Reunir los requisitos mínimos de tecnología mediante la instalación de una o más barreras impermeabilizantes, más un sistema de recolección de lixiviado.
4. Clausura de embalses ya sea mediante la remoción o descontaminación de todos los residuos y manejarlos como residuos peligrosos o mediante la estabilización del residuo remanente y brindar especial cuidado al poscierre.
5. La base o fundación debe servir como soporte a la barrera impermeabilizante y brindar resistencia a los gradientes de presión.
6. La permeabilidad de la barrera debe ser de por lo menos 1×10^{-7} cm por segundo.
7. Para el diseño de embalses superficiales, debe tenerse en cuenta la naturaleza y cantidad de los residuos, las condiciones hidrogeológicas de la instalación y todos los otros factores que pueden influenciar la movilidad y calidad del lixiviado producido.
8. Asegurar el perfecto funcionamiento de las barreras impermeabilizantes: ausencia de huecos, rasgaduras o cualquier otra imperfección que pueda ocasionar daño a la salud humana o al ambiente.
9. La inspección debe realizarse semanalmente y después de una fuerte lluvia. Deben revisarse los sistemas de control de sobrellenado, las caídas repentinas en el nivel del embalse, signos de deterioro o erosión en los diques o en los mecanismos de contención.
10. Tener un plan de contingencia en caso de cualquier anomalía en la operación o funcionamiento del embalse.
11. Tener registros de los monitoreos, mantenimientos, supervisiones y cambios repentinos en los niveles del embalse; estos podrán ser requeridos por la autoridad competente en cualquier momento.
12. En el cierre y poscierre deben removerse o descontaminarse todos los residuos, los componentes, suelo, estructuras y equipo contaminados; eliminar los líquidos libres mediante la solidificación; estabilizar los residuos remanentes de tal forma que pueden ser cubiertos de una manera segura; efectuar una cobertura final con el fin de minimizar la migración de los líquidos a través del embalse sellado de forma que funcione con un mínimo mantenimiento, promueva el drenaje y reduzca la erosión.
13. Durante el poscierre, efectuar monitoreos al agua subterránea, efectuar el mantenimiento a la cobertura final y prevenir la erosión o daño de la cobertura final.

F.7.15 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A PILAS DE RESIDUOS

1. Prever la dispersión del material de la pila del residuo, debida al viento.
2. Proteger la estructura del recorrido del agua superficial.
3. Tener un programa de monitoreo de agua subterránea.
4. Incorporar un sistema de recolección de lixiviado y una barrera impermeabilizante en las pilas de residuos, con el fin de prevenir la migración de residuos hacia el suelo, aguas subterránea y superficial.
5. Los líquidos o materiales que contengan líquidos no deben incluirse en una pila de residuos.
6. La pila debe inspeccionarse semanalmente con el fin de prevenir deterioro, mal funcionamiento de los sistemas de control de entrada y salida, los sistemas de recolección y remoción de lixiviado

F.7.16 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A INCINERADORES

1. Identificar y listar los principales componentes orgánicos peligrosos.
2. Llevar a cabo un ensayo de incineración o brindar información sobre ensayos de incineración pasados o ensayos similares.
3. Mantener una eficiencia de remoción y destrucción de hasta el 99.99% para componentes peligrosos orgánicos.
4. El incinerador no debe producir emisiones de HCl a una tasa mayor de 1.8 Kg/hora.
5. La autoridad competente debe establecer los parámetros de permiso para cada incinerador, dependiendo del nivel de monóxido de carbono (CO) en la chimenea, la tasa de alimentación del residuo, la temperatura de combustión, el indicador apropiado de la velocidad del gas de combustión, las variaciones permisibles en el diseño y los procedimientos de operación en sistemas de incineración.
6. Las emisiones de fuga en la zona de combustión deben controlarse mediante el sellamiento de la zona de combustión, manteniendo la zona de combustión a una presión menor que la atmosférica.
7. Un incinerador debe funcionar con sistemas de control automático que corten el flujo de residuo, si las condiciones de incineración exceden las permitidas por la autoridad competente.
8. El monitoreo de un incinerador incluye la temperatura de combustión, la tasa de alimentación del residuo, el indicador de velocidad de gas de combustión, el monóxido de carbono producido en la zona de combustión y antes de la liberación de este a la atmósfera, el equipo (bombas, válvulas, etc.). Las inspecciones deben realizarse diariamente y deben concentrarse en la detección de fugas, derrames, taponamientos y emisiones de fuga.
9. Durante el cierre debe removerse todos los residuos peligrosos y sus remanentes.

F.7.17 PRINCIPIOS Y CRITERIOS OPERACIONALES DE GESTIÓN, APLICABLES A OTROS TIPOS DE INSTALACIONES DE MANEJO DE RESIDUOS PELIGROSOS

F.7.17.1 Tratamiento en el terreno

1. Demostrar que los residuos pueden ser degradados, transformados o inmovilizados completamente dentro de la zona de tratamiento designada .
2. Tener un programa de monitoreo de agua subterránea de la zona no saturada bajo la unidad, para detectar la presencia de componentes peligrosos.

3. Continuar todas las operaciones necesarias para realizar los procesos de tratamiento a través del periodo de posclausura.
4. La profundidad máxima de la zona de tratamiento no debe exceder de 1.5 m de la parte superficial del suelo y 1 m sobre la tabla de agua.
5. Las condiciones de diseño y operación deben incluir la tasa y método de aplicación del residuo a la zona de tratamiento, medidas para controlar el pH, medidas para llevar a cabo las reacciones microbianas y químicas, medidas para controlar la mezcla en la zona de tratamiento, sistema(s) de impermeabilización y control capaces de evitar la entrada de flujo a la zona de tratamiento.

F.7.17.2 Unidades misceláneas

1. Prevenir escapes de componentes peligrosos al aire, agua superficial o subterránea o suelos que puedan tener efectos adversos a la salud humana o al ambiente.
2. Cumplir con las condiciones y términos de permiso para cada instalación específica.
3. Brindar un cuidado especial durante la posclausura.

F.7.18 PRINCIPIOS Y CRITERIOS PARA LA GESTIÓN DE RESIDUOS HOSPITALARIOS

F.7.18.1 Plan de gestión de residuos hospitalarios

1. Todo establecimiento relacionado con el área de la salud que genere residuos hospitalarios debe elaborar un plan de gestión de residuos hospitalarios. Es recomendable que dicho plan forme parte de un plan general de gestión de residuos para el establecimiento en cuestión.
2. El plan de gestión de residuos hospitalarios debe ser divulgado entre todas las personas involucradas en el manejo de residuos hospitalarios, partiendo desde la generación de los mismos y continuando hasta su destrucción o disposición final. Dicha divulgación debe realizarse a través de sesiones de entrenamiento y actualización celebradas periódicamente y ofrecidas a todas esas personas.
3. El plan de gestión de residuos hospitalarios debe contemplar los siguientes aspectos:
 - a) Minimizar el riesgo sobre la salud humana y sobre el ambiente asociado con cada uno de los elementos de gestión de residuos infecciosos. Todos los actores involucrados en la gestión de residuos hospitalarios deben propender una gestión orientada hacia la prevención de la contaminación.
 - b) Asignar dentro de cada establecimiento relacionado con el área de la salud una persona responsable de la gestión de los residuos hospitalarios. Esta persona estará encargada de todos los aspectos relacionados con dicha gestión, incluyendo la divulgación del plan y la capacitación de todas las personas involucradas en la gestión de dichos residuos.
 - c) Periódicamente, identificar, caracterizar y estimar cuantitativamente cada flujo de residuos hospitalarios objeto de la gestión. Se debe llevar un registro, preferiblemente diario o según sea apropiado, del tipo y cantidad de residuos hospitalarios generados. Se debe especificar unívocamente el manejo que se le debe dar a cada flujo de residuos hospitalarios, incluyendo su tratamiento y disposición.
 - d) Mantener la segregación de diferentes flujos de residuos hospitalarios según las categorías establecidas por la legislación aplicable vigente expedida por las autoridades de salud y ambientales competentes. El responsable de la gestión de residuos hospitalarios, así como todo aquel que participe en la gestión de residuos, deberá garantizar la segregación de flujos de residuos hospitalarios de otros flujos de residuos peligrosos, distintos de los infecciosos, y de residuos no peligrosos. El propósito de la segregación es minimizar el riesgo sobre la salud humana y el medio

ambiente, así como evitar acciones que posiblemente interferirían con el aprovechamiento o tratamiento de los residuos peligrosos distintos de los infecciosos y de los residuos no peligrosos.

- e) Planteamiento de la codificación por colores y de los logotipos, anagramas y textos que vayan a ser usados para identificar los envases, las zonas y los equipos empleados para la gestión de residuos hospitalarios.
- f) Tipo de envases a utilizar dependiendo del tipo de residuos hospitalarios a manejar.
- g) Identificación de zonas de manejo de residuos hospitalarios, en particular zonas de almacenamiento y zonas en las que se vayan a adelantar actividades de tratamiento de estos residuos.
- h) Identificación de contratistas empleados para la gestión total o parcial, intracentro o extracentro, de residuos hospitalarios. Se debe verificar que los contratistas cuenten con la autorización específica de las autoridades ambientales y de salud competentes. Verificar periódicamente que todo prestador de servicios de gestión de residuos hospitalarios que vaya a ser o haya sido contratado por el establecimiento relacionado con el área de la salud esté debidamente autorizado por las autoridades competentes, y que mantenga dicha autorización.
- i) Establecer un sistema de información, documentación y divulgación que apoye la implementación del plan.
- j) Establecer procedimientos para evaluar periódicamente la efectividad del plan.

F.7.18.2 Gestión especial de residuos químicos con características peligrosas y de residuos radioactivos que formen parte de los residuos hospitalarios

1. Los residuos químicos con características peligrosas que formen parte de los residuos hospitalarios generados en establecimientos relacionados con el área de la salud y que no sean radioactivos ni presenten ninguna de las otras características asociadas a los residuos hospitalarios deben ser segregados y manejados según las directrices y criterios para la gestión de residuos peligrosos presentados en los literales F.7.3 a F.7.16.
2. Los residuos radioactivos que formen parte de los residuos hospitalarios generados en establecimientos relacionados con el área de la salud y que no presenten ninguna de las otras características asociadas a los residuos hospitalarios ni ninguna característica y/o propiedad que confiera la característica de peligroso, según se establece en el literal F.7.3, deben ser segregados y manejados de acuerdo con las normas y regulaciones aplicables vigentes expedidas por el Instituto de Asuntos Nucleares y Energías Alternativas (INEA) y otras autoridades competentes.
3. Todos los demás residuos químicos con características peligrosas y residuos radioactivos que formen parte de los residuos hospitalarios deberán ser manejados según las directrices y criterios para la gestión de residuos hospitalarios presentados en el literal F.7.17.

F.7.18.3 Directrices para envases, equipos e instalaciones empleados para la gestión de residuos hospitalarios

1. Los residuos hospitalarios deben ser envasados para su adecuado almacenamiento y posterior manejo. Los envases, como materiales que contendrán y estarán en contacto con los residuos hospitalarios, deben ser seleccionados de acuerdo con las características del residuo en cuestión y deben garantizar la protección de las personas encargadas de las distintas actividades de manejo de estos residuos.
2. Los envases de residuos hospitalarios, así como todos los equipos e instalaciones asociadas con el manejo de los mismos, deben ser claramente identificados como tales. En el caso de residuos patógenos, la identificación debe incluir el anagrama internacional de bioriesgo y el texto “riesgo biológico”.
3. Los envases de residuos hospitalarios, así como las zonas en donde estos sean almacenados, deben garantizar la estanqueidad (contener derrames que puedan ocurrir en su interior y evitar fugas).

4. Identificación de recipientes o envases de residuos hospitalarios. El responsable de la gestión de residuos hospitalarios debe garantizar que los recipientes o envases que contengan residuos hospitalarios estén etiquetados de forma clara, legible e indeleble, de acuerdo con la legislación aplicable vigente.
5. Las zonas en donde se almacenen y manejen residuos hospitalarios deben ser lavadas y desinfectadas periódicamente, y los efluentes producto de esa operación de limpieza deben ser manejados de manera adecuada.
6. Las zonas de almacenamiento deben estar en sitios cubiertos, los cuales deben estar aislados de las zonas de hospitalización y cocinas. Asimismo, estas zonas deben contar con áreas separadas para segregar distintos tipos de residuos hospitalarios, según sea necesario, y con sistemas de alarma y ventilación adecuados.
7. Las instalaciones empleadas para el almacenamiento y tratamiento de los residuos hospitalarios deben disponer de extractores de aire equipados con filtros biológicos. Dichos filtros deben ser manejados como residuos infecciosos cuando sean reemplazados según las especificaciones correspondientes.

F.7.18.4 Directrices para el transporte de residuos hospitalarios

1. Los vehículos empleados para el transporte de residuos hospitalarios deben garantizar la estanqueidad (contener derrames que puedan ocurrir en su interior y evitar fugas).
2. Los vehículos empleados para el transporte de residuos hospitalarios deberán contar con sistemas de comunicación que permitan a los operarios notificar en caso de accidentes o daños en el vehículo que impidan su funcionamiento. El personal responsable del transporte debe conocer en detalle los procedimientos que deben implementar en caso de una emergencia.
3. Los vehículos empleados para el transporte de residuos hospitalarios deben disponer de extractores de aire equipados con filtros biológicos. Dichos filtros deben ser manejados como residuos infecciosos cuando sean reemplazados según las especificaciones correspondientes.
4. Los vehículos en los que los residuos hospitalarios sean transportados deben ser lavados y desinfectados periódicamente, y los efluentes producto de esa operación de limpieza deben ser manejados de manera adecuada.

F.7.18.5 Directrices para el tratamiento y disposición final de residuos hospitalarios

1. El objetivo básico de las operaciones de tratamiento y disposición final de los residuos hospitalarios, realizadas de acuerdo con los procedimientos definidos en el plan de gestión de residuos hospitalarios del establecimiento relacionado con el área de la salud correspondiente, es la eliminación o reducción del riesgo para la salud de los trabajadores de dicho establecimiento y de los trabajadores responsables de la gestión de esos residuos, así como la salud pública.
2. La selección de la tecnología o tecnologías apropiadas para el tratamiento y disposición final de los residuos hospitalarios que vayan a ser empleadas por cada establecimiento relacionado con el área de la salud deberá basarse en criterios técnicos, de salud pública y económicos. En caso de ser viables, se recomienda emplear, según el tipo de residuos, tecnologías tales como incineración, desinfección por autoclave, neutralización química, relleno de seguridad o tecnologías que a través de un proceso de oxidación consigan el objetivo básico planteado en el punto anterior. Todas las tecnologías empleadas deberán cumplir con la legislación aplicable vigente, en particular en lo referente a emisiones atmosféricas y descargas de efluentes líquidos.
3. La selección de la tecnología o tecnologías apropiadas para el tratamiento y disposición final de los residuos hospitalarios deberá partir de una evaluación integral del problema de gestión y deberá evitar la transferencia o liberación de contaminantes a otros medios ambientales.
4. Los residuos infecciosos de procedencia animal o humana deben ser inactivados por medios físicos o químicos de eficacia comprobada antes de ser almacenados con miras a su tratamiento y disposición

final. La inactivación podrá realizarse empleando hipoclorito de sodio con una concentración mínima de 500 ppm. Todo implemento utilizado para el manejo de residuos infecciosos debe ser limpiado con hipoclorito de sodio periódicamente, preferiblemente diariamente.

5. Los residuos hospitalarios, y en particular los envases que los contengan, no deben ser incluidos en ningún programa de reciclado o valorización.
6. En caso de que se opte por la incineración de residuos hospitalarios, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:
 - a) La carga del horno debe realizarse sin que exista ninguna manipulación directa de los residuos por parte de operarios, y sin que se produzca la rotura de los envases que contienen los residuos, de manera que no exista contacto directo de los residuos con ningún elemento mecánico exterior al horno. En el caso de incineración de residuos infecciosos, estos deben introducirse directamente en la tolva de carga del horno, sin pasar por una unidad de manejo preliminar como una fosa de recepción.
 - b) Deberán cumplirse todas las especificaciones técnicas y operativas establecidas en la normatividad que expidan las autoridades ambientales competentes.
 - c) La unidad de incineración debe ser de funcionamiento continuo.
 - d) La unidad de incineración debe tener una capacidad superior a la capacidad mínima establecida para tal fin por las autoridades ambientales competentes.
 - e) La carga que reciba el horno de residuos infecciosos debe ser, en promedio para cada período de sesenta minutos medido en forma continua, inferior al 10% de la capacidad del horno en términos de residuos hospitalarios asimilables a los residuos sólidos domésticos.
 - f) El contenido de inquemados o productos de combustión incompleta en las cenizas de la incineración de residuos hospitalarios no debe ser superior al 3%.
 - g) La carga al horno de residuos infecciosos debe hacerse durante el funcionamiento normal del horno; deben excluirse, por lo tanto, las fases de encendido y enfriamiento del horno para cargar estos residuos.
 - h) Las cenizas producto de la incineración deberán ser dispuestas en un relleno de seguridad, previa su estabilización, en caso de ser necesaria si las cenizas constituyen residuos peligrosos. En los casos en que no sea posible la disposición de las cenizas en un relleno de seguridad, éstas deben ser colocadas en un tambor, que se encuentre en buenas condiciones, limpio y que preferiblemente sea de plástico. El tambor debe ser cerrado herméticamente y luego debe ser dispuesto, previa autorización de las autoridades competentes, en un relleno sanitario. De no ser factible tampoco la disposición en un relleno sanitario, el tambor debe ser enterrado para su disposición en un lugar que cumpla con el espíritu de los criterios planteados en el literal F.7.6.
7. Las tecnologías de desinfección deben garantizar la eliminación de formas vegetativas de bacteria, mycobacteria, hongos y esporas de hongos, la eliminación de los virus y la eliminación de las esporas de *Bacillus anthracis*.
8. La efectividad de toda tecnología empleada para el tratamiento de residuos hospitalarios deberá ser verificada periódicamente, según establezca la autoridad competente. Los resultados de dicha verificación deberán ser documentados en un documento de control y seguimiento.
9. Dado el riesgo para la salud pública asociado con los residuos infecciosos, se recomienda su incineración como forma de tratamiento.
 - a) Alternativamente, en caso de que la incineración no sea posible, podrá emplearse como sistema de tratamiento la neutralización química, para aquellos agentes susceptibles de ser neutralizados por este procedimiento, o la desinfección por autoclave, siempre y cuando esto no suponga un aumento en el riesgo de la salud pública, la de los trabajadores y sobre el medio ambiente.

- b) Si el tratamiento por neutralización química o la desinfección por autoclave no fuese viable, excepcionalmente, previa autorización de las autoridades de salud y ambientales competentes y bajo las condiciones especiales que éstas establezcan, se podrá realizar la quema de los residuos infecciosos en tambores metálicos o en pequeñas excavaciones en el suelo cubiertas de cal. En estas circunstancias, los residuos infecciosos y otros residuos hospitalarios deberán ser mezclados con residuos asimilables a residuos sólidos domésticos en una relación aproximada de 1:9 para su quema. Estas actividades excepcionales deben realizarse teniendo en cuenta los principios básicos expresados en el literal F.7.17 y su espíritu. El personal que realice las quemas debe contar con equipo de protección personal, incluyendo máscaras con purificadores de aire y filtros para partículas, ropa que minimice la piel expuesta y guantes. Las cenizas de tales quemas deben ser manejadas de la misma manera que las cenizas de un incinerador, según se establece en el literal F.7.17.5, parte 6.h.

ANEXO F.1

MÉTODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE INFLAMABILIDAD DE UN RESIDUO

MÉTODO 1010

METODO PENSKY-MARTENS DE COPA CERRADA (CLOSED-CUP) PARA DETERMINACION DE LA INFLAMABILIDAD DE UN RESIDUO

1. ALCANCE Y APLICACION

1.1 El método 1010 usa la prueba De copa cerrada Pensky-Martens para determinar el punto de inflamación (flash point) de un líquido, incluye aquellos que tienden a formar una película superficial bajo las condiciones de la prueba. Los líquidos que contengan sólidos suspendidos no filtrables deben ser también probados utilizando este método.

2. RESUMEN DEL METODO

2.1 La muestra es calentada a una tasa constante baja con agitación continua. Una llama pequeña es dirigida dentro del vaso a intervalos regulares con interrupción simultánea de la agitación. El punto de inflamación (flash point) es la menor temperatura a la cual los vapores superficiales de la muestra inflaman al aplicársele a la muestra la llama de prueba.

Para mayor información acerca de como conducir la prueba por este método ver la referencia 4.1.

3. DESEMPEÑO DEL METODO

3.1 Los probadores cerrados Pensky-Martens y Setaflash fueron evaluados usando cinco muestras de residuos industriales y el p-xileno. Los resultados de dicho estudio se muestran a continuación en °F acompañados de otros datos:

<u>Muestra</u>	<u>Pensky- Martens</u>	<u>Setaflash</u>
1 ²	143.7 ± 1.5	139.3 ± 2.1
2 ²	144.7 ± 4.5	129.7 ± 0.6
3 ²	93.7 ± 1.5	97.7 ± 1.2
4 ²	198.0 ± 4.0	185.3 ± 0.6
5 ²	119.3 ± 3.1	122.7 ± 2.5
p-xileno ²	81.3 ± 1.1	79.3 ± 0.6
p-xileno ³	77.7 ± 0.5 ^a	--
Tanque de aceite	125, 135	--
Tanque de aceite	180, 180	--
Tanque de aceite	110, 110	--
DIBK/xileno	102 ± 4 ^b	107

^b75/25 v/v analizado por 4 laboratorios.

^a12 determinaciones para un período de cinco días.

4. REFERENCIAS

- 4.1 D 93-80, Test Methods for Flash Point by Pensky-Martens Closed Tester, American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103, 04.09, 1986.
- 4.2 Umana, M., Gutknecht, W., Salmons, C., et al., Evaluation of Ignitability Methods (Liquids), EPA/600/S4-85/053, 1985.
- 4.3 Gaskill, A., Compilation and Evaluation of RCRA Method Performance Data, Work Assignment No. 2, EPA Contract No. 68-01-7075, September 1986.

METODO 1020A

METODO SETAFLASH DE COPA CERRADA (CLOSED-CUP) PARA DETERMINACION DE LA INFLAMABILIDAD DE UN RESIDUO

1. ALCANCE Y APLICACION

- 1.1 El método 1020 hace uso del probador cerrado Setaflash para determinar el punto de inflamabilidad de líquidos que tiene puntos de inflamabilidad entre 0° y 110°C (32° y 230°F) y viscosidades menores a 150 stokes a 25°C (77°F).
- 1.2 El procedimiento puede ser usado para determinar si un material va o no a inflamarse a una temperatura específica o para determinar la temperatura mínima (finita) a la cual un material va a inflamarse.
- 1.3 Los líquidos que tienden a formar una película superficial bajo las condiciones de la prueba o aquellos que contengan sólidos suspendidos no filtrables deben ser probados utilizando el método 1010 (método Pensky-Martens del vaso cerrado) .

2. RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 En un probador Setaflash (de sello hermético) se introducen por el puerto de inyección, 2ml de muestra por medio de una jeringa. La muestra entra en la copa la cual ha sido previamente calentada a una temperatura menor en 3°C (5°F) al punto de inflamación esperado.
- 2.2 En una prueba de inflamabilidad o no inflamabilidad, la temperatura del punto de inflamación esperada puede ser una especificación (ej.: 60 °C). Alternativamente, la temperatura del aparato es elevada a la temperatura exacta deseada por medio de pequeños ajustes usando el dial de temperatura para probar el punto de inflamación específico. Después de un minuto, una llama de prueba se aplica dentro de la copa y se toma nota si la muestra de prueba inflama o no. Si se necesita repetir el ensayo, debe usarse una nueva muestra.
- 2.3 Para un manejo finito de la inflamabilidad, la temperatura se incrementa sucesivamente en el rango de temperatura definido. Una llama de prueba se aplica a intervalos de 5°C (9°F) hasta que se observa la inflamación de la muestra. Luego se hace una repetición usando una muestra nueva, comenzando la prueba en el último intervalo de temperatura antes del punto de inflamación y haciendo incrementos de 0.5°C (1°F).

Para mayor información acerca de como conducir la prueba por este método ver la referencia 4.1.

3. DESEMPEÑO DEL METODO

Ver método 1010.

4. REFERENCIAS

- 4.1 Test Method for Flash Point of Liquids by Setaflash Closed Tester, American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA 19103.
- 4.2 Umana, M., Gutknecht, W., Salmons, C., et al., Evaluation of Ignitability Methods (Liquids), EPA/600/S4-85/053, 1985.
- 4.3 Gaskill, A., Compilation and Evaluation of RCRA Method Performance Data, Work Assignment No. 2, EPA Contract No. 68-01-7075, September 1986.

ANEXO F.2

MÉTODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE CORROSIVIDAD DE UN RESIDUO

METODO 1110

CORROSIVIDAD AL ACERO

1 ALCANCE Y APLICACION

1.1 El método 1110 es usado para medir la corrosividad al acero de residuos líquidos acuosos y no acuosos.

2. RESUMEN DEL METODO

2.1 Esta prueba expone cupones de acero tipo SAE 1020 al residuo líquido para medir y evaluar el grado en el cual el cupón se ha disuelto, y así determinar la corrosividad del residuo.

3. INTERFERENCIAS

3.1 En pruebas de laboratorio como está, la corrosión de cupones por duplicado es generalmente reproducible en un 10%. Sin embargo, grandes diferencias en la tasa de corrosión pueden ocurrir ocasionalmente cuando la superficie del metal es pasivada. Por lo tanto, debe determinarse al menos un duplicado de la tasa de corrosión.

4. EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 Debe usarse un equipo que consta de un matraz de volumen adecuado (usualmente entre 500 y 5000 ml), un condensador de reflujo, un dispositivo regulador de la temperatura, un dispositivo de calentamiento (un manto, una parrilla o un baño), y un sistema de soporte de la muestra. Un montaje típico para este tipo de prueba se muestra en la figura 1.

4.2 El dispositivo de soporte y el recipiente deben construirse de materiales que no se vean afectados por el residuo que se esta probando, o que no causen la contaminación del mismo.

4.3 El sistema utilizado para sostener los cupones puede variar de acuerdo con el equipo que se emplee para realizar la prueba. Dicho sistema debe diseñarse para aislar los cupones física y eléctricamente de otros sistemas, así como de cualquier contenedor metálico o dispositivo que se use en la prueba. Algunos materiales comunes de soporte son el vidrio, el teflón y los metales revestidos.

4.4 La forma y el modo de sostener el cupón deben asegurar que éste quede libremente en contacto con el residuo.

4.5 Una muestra anular de acero SAE 1020 de 3.75 cm (1.5 pulgadas) de diámetro puede utilizarse como cupón. Con un espesor de 0.32 cm (0.125 pulgadas) y un diámetro de hueco para montar la muestra de 0.80 cm (0.4 pulgadas), dicha muestra pasa fácilmente a través de una unión de vidrio 45/50 de un matraz de destilación. El área superficial total de una muestra anular esta dada por la siguiente ecuación:

$$A = 3.14(D^2-d^2)/2 + (3.14tD) + (3.14td)$$

Donde:

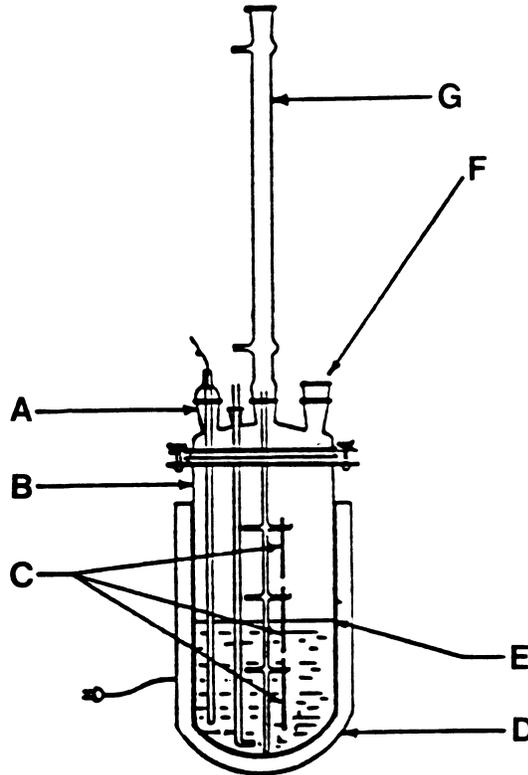
t = Espesor.

D = Diámetro de la muestra.

d = Diámetro del hueco sobre el cual se monta la muestra.

Si el hueco esta totalmente cubierto por el montaje de soporte, el ultimo término de la ecuación, (3.14td), se omite.

4.5.1 Todos los cupones deben medirse cuidadosamente para lograr un cálculo preciso de las áreas expuestas. Una precisión aceptable del área calculada es de $\pm 1\%$ de error.



ANEXO F.2 - FIGURA 1. Matraz de resina típico que puede usarse como un equipo versátil y adecuado para conducir una prueba de inmersión simple. La configuración de la parte superior del matraz es tal, que equipos sofisticados pueden instalarse según se necesite para la prueba a realizar. A = termostato, B = matraz de resina, C = muestras colgando en un dispositivo de soporte, D = manto de calentamiento, E = interface del líquido, F = Aberturas en el matraz para equipos adicionales cuando se requieran y G = Condensador de reflujo.

4.5.2 Resultados más uniformes pueden esperarse si una capa significativa de metal es removida de los cupones antes de probar la corrosividad del residuo. Esto puede efectuarse mediante un tratamiento químico, remoción electrolítica o pulido con un abrasivo grueso. Al menos 0.254 mm (0.0001 pulgadas) o de 2 a 3 mg/cm² deben removerse. El tratamiento final de la superficie debe incluir lijarla con papel o telas abrasivas # 120. La limpieza final consiste en brillar cada cupón con polvos para pulir, libres de blanqueadores, seguido de un enjuague con agua destilada, acetona o metanol, y finalmente secar la superficie con aire seco. Después de la limpieza final el cupón debe almacenarse en un desecador hasta ser usado.

4.5.3 La razón mínima de volumen de residuo por área de metal del cupón que debe usarse en esta prueba es de 40 ml/cm².

5. REACTIVOS

5.1 Hidróxido de sodio (NaOH), (20%): Disolver 200 g de NaOH en 800 mL de agua tipo II y mezclarla bien.

5.2 Polvo de zinc.

5.3 Ácido clorhídrico (HCl): Concentrado.

5.4 Cloruro estañoso (SnCl₂).

5.5 Cloruro de antimonio (SbCl₃).

6. RECOLECCION DE LA MUESTRA, PRESERVACION Y MANEJO

6.1 Todas las muestras deben recolectarse usando un plan de muestreo avalado por las autoridades competentes o de acuerdo con estándares internacionales.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Ensamblar el equipo de prueba como se describe en literal 4.0 y colocar los cupones.

7.2 Llenar el recipiente con la cantidad apropiada de muestra,

7.3 Comenzar la agitación a una tasa suficiente para asegurar que el líquido se mantiene mezclado y homogéneo.

7.4 Usando el dispositivo de calentamiento, llevar la temperatura del residuo a 55°C (130°F).

7.5 Una tasa precisa de corrosión no se requiere, solo se requiere una determinación de si la tasa es menor o mayor a 6.35 mm por año. Un ensayo de 24 horas es suficiente para determinar si la tasa de corrosión es mayor o no a 6.35 mm por año.

7.6 Con el fin de determinar exactamente la pérdida de material por corrosión, los cupones tienen que ser limpiados después de la inmersión y antes de ser pesados. El procedimiento de limpieza debe remover todos los productos de la corrosión siempre y cuando se remueva un mínimo de metal original. Los métodos de limpieza pueden dividirse en tres categorías generales: mecánicos, químicos y electrolíticos.

7.6.1 La limpieza mecánica incluye depuración, raspado, cepillado y métodos de ultrasonido. La depuración con un cepillo grueso y un abrasivo suave son los métodos más populares de estos. Los otros métodos son usados en el caso en que se tenga una gran corrosión en la que halla necesidad de remover productos de corrosión bastante incrustados antes de la depuración. Debe cuidarse de no remover el material original.

7.6.2 El tratamiento químico implica la remoción de material de la superficie del cupón mediante la disolución en un solvente apropiado. Solventes como la acetona, el diclorometano y el alcohol son usados para remover aceites, grasas, o material resinoso. Deben usarse dichos solventes antes de la inmersión para remover los productos de corrosión. Las siguientes soluciones son adecuadas para remover la corrosión de los cupones de acero:

<u>Solución</u>	<u>Tiempo de remojo</u>	<u>Temperatura</u>
20% NaOH + 200 g/L de polvo de zinc	5 min	ebullición
HCl concentr. + 50 g/L de SnCl ₂ + 20 g/L de SbCl ₃	Hasta que limpie	frío

7.6.3 Anterior a una limpieza electrolítica debe realizarse una depuración para remover los productos de corrosión adheridos. Un método electrolítico de limpieza que puede emplearse usa:

Solución: 50 g/L de H₂SO₄
 Ánodo: carbón o plomo
 Cátodo: cupón de acero

Densidad de corriente catódica:	20 amp/cm ² (129 amp/in. ²)
Inhibidor:	2 cc de inhibidor orgánico / litro.
Temperatura:	74°C (165°F)
Tiempo de exposición:	3 min.

NOTA: Deben tomarse precauciones para asegurar un buen contacto eléctrico con el cupón para evitar la contaminación de los soluciones limpias con iones metálicos fácilmente reducibles y para asegurar que la descomposición del inhibidor no ha ocurrido. A cambio de un inhibidor apropiado, puede usarse 0.5 g/L de diortotoluil- tiourea o etilioduro de quinofeina.

- 7.7 En cualquier tratamiento empleado para limpiar los cupones, debe determinarse el efecto producido sobre la remoción de material inoxidable por medio de un blanco. (ej. un cupón que no ha sido expuesto al residuo). El blanco debe limpiarse a la par con el cupón de prueba y su pérdida de material sustraerla de la calculada para el cupón de prueba.
- 7.8 Después de que las muestras corroídas se han limpiado y secado, deben pesarse. La pérdida de peso es la principal medida de corrosión. La pérdida de peso como medida de la corrosión requiere que se haga la suposición de que toda la pérdida de peso se debe a la corrosión en general y no a una picadura localizada. Con el fin de determinar la tasa de corrosión debe usarse la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de corrosión (mm/año)} = (\text{pérdida de peso} * 11.145) / (\text{área} * \text{tiempo})$$

Donde: pérdida de peso en miligramos,
 área in centímetros cuadrados,
 tiempo en horas, y
 tasa de corrosión en milímetros por año.

8. CONTROL DE CALIDAD

- 8.1 Todos los datos de control de calidad deben archivarse y estar a disponibles para cuando se realicen auditorías.
- 8.2 Muestras en duplicado deben analizarse rutinariamente.

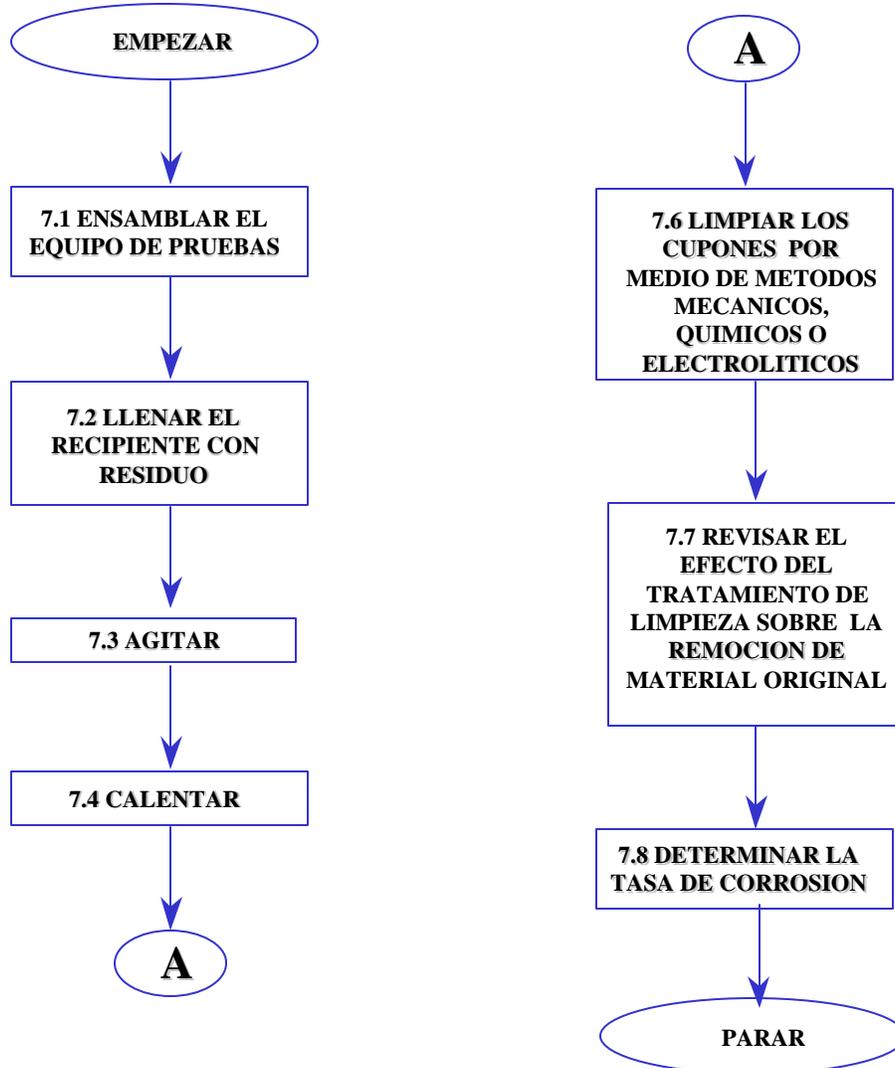
9. DESEMPEÑO DEL METODO

- 9.1 No hay datos suministrados.

10. REFERENCIAS

- 10.1 National Association of Corrosion Engineers, "Laboratory Corrosion Testing of Metals for the Process Industries," NACE Standard TM-01-69 (1972 Revision), NACE, 3400 West Loop South, Houston, TX 77027.

METODO 1110 CORROSIVIDAD AL ACERO



METODO 9040B

MEDIDA ELECTROMETRICA DEL pH

1 ALCANCE Y APLICACION

- 1.1 El método 9040 se usa para medir el pH de residuos acuosos y aquellos residuos donde la fase acuosa constituye al menos el 20% del volumen total del residuo.
- 1.2 La corrosividad de ácidos y bases concentradas, o de éstos mezclados con sustancias inertes, no puede medirse. La medición del pH requiere algún contenido de agua.

2. RESUMEN

2.1 El pH de una muestra es determinado electrometricamente usando o un electrodo de vidrio en combinación con un potencial de referencia o un electrodo de combinación. El dispositivo de medición es calibrado usando una serie de soluciones estándares de pH conocido.

3. INTERFERENCIAS

3.1 El electrodo de vidrio, en general, no está sujeto a interferencias de la solución como el color, la turbiedad, la materia coloidal, los oxidantes, los reductores, o la salinidad moderada (solución molar <0.1).

3.2 Los errores por sodio a niveles de pH mayores a 10 pueden reducirse o eliminarse usando electrodos con bajo error por sodio.

3.3 Los recubrimientos del material aceitoso o el material particulado pueden alterar la respuesta del electrodo. Dichos recubrimientos pueden usualmente removerse mediante un lavado suave o un lavado con detergente, seguido de un enjuague con agua destilada. Un tratamiento adicional con ácido clorhídrico (1:10) puede necesitarse para remover cualquier película remanente.

3.4 Los efectos de la temperatura en la determinación electrométrica del pH provienen de dos fuentes. La primera es causada por el cambio en la señal de salida del electrodo a varias temperaturas. Esta interferencia debe controlarse con instrumentos utilizando un compensador de temperatura o calibrando el sistema (electrodo-medidor) a la temperatura de las muestras. La segunda fuente de los efectos de la temperatura en el cambio del pH se debe a los cambios de temperatura en la muestra. Este error depende de la muestra y no puede controlarse. Por lo tanto, debe reportarse la temperatura y el pH de la muestra en el momento del análisis.

4. EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 pH-metro: Modelo de campo o de laboratorio. Varios instrumentos están disponibles en el mercado con variedad de especificaciones y equipos opcionales.

4.2 Electrodo de vidrio.

4.3 Electrodo de referencia: Puede usarse un electrodo de cloruro de plata-plata u otra referencia con potencial constante.

NOTA: Es conveniente usar e incorporar electrodos combinados de medición y referencia. Dichos electrodos se encuentran disponibles en el mercado con materiales de llenado sólidos o de tipo gel, además dichos electrodos requieren un mínimo mantenimiento.

4.4 Agitador magnético y barra de agitación con recubrimiento de teflón.

4.5 Termómetro y/o sensor de temperatura para compensación automática.

4.6 Soluciones tampón para calibración.

5. REACTIVOS

5.1 Deben usarse reactivos calidad analítica en todas las pruebas. A menos que se de alguna indicación, todos los reactivos a usar deben estar de acuerdo con las especificaciones dadas por el Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química, donde tales especificaciones están disponibles. Otras clasificaciones pueden usarse, con tal que primero se averigüe si el reactivo es de la pureza necesaria para permitir su uso sin disminuir la precisión de la determinación.

5.2 Sales tampones estándares primarias se encuentran disponibles en el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) y pueden usarse en situaciones donde se requiere una alta precisión. La preparación de las soluciones de referencia de dichas sales requieren de precauciones especiales tales como usar agua de dilución para baja conductividad, usar hornos de secado y usar gas de purga libre de dióxido de carbono. Dichas soluciones deben remplazarse al menos una vez por mes.

5.3 Soluciones tampones estándares secundarias pueden prepararse de las sales de la NIST o adquirirse de vendedores comerciales de soluciones. Dichas soluciones comerciales se han validado al compararlas con las sales de la NIST y son recomendadas para un uso rutinario.

6. RECOLECCION DE LA MUESTRA, PRESERVACION Y MANEJO

6.1 Todas las muestras deben recolectarse usando un plan de muestreo avalado por las autoridades competentes o de acuerdo con estándares internacionales.

6.2 Todas las muestras deben analizarse tan pronto como sea posible.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Calibración:

7.1.1 A causa de la gran variedad de pH-metros y accesorios, procedimientos detallados de operación no pueden incluirse en este método. Cada análisis debe reportarse con la operación de cada sistema y particularmente con todas las funciones de los instrumentos. Se recomienda prestar especial atención al cuidado de los electrodos.

7.1.2 Cada instrumento o sistema de electrodos debe calibrarse con un mínimo de dos puntos que soporten el pH esperado de las muestras y que estén separados entre sí tres unidades de pH o más. (Para la caracterización de la corrosividad, la calibración del pH-metro debe incluir una solución tampón de pH 2 para residuos ácidos y una solución tampón de pH 12 para residuos cáusticos; también, para la caracterización de la corrosividad, la muestra debe medirse a $25 \pm 1^\circ\text{C}$ si el pH del residuo es mayor a 12.) Varios diseños de instrumentos pueden incluir el uso de un dial (para "balancear" o "estandarizar") o de un ajuste de pendiente, de acuerdo con las instrucciones que señale el fabricante. Realizar ajustes repetitivos en porciones sucesivas de las dos soluciones tampones hasta que las lecturas obtenidas estén dentro de un rango de ± 0.05 unidades de pH del valor de la solución tampón.

7.2 Colocar la muestra o la solución tampón en un beaker de vidrio limpio usando el suficiente volumen de tal forma que cubra totalmente el sensor del electrodo. Colocar el electrodo de tal forma que no interfiera el movimiento de la barra de agitación magnética. Si se esta tomando una medición en campo, los electrodos deben sumergirse directamente en la corriente de muestreo a una adecuada profundidad. Los electrodos deben agitarse de tal forma que se asegure que suficiente muestra se mueve alrededor del sensor de cada electrodo. Un indicativo de lo anterior es obtener lecturas con diferencias menores a 0.1 unidades de pH entre los duplicados.

7.3 Si la temperatura de la muestra difiere en más de 2°C de la temperatura de la solución tampón, la medida del pH debe corregirse. Los instrumentos están equipados con compensadores manuales o automáticos que ajustan electrónicamente las diferencias de medida debidas a los cambios en temperatura. Referirse a las especificaciones del fabricante.

7.4 Enjuagar completamente y limpiar suavemente los electrodos antes de cada medición del pH de las muestras. Sumergir los electrodos dentro del beaker con la muestra o en la corriente de muestreo y agitar suavemente a una tasa constante para lograr una buena homogenización y mantener los sólidos en suspensión. Anotar y registrar el pH y la temperatura de la muestra. Repetir las mediciones con alícuotas sucesivas de muestra hasta obtener valores que difieran en menos de 0.1 unidades de pH. Dos o tres cambios de volumen son por lo general suficientes.

8. CONTROL DE CALIDAD

8.1 Referirse al capítulo 1 del manual EPA SW - 846.

8.2 Los electrodos deben limpiarse con agua destilada entre muestra y muestra.

9. DESEMPEÑO DEL METODO

9.1 Cuarenta y cuatro analistas en 20 laboratorios analizaron seis muestras de agua preparada sintéticamente sintética, las que contenían incrementos exactos de iones hidrónico (H^+) e hidróxilo (OH^-), con los siguientes resultados:

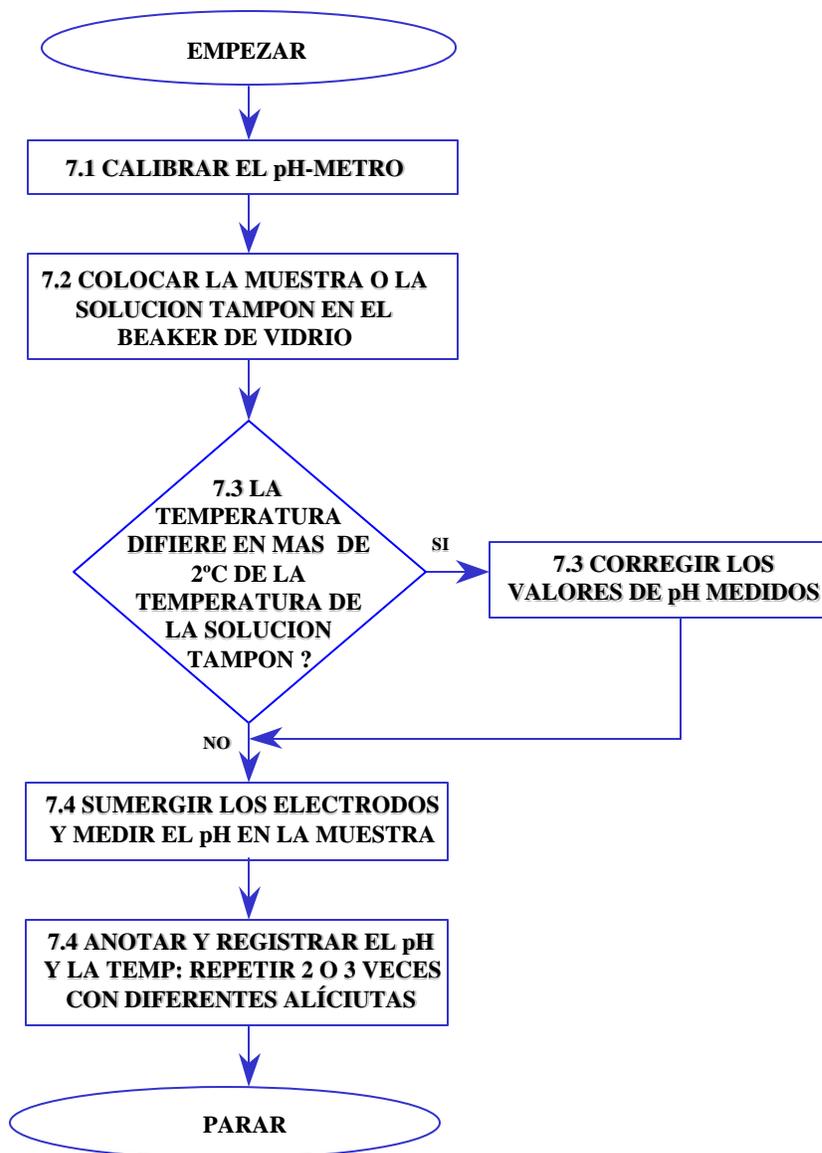
EXACTITUD

<u>Unidades de pH</u>	Desviación estándar <u>Unidades de pH</u>	Sesgo <u>%</u>	Sesgo <u>Unidades de pH</u>
3.5	0.10	-0.29	-0.01
3.5	0.11	-0.00	
7.1	0.20	+1.01	+0.07
7.2	0.18	-0.03	-0.002
8.0	0.13	-0.12	-0.01
8.0	0.12	+0.16	+0.01

10. REFERENCIAS

10.1 National Bureau of Standards, Standard Reference Material Catalog 1986-87, Special Publication 260.

METODO 9040 B MEDICION ELECTROMETRICA DEL pH



ANEXO F.3

MÉTODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE REACTIVIDAD DE UN RESIDUO

GUIA INTERINA PARA CIANURO REACTIVO

El nivel corriente de la EPA para usar como guía es:

Cianuro desprendido total: 250 mg de HCN/Kg de residuo.

METODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR EL CIANURO DE HIDROGENO DESPRENDIDO DE LOS RESIDUOS

1. ALCANCE Y APLICACION

- 1.1 Este método es aplicable a todos los residuos, siempre y cuando los residuos que al mezclarlos con ácidos no formen una mezcla explosiva.
- 1.2 Este método provee una forma de determinar la tasa específica de desprendimiento de ácido cianhídrico en contacto con un ácido en solución acuosa.
- 1.3 Este método mide únicamente el ácido cianhídrico involucrado en las condiciones de la prueba. Este no intenta medir formas de cianuro diferentes a aquellas que están involucradas bajo las condiciones de la prueba.

2. RESUMEN DEL METODO

- 2.1 Una alícuota de ácido se adhiere a un peso fijo de residuo en un sistema cerrado. El gas generado es arrastrado y pasado por un depurador y el analito es cuantificado. El procedimiento para cuantificar el cianuro se muestra en el método 9010 de la sección 5 del manual SW 846 de la EPA (Se comienza con el literal 7.2.7 de dicho método), el cual se presenta en este mismo anexo.

3. INTERFERENCIAS

- 3.1 Interferencias sin determinar.

4. EQUIPOS Y MATERIALES (Ver figura 1).

- 4.1 Matraz de fondo redondo de 500 mL, tres cuellos con desprendimiento lateral de vidrio 24/40.
- 4.2 Depurador de gas - 50 mL de depurador calibrado.
- 4.3 Equipo de agitación para lograr aproximadamente 30 RPM. Este puede ser una combinación de un magneto rotatorio y una barra de agitación o un agitador tipo hélice con motor de transmisión superior.
- 4.4 Embudo de decantación con un tubo igualador de presión con un acople de vidrio 24/40 y una camisa de teflón.
- 4.5 Tubo flexible para conectar el suministro de nitrógeno al equipo.
- 4.6 Nitrógeno gaseoso con bomba de aceite o con agua con un regulador de dos etapas.
- 4.7 Rotómetro para medir la tasa de flujo de nitrógeno gaseoso.
- 4.8 Balanza analítica capaz de pesar 0.001 g.

5. REACTIVOS

- 5.1 Deben usarse reactivos analíticos en todas las pruebas. A menos que se de alguna indicación, todos los reactivos a usar deben estar de acuerdo con las especificaciones dadas por el Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química, donde tales especificaciones están disponibles. Otras clasificaciones pueden usarse, con tal que primero se averigüe si el reactivo es de la pureza necesaria para permitir su uso sin disminuir la precisión de la determinación.
 - 5.2 Agua calidad reactivo. Todas las referencias en este método se refieren al agua calidad reactiva (agua que se ha generado por algún método el cual cumpla con las especificaciones dadas por la ASTM para el agua tipo II. (Referencia: 1985. *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01; "Standard Specification for Reagent Water"*; ATSM: Philadelphia, PA, 1985.; D 1193-77)).
 - 5.3 Ácido sulfúrico (0.01N), H_2SO_4 . Adicionar 2.8 mL de ácido sulfúrico concentrado al agua calidad reactivo y diluir hasta 1 L. Tomar una alícuota de 100 mL de la solución y diluir hasta 1 L para obtener una concentración de ácido sulfúrico 0.01 N.
 - 5.4 Solución de referencia de cianuro, (1000 mg/L). Disolver aproximadamente 2.5 g de KOH y 2.51 g de KCN en un litro de agua calidad reactivo. Estandarizar con $AgNO_3$ 0.0192 N. La concentración de cianuro en esta solución debe ser de 1 mg/mL.
 - 5.5 Solución de hidróxido de sodio (1.25N), NaOH. Disolver 50 g de NaOH en agua calidad reactivo y diluir hasta 1 litro con agua calidad reactivo.
 - 5.6 Solución de hidróxido de sodio (0.25N), NaOH. Diluir 200 mL de la solución de hidróxido de sodio 1.25 N (literal 5.5) hasta un litro con agua calidad reactivo.
 - 5.7 Solución de nitrato de plata (0.0192N). Prepararla moliendo aproximadamente 5 g de cristales de $AgNO_3$ y secándolos a un peso constante a 40 °C. Pesar 3.265 g de $AgNO_3$ seco, disolverlos en agua calidad reactivo, y diluir la solución hasta un litro.
6. RECOLECCION DE LA MUESTRA, PRESERVACION Y MANEJO
 - 6.1 Las muestras que contienen o se sospecha que contienen sulfuro o una combinación de residuos con cianuro y sulfuro deben recolectarse con un mínimo de aireación. La botella debe llenarse completamente, excluyendo los espacios del pico y el tapón. El análisis debe realizarse tan pronto como sea posible. Las muestras deben mantenerse refrigeradas y en un lugar oscuro hasta que el análisis se realice.
 - 6.2 Aun cuando se sugiere que las muestras de residuos con cianuro se prueben tan pronto como sea posible, las muestras pueden preservarse ajustando el pH a 12 con una base fuerte, esto puede causar una dilución de la muestra, incrementando la fuerza iónica, y, posiblemente cambiar otras características físicas o químicas del residuo que pueden afectar la tasa de desprendimiento del ácido cianhídrico. Las muestras deben almacenarse en lugares oscuros y refrigerados.
 - 6.3 Los análisis deben realizarse en campanas de extracción.
 7. PROCEDIMIENTO
 - 7.1 Adicionar 50 mL de la solución de NaOH 0.25 N al depurador calibrado y diluir con agua calidad reactivo hasta obtener una apropiada profundidad del líquido.
 - 7.2 Cerrar el sistema y ajustar la tasa de flujo de nitrógeno a 60 mL/min, usando el rotómetro.
 - 7.3 Adicionar 10 g del residuo a probar en el sistema.
 - 7.4 Con el nitrógeno fluyendo, adicionar suficiente ácido sulfúrico hasta la mitad del matraz. Comenzar la prueba de 30 minutos.
 - 7.5 Agitar mientras el ácido está entrando en el matraz de fondo redondo. La velocidad de agitación debe permanecer constante durante la prueba.

NOTA: La agitación no debe ser tan rápida que cree vórtices.

- 7.6 Después de 30 minutos, cerrar la entrada de nitrógeno y desconectar el depurador. Determinar la cantidad de cianuro en el depurador de acuerdo con lo establecido en el método 9010 del manual SW 846 de la EPA (Comenzando en el literal 7.2.7 de dicho método).

NOTA: Eliminar los términos "C" y "D" de los cálculos del procedimiento espectrofotométrico y los términos "E" y "F" de los cálculos del procedimiento de titulación del método 9010. Dichos términos no son necesarios para la determinación de la reactividad ya que los términos que determinan la cantidad de cianuro se encuentran en la muestra y no en la alícuota tomada para el análisis.

8. CALCULOS

- 8.1 Determinar la tasa específica de desprendimiento de HCN, usando los siguientes parámetros:

$$R = \text{Tasa específica de desprendimiento (mg/Kg/sec.)} = X \cdot L / W \cdot S$$

Donde:

X = Concentración de HCN en la solución depurada diluida. (mg/L). Esta se obtiene del método 9010.

L = Volumen de solución en el depurador (L).

W = Cantidad de residuo usado (Kg).

S = Tiempo de medida (s) = Tiempo final de N₂ - Tiempo inicial de N₂.

$$\text{Desprendimiento total de HCN (mg/Kg)} = R \times S$$

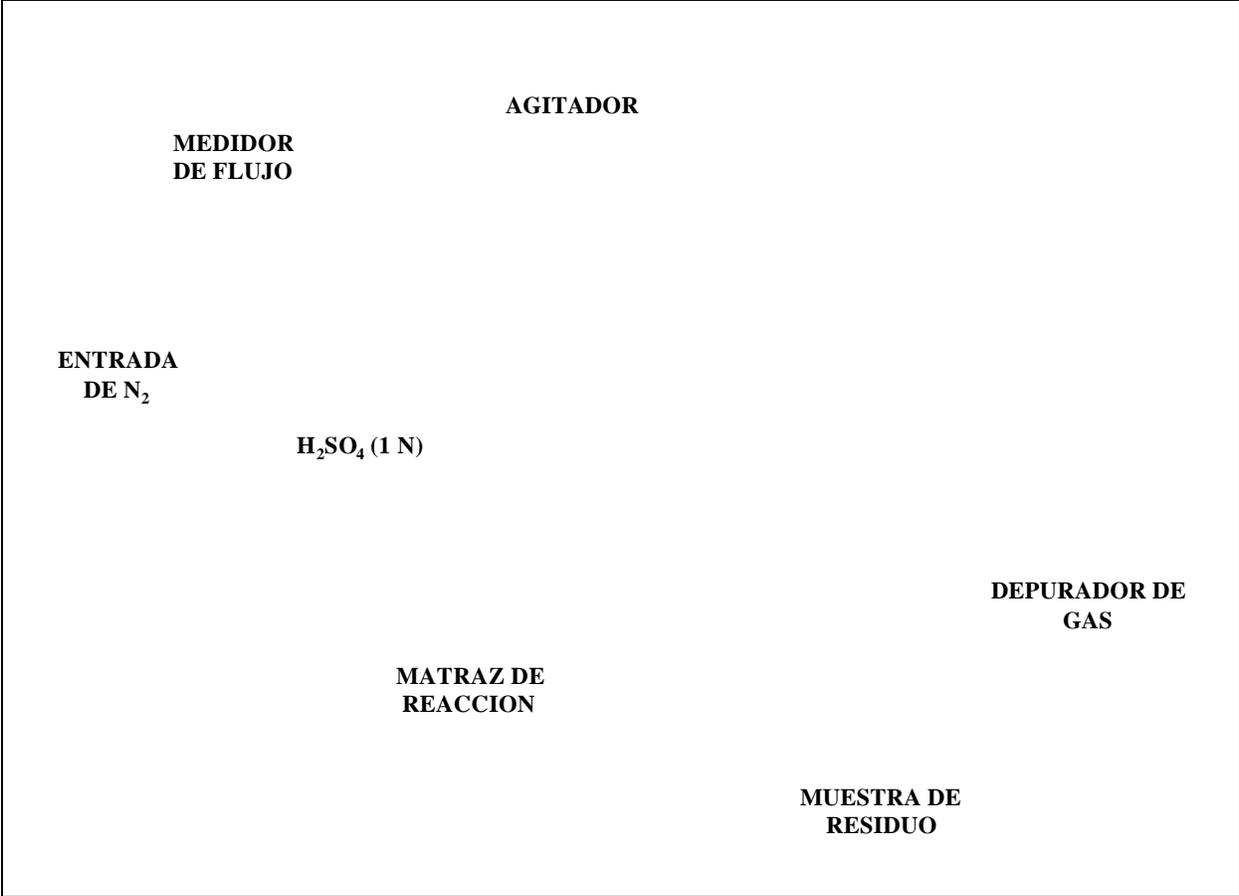
9. DESEMPEÑO DEL MÉTODO

- 9.1. La operación del sistema puede verificarse usando una solución patrón de cianuro (literal 5.4). Desarrollar el procedimiento usando una solución patrón de cianuro como muestra y determinar el porcentaje recuperado. Evaluar la recuperación estándar basada en datos históricos de laboratorio, como se establece en la sección 1 del manual SW 846 de la EPA.

10. REFERENCIAS

- 10.1 No hay referencias disponibles.

EQUIPO PARA DETERMINAR EL ACIDO CIANHÍDRICO DESPRENDIDO DE LOS RESIDUOS



ANEXO F.3 - FIGURA 1

METODO 9010A

CIANURO TOTAL Y AFÍN

1. ALCANCE Y APLICACION

- 1.1. El método 9010 se usa para determinar la concentración de cianuro inorgánico en residuos o lixiviados. El método detecta el cianuro inorgánico que está presente como una sal soluble o como un complejo. De igual forma el método se utiliza para determinar el cianuro total y el cianuro afín para la cloración. El contenido de cianuro reactivo de una muestra, que es el contenido de cianuro que puede generar gases tóxicos cuando se expone a condiciones ligeramente ácidas, no es destilado por el método 9010. Sin embargo, El método 9010 se usa para cuantificar la concentración de cianuro de la prueba de reactividad.
- 1.2. El procedimiento de titulación usando nitrato de plata con un indicador de p-dimetilamino-benzorodamina se usa para medir las concentraciones de cianuro que exceden de 0.1 mg/L (0.025 mg/250 mL de líquido absorbido).
- 1.3. El procedimiento de colorimetría se usa para concentraciones de cianuro menores a 1 mg/l con una precisión de ± 0.02 mg/l.
- 1.4. Este método fue diseñado para atender el problema de los análisis de trazas (<1000 ppm). También puede ser usado para los análisis menores (1000 ppm - 10,000 ppm) y mayores (>10,000 ppm) adaptando las técnicas de preparación de la muestra y la celda de medida. Sin embargo, la cantidad de hidróxido de sodio en las soluciones estándar y las muestras analizadas debe ser la misma.

2. RESUMEN DEL METODO

- 2.1 El cianuro, como ácido cianhídrico (HCN), es liberado de muestras que contienen cianuro por medio de una operación de destilación recirculada bajo condiciones ácidas y es absorbido en un depurador que contiene una solución de hidróxido de sodio. El cianuro en la solución se determina mediante un análisis colorimétrico o mediante una titulación.
- 2.2 En la medida colorimétrica, el cianuro se convierte a cloruro de cianógeno (CNCl) debido a la reacción del cianuro con Cloramina-T a un pH menor a 8. Cuando la reacción se completa, se forma un color mediante la adición del reactivo ácido piridin-barbitúrico. La absorbancia se lee a una longitud de onda de 578 nm para el complejo formado. Para obtener colores de intensidad comparable, es esencial que la muestra y la solución estándar tengan el mismo contenido de sal.
- 2.3 En la titulación se usa una solución estándar de nitrato de plata para titular el cianuro en presencia de un indicador sensible a la plata.

3. INTERFERENCIAS

- 3.1 Las interferencias se eliminan o reducen mediante la utilización de un proceso de destilación. El cloro y los sulfuros interfieren en el método 9010.
- 3.2 Agentes oxidantes tales como cloruros descomponen muchos cianuros. Las interferencias por cloro pueden eliminarse mediante la adición de arsenito de sodio en exceso al residuo antes de ser preservado y almacenado. De esta manera se reduce el cloro a cloruros los cuales no interfieren.
- 3.3 Las interferencias por sulfuros pueden eliminarse mediante la adición de nitrato de bismuto en exceso al residuo (para precipitar como sulfuro) antes de la destilación. Las muestras que contienen ácido

sulfhídrico, sulfuros metálicos, u otros compuestos que puedan producir ácido sulfhídrico durante el proceso de destilación, deben tratarse mediante la adición de nitrato de bismuto.

- 3.4 Resultados altos pueden obtenerse de muestras que contienen nitratos y/o nitritos. Durante la destilación, los nitratos y los nitritos forman ácido nitroso, el cual reacciona con algunos compuestos orgánicos para formar oximas. Estos compuestos una vez formados se descomponen bajo las condiciones de la prueba para formar ácido cianhídrico (HCN). La posibilidad de interferencia por nitratos o nitritos se elimina mediante un pretratamiento con ácido sulfámico justo antes de la destilación. Los nitratos y nitritos interfieren cuando se presentan en concentraciones mayores a 10 mg/L y acompañados con ciertos compuestos orgánicos.
- 3.5 El tiocianato se ha reportado como una interferencia cuando se presenta en concentraciones altas. Concentraciones menores a 10 mg/L se ha encontrado que no interfieren.
- 3.6 Acidos grasos, detergentes, surfactantes y otros compuestos pueden formar espuma durante la destilación cuando se encuentran en concentraciones altas y hacen difícil detectar el punto final de la titulación. Estas sustancias deben extraerse a un pH entre 6 y 7.

4. EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 Equipos de destilación con recirculación como los que se muestran en las Figuras 2 y 3. El matraz o balón de calentamiento debe ser de 1 litro con un tubo de entrada y una provisión para el condensador. El depurador de gas puede ser un depurador Fisher-Milligan de 270 mL (Fisher, Parte No. 07-513) o su equivalente. El equipo de recirculación puede ser una unidad de destilación Wheaton 377160 o su equivalente.
- 4.2 Espectrofotómetro - Adecuado para mediciones a 578 nm con una celda de 1 cm de ancho.
- 4.3 Agitador de plato caliente / manto de calentamiento.
- 4.4 pH metro.
- 4.5 Luz ámbar.
- 4.6 Fuente de vacío.
- 4.7 Refrigerador.
- 4.8 Microbureta de un mL.
- 4.9 Matraces o balones volumétricos clase A de 100 y 250 mL.
- 4.10 Erlenmeyer de 500 mL.

5. REACTIVOS

- 5.1 Deben usarse reactivos analíticos en todas las pruebas. A menos que se dé alguna indicación, todos los reactivos a usar deben estar de acuerdo con las especificaciones dadas por el Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química, donde tales especificaciones están disponibles. Otras clasificaciones pueden usarse, con tal que primero se averigüe si el reactivo es de la pureza necesaria para permitir su uso sin disminuir la precisión de la determinación.
- 5.2 Agua calidad reactivo. Todas las referencias en este método se refieren al agua calidad reactivo (agua que se ha generado por algún método el cual cumpla con las especificaciones dadas por la ASTM para

el agua tipo II. (Referencia: 1985. *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01; "Standard Specification for Reagent Water"*; ATSM: Philadelphia, PA, 1985,; D 1193-77)).

5.3 Reactivos para recolección de muestras, preservación y manejo.

5.3.1 Arsenito de sodio (0.1N), NaAsO₂. Disolver 3.2 g de NaAsO₂ en 250 mL de agua.

5.3.2 Ácido Ascórbico, C₆H₈O₆.

5.3.3 Solución de hidróxido de sodio (50%), NaOH. Disponible comercialmente.

5.3.4 Ácido acético (1.6M) CH₃COOH. Diluir una parte de ácido acético concentrado en 9 partes de agua.

5.3.5 2,2,4-Trimetilpentano, C₈H₁₈.

5.3.6 Hexano, C₆H₁₄.

5.3.7 Cloroformo, CHCl₃.

5.4 Reactivos para cianuros afines a cloración.

5.4.1 Solución de hipoclorito de calcio (0.35M), Ca(OCl)₂. Combinar 5 g de hipoclorito de calcio y 100 mL de agua. Agitar antes de usar.

5.4.2 Solución de hidróxido de sodio (1.25N), NaOH. Disolver 50 g de NaOH en 1 litro de agua.

5.4.3 Arsenito de sodio (0.1N). Ver literal 5.3.1.

5.4.4 Papel de almidón con yoduro de potasio.

5.5 Reactivos para destilación.

5.5.1 Hidróxido de sodio (1.25N). Ver literal 5.4.2.

5.5.2 Nitrato de bismuto (0.062M), Bi(NO₃)₃ · 5H₂O. Disolver 30 g de Bi(NO₃)₃ · 5H₂O en 100 mL de agua. Durante la agitación, adicionar 250 mL de ácido acético glacial, CH₃COOH. Agitar hasta disolver y diluir en un litro de agua.

5.5.3 Ácido Sulfámico (0.4N), H₂NSO₃H. Disolver 40 g de H₂NSO₃H en un litro de agua.

5.5.4 Ácido sulfúrico (18N), H₂SO₄. Lentamente y cuidadosamente adicionar 500 mL de ácido sulfúrico concentrado a 500 mL de agua.

5.5.5 Solución de cloruro de magnesio (2.5M), MgCl₂ · 6H₂O. Disolver 510 g de MgCl₂ · 6H₂O en un litro de agua.

5.5.6 Papel de acetato de plomo.

5.6 Reactivos para espectrofotometría.

5.6.1 Solución de hidróxido de sodio (0.25N), NaOH. Disolver 10 g de NaOH en un litro de agua.

5.6.2 Fosfato de sodio monobásico (1M), NaH₂PO₄ · H₂O. Disolver 138 g de NaH₂PO₄ · H₂O en un litro de agua. Refrigerar esta solución.

5.6.3 Solución de Cloramina-T (0.44%), $C_7H_7ClN_2O_2S$. Disolver 1.0 g de Solución de Cloramina-T, blanca en 100 mL de agua y refrigerar hasta que se vaya a usar.

5.6.4 Reactivo de ácido piridín-barbitúrico, $C_5H_5N \cdot C_4H_4N_2O_3$. Colocar 15 g de ácido barbitúrico en un matraz o balón volumétrico de 250 mL y adicionar justo la cantidad suficiente de agua para lavar las paredes del balón y humedecer el ácido barbitúrico. Adicionar 75 mL de piridina y mezclar. Adicionar 15 mL de ácido clorhídrico concentrado, mezclar, y enfriar a temperatura ambiente. Diluir hasta 250 mL con agua. Este reactivo es estable por seis meses aproximadamente si se almacena en un lugar oscuro y refrigerado.

5.6.5 Solución patrón de cianuro de potasio (1 mL = 1000 mg de CN^-), KCN. Disolver 2.51 g de KCN y 2 g de KOH en 900 mL de agua. Estandarizar con nitrato de plata, $AgNO_3$, 0.0192 N. Diluir a la concentración apropiada para lograr 1 mL = 1000 mg of CN^- .

NOTA: Un procedimiento detallado para la estandarización con nitrato de plata se describe en "Los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales" (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th Edition, (1985), Methods 412C and 407A).

5.6.6 Solución de cianuro de potasio intermedia (1 mL = 1000 mg de CN^-), KCN. Diluir 100 mL del patrón de cianuro de potasio (1 mL = 1000 mg de CN^-) hasta 1000 mL con agua.

5.6.7 Solución estándar de cianuro de potasio (1 mL = 10 mg CN^-), KCN. Prepararla fresca diluyendo 100 ml de solución estándar de cianuro de potasio intermedia y 10 mL de NaOH 1N y llevarla hasta un litro con agua.

5.7 Reactivos para titulación.

5.7.1 Indicador de rodamina - Disolver 20 mg de p-dimetilamino-benzo-rodamina, $C_{12}H_{12}N_2OS_2$, en 100 mL de acetona.

5.7.2 Solución estándar de nitrato de plata (0.0192N), $AgNO_3$. Triturar o moler aproximadamente 5 g de $AgNO_3$ y secar hasta un peso constante a 40°C. Pesar 3.2647 g de $AgNO_3$ seco. Disolver en un litro de agua.

NOTA: Un procedimiento detallado para la estandarización con nitrato de plata se describe en "Los métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales" (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 16th Edition, (1985), Methods 412C and 407A).

6. RECOLECCION DE LA MUESTRA, PRESERVACION Y MANEJO

6.1 Todas las muestras deben recolectarse usando un plan de muestreo avalado por las autoridades competentes o de acuerdo con estándares internacionales.

6.2 Las muestras deben recolectarse en recipientes plásticos o de vidrio. Todos los recipientes deben ser perfectamente limpiados y enjuagados.

6.3 Los agentes oxidantes tales como el cloro descomponen muchos cianuros. Para determinar si agentes oxidantes están presentes, probar una gota de la muestra con papel de prueba de almidón con yoduro de potasio. Un color azul indica la necesidad de un tratamiento. Adicionar unos pocos mililitros de una solución de arsenito de sodio 0.1 N a la muestra, hasta que una gota de la misma no produzca color en el papel indicador. Adicionar 5 ml más de solución de arsenito de sodio, por cada litro de muestra. El ácido ascorbico puede usarse como alternativa aunque no es tan efectivo como el arsenito. Adicionar unos pocos cristales de ácido ascorbico a la muestra, hasta que una gota de la misma no produzca color en el papel indicador. Adicionar 0.6 g más de ácido ascorbico por cada litro de muestra.

- 6.4 Muestras acuosas deben preservarse mediante la adición de una solución de hidróxido de sodio (50%) hasta que el pH sea igual o mayor a 12 durante el tiempo de recolección.
- 6.5 Las muestras deben enfriarse hasta 4°C.
- 6.6 Cuando se ha preservado apropiadamente una muestra de cianuro, esta puede ser almacenada cerca de 14 días..
- 6.7 Residuos sólidos y aceitosos pueden ser extraídos con anterioridad según el método 9013, descrito separadamente. Debe usarse una solución de NaOH (pH=12) como extractante. Dicha solución cede el cianuro extractable.
- 6.8 Si ácidos grasos, detergentes y surfactantes son un problema, pueden extraerse usando el procedimiento, de Acidificación de la muestra con ácido acético (1.6 M) hasta un pH de 6 a 7.

PRECAUCIÓN: Este procedimiento puede producir ácido cianhídrico gaseoso letal.

Extraer con isooctano, hexano o cloroformo (preferiblemente en el orden mencionado) con un volumen de solvente igual al 20% del volumen de la muestra. Una extracción por lo general es suficiente para reducir la concentración de los compuestos hasta un nivel en el que no interfieran. Evitar las extracciones múltiples o tiempos de contacto prolongados a un bajo pH con el fin de mantener las pérdidas de HCN al mínimo. Cuando se completa la extracción, inmediatamente subir el pH de la muestra por encima de 12 con una solución de NaOH 50%.

7. PROCEDIMIENTO

7.1 Pretratamiento para los cianuros tratables afines a cloración.

7.1.1 Esta prueba debe desarrollarse bajo luz ámbar. El $K_3[Fe(CN)_6]$ puede descomponerse bajo la luz UV y por lo tanto resultar la prueba positiva para cianuro afín a cloración si se expone la muestra a la luz fluorescente o a la luz solar. Se requiere de dos alícuotas de muestra idénticas para determinar los cianuros afines a cloración.

7.1.2 A una de las muestras de 500 mL o a una de las muestras diluidas hasta 500 mL, adicionar una solución de hipoclorito de calcio gota a gota durante la agitación y manteniendo el pH entre 11 y 12 con hidróxido de sodio 1.25 N hasta que un exceso de cloro se presente, lo cual se manifiesta por un viraje a color azul del papel de almidón con yoduro de potasio. La muestra se somete a una cloración alcalina mediante este paso.

PRECAUCION: El producto de la reacción inicial de la cloración alcalina es un gas de cloruro cianógeno muy tóxico, por lo tanto; es necesario que esta reacción sea desarrollada en una campana de extracción.

7.1.3 Probar el cloro en exceso utilizando el papel indicador de almidón con yoduro de potasio y mantener dicho exceso por una hora mediante una agitación continua. Un color azul diferente en el papel de prueba indica una concentración suficiente de cloro. Si es necesario, adicionar más solución de hipoclorito de calcio.

7.1.4 Después de una hora, adicionar porciones de arsenito de un mL hasta que el papel indicador con KI y almidón no muestre residuos de cloro. Adicionar 5 ml en exceso de arsenito de sodio para asegurar la presencia de un exceso de agente reductor.

7.1.5 La prueba para cianuro total se describe más adelante, para muestras cloradas y no cloradas. La diferencia de cianuro total entre las muestras cloradas y no cloradas es el cianuro afín a la cloración.

7.2 Procedimiento de destilación

- 7.2.1 Colocar 500 mL de muestra, o la muestra diluida hasta 500 mL en el matraz o balón de calentamiento de un litro. Agregar con una pipeta 50 mL de hidróxido de sodio 1.25 N dentro del depurador de gas. Si se usa el equipo de la figura 2, adicionar agua hasta que el serpentín esté cubierto. Conectar el balón de calentamiento, el condensador, el depurador de gas y la trampa de vacío.
- 7.2.2 Introducir lentamente una corriente de aire al balón de calentamiento ajustándola mediante la fuente de vacío. Ajustar el vacío de tal forma que aproximadamente dos burbujas de aire por segundo entren al balón de calentamiento a través del tubo de entrada de aire.
- 7.2.3 Si se sabe o se sospecha que las muestras contienen sulfuros, adicionar 50 mL de nitrato de bismuto 0.062 M a través del tubo de entrada de aire. Mezclar por tres minutos. Usar el papel de acetato de plomo para verificar la presencia de sulfuros en la muestra. Un resultado positivo está dado por un color negro en el papel indicador.
- 7.2.4 Si se sabe o se sospecha que las muestras contienen nitratos o nitritos, o si el nitrato de bismuto se ha adicionado a la(s) muestra(s), adicionar 50 mL de ácido sulfámico 0.4 M a través del tubo de entrada de aire. Mezclar por tres minutos.

Nota: Un uso excesivo del ácido sulfámico puede alterar el método y desviar los resultados.

- 7.2.5 Adicionar lentamente 50 mL de ácido sulfúrico 18 N a través del tubo de entrada de aire. Enjuagar el tubo con agua y permitir que el flujo de aire se mezcle con el contenido del balón por tres minutos. Adicionar 20 mL de cloruro de magnesio 2.5 M a través del tubo de entrada de aire y lavar el tubo de entrada con una corriente de agua.
- 7.2.6 Calentar la solución hasta ebullición. Recircular por una hora. Eliminar el calentamiento y continuar con el flujo de aire por al menos 15 minutos. Después de que se enfríe el balón de calentamiento, y se cierre la fuente de vacío, desconectar el depurador de gas.
- 7.2.7 Transferir la solución del depurador de gas al balón o matraz volumétrico de 250 mL. Enjuagar el depurador y verter el contenido dentro del balón volumétrico. Diluir hasta el volumen (250 mL) con agua.
- 7.2.8 Si se va a desarrollar una determinación espectrofotométrica manual, proceda con el literal 7.3.1. Si se va a desarrollar un procedimiento de titulación, proceda con el literal 7.7.

7.3 Determinación espectrofotométrica manual

- 7.3.1 Agregar con una pipeta 50 mL de la solución del depurador dentro del balón volumétrico de 100 mL. Si luego la concentración de la muestra se encuentra que excede el rango lineal de la determinación colorimétrica y la redestilación de una pequeña muestra no es factible, debe tomarse una pequeña alícuota de la misma. Si se toman menos de 50 mL, diluir hasta 50 mL con una solución de hidróxido de sodio 0.25 N.

NOTA: La temperatura de los reactivos y la de la solución fortificada pueden afectar el factor de respuesta de la determinación colorimétrica. Los reactivos almacenados en el refrigerador deben calentarse a temperatura ambiente antes de usarlos. Las muestras no deben dejarse en un instrumento de calentamiento para desarrollar color, pero en cambio deben separarse en alícuotas y vertirlas en una cubeta inmediatamente antes de realizar las lecturas de absorbancia.

- 7.3.2 Adicionar 15 mL de una solución de fosfato de sodio y mezclar. Adicionar 2 mL de cloramina-T y mezclar. Algunos destilados contienen compuestos que tienen una demanda de cloro. Un minuto

después de la adición de cloramina-T, probar el exceso de cloro con el papel indicador de almidón con yoduro de potasio. Si el resultado es negativo, adicionar 0.5 mL de cloramina-T. Después de un minuto volver a verificar con el papel indicador de almidón. Continuar adicionando cloramina-T en cantidades de 0.5 mL hasta que el exceso se mantenga. Después de uno o dos minutos, adicionar 5 mL de una solución de ácido piridín-barbitúrico y mezclar.

7.3.3 Diluir hasta 100 mL con agua y mezclar de nuevo. Dejar la muestra 8 minutos para que se desarrolle el color y después medir la absorbancia a 578 nm con una celda de 1 cm dentro de los 15 minutos siguientes. La concentración de hidróxido de sodio va a ser 0.125 N.

7.4 Curva estándar para muestras sin sulfuros

7.4.1 Preparar una serie de muestras estándares agregando con una pipeta volúmenes adecuados de una solución patrón de cianuro de potasio dentro de balones volumétricos de 250 mL. A cada balón, adicionar 50 mL de hidróxido de sodio 1.25N y diluirlos hasta 250 ml con agua. Preparar las muestras usando la siguiente tabla. La concentración de hidróxido de sodio va a ser 0.25 N.

mL de Solución estándar de trabajo (1 mL = 10 mg CN ⁻)	Concentración (mg CN ⁻ /L)
0	Blanco
1.0	40
2.0	80
5.0	200
10.0	400
15.0	600
20.0	800

7.4.2 Después de preparadas las soluciones estándar de acuerdo con la tabla anterior, agregar con una pipeta 50 mL de cada solución estándar dentro de un balón volumétrico de 100 mL y proceder con los literales 7.3.2 y 7.3.3 para obtener los valores de absorbancia para la curva estándar. La concentración final para la curva de calibración estándar va a ser la mitad de las cantidades en la tabla anterior. (Las concentraciones finales están entre 20 y 400 mg/L).

7.4.3 Se recomienda que al menos dos muestras estándar (la mayor y la menor) se destilen y comparen con valores similares en la curva para asegurar que la técnica de destilación es confiable. Si las muestras estándar destiladas no están de acuerdo con $\pm 10\%$ de las muestras estándar sin destilar, el analista debe encontrar la causa del error aparente antes de proceder.

7.4.4 Preparar una curva estándar entre 20 y 400 mg/L graficando la absorbancia de las muestras estándar versus la concentración de cianuro.

7.5 Curva estándar para muestras con sulfuros

7.5.1 Es obligatorio que todas las muestras estándar sean destiladas de la misma manera que las muestras usando el método de adiciones estándar. Las muestras destiladas por este método van a dar como resultado una curva lineal, a bajas concentraciones, pero que a medida que aumenta la concentración, la recuperación disminuye. Se recomienda que al menos cinco muestras estándar se destilen.

7.5.2 Preparar una serie de muestras estándar de concentración similar a las muestras mencionadas en el literal 7.4.1 y analizadas como se describe en el literal 7.3. Preparar una curva estándar graficando la absorbancia de las muestras estándar versus la concentración de cianuro.

7.6 Cálculo: Si se usa un procedimiento espectrofotométrico, calcular el cianuro, en mg/L, en la muestra original de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{CN}^- (\text{mg/L}) = (A \times B \times C) / (D \times E)$$

donde:

A = mg/L de CN^- leídos de la curva estándar.

B = mL de muestra después de la preparación del análisis colorimétrico (se recomienda 100 mL).

C = mL de muestra después de la destilación (se recomienda 250 mL).

D = mL de muestra original utilizados para la destilación (se recomienda 500 mL).

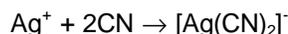
E = mL de muestra usados para el análisis colorimétrico. (se recomienda 50 mL).

7.7 Procedimiento de titulación

7.7.1 Transferir la solución del depurador de gas o una alícuota adecuada de muestra del balón volumétrico de 250 mL a un Erlenmeyer de 500 mL. Adicionar 10 a 12 gotas de indicador de rodamina.

7.7.2 Titular con nitrato de plata estándar 0.0192 N hasta el primer cambio en el color de amarillo a rosado-pardusco. La titulación debe desarrollarse lentamente con agitación constante. Titular un blanco usando la misma cantidad de hidróxido de sodio e indicador como en la muestra. El analista debe familiarizarse con el punto final de la titulación y la cantidad de titulante a usar antes de titular las muestras. Una bureta de 5 mL es adecuada para obtener una titulación precisa.

NOTA: La titulación se basa en la siguiente ecuación:



Cuando todo el cianuro se ha complejado y se adiciona más nitrato de plata, la plata en exceso se combina con el indicador de rodamina para virar la solución amarilla a rosada-pardusca.

7.7.3 Cálculo: Si se usa un procedimiento de titulación, calcular la concentración de CN^- en mg/L en la muestra original de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{CN}^- (\mu\text{g/L}) = \frac{(A - B)}{C} \times D \times \frac{E}{F} \times \frac{2 \text{ mol CN}^-}{1 \text{ eq. AgNO}_3} \times \frac{26.02 \text{ g CN}^-}{1 \text{ mol CN}^-} \times \frac{1 \times 10^6 \mu\text{g}}{1 \text{ g}}$$

Donde:

A = mL de AgNO_3 utilizados para la titulación de la muestra.

B = mL de AgNO_3 utilizados para la titulación del blanco.

C = mL de muestra titulados (se recomienda 250 mL).

D = Normalidad del AgNO_3 (se recomienda 0.0192N).

E = mL de muestra después de la destilación (se recomienda 250 mL).

F = mL de muestra original antes de la destilación (se recomienda 500 mL).

8. CONTROL DE CALIDAD

- 8.1 Todos los datos de control de calidad deben archivar y estar disponibles para cuando se realicen auditorías
- 8.2 Emplear mínimo un blanco de reactivo por tanda analítica o uno en cada 20 muestras para determinar si contaminación o algún efecto de memoria está ocurriendo.
- 8.3 Analizar las muestras estándar verificadas con cada tanda analítica de muestras. Si las muestras estándar no están dentro de un 15% del valor esperado, entonces las muestras deben ser analizadas de nuevo.
- 8.4 Correr un duplicado por cada 20 muestras. Un duplicado es una muestra extraída de la preparación de la muestra total y del proceso analítico. La precisión (CV) del duplicado debe ser 20% o menos. De lo contrario, la muestra debe ser analizada de nuevo.
- 8.5 Correr una muestra fortificada de matriz cada 20 muestras para verificar la eficiencia de destilación de la muestra mediante la adición de cianuro de la muestra estándar de trabajo o de la muestra estándar intermedia hasta 500 mL de muestra para asegurar una concentración aproximada de 40 mg/L. La muestra fortificada de matriz es extraída de la preparación de la muestra total y del proceso analítico.
- 8.6 El método de adiciones estándar debe usarse para el análisis de todas las muestras que sufren interferencias por matriz como son las muestras que contienen sulfuros.

9. DESEMPEÑO DEL METODO

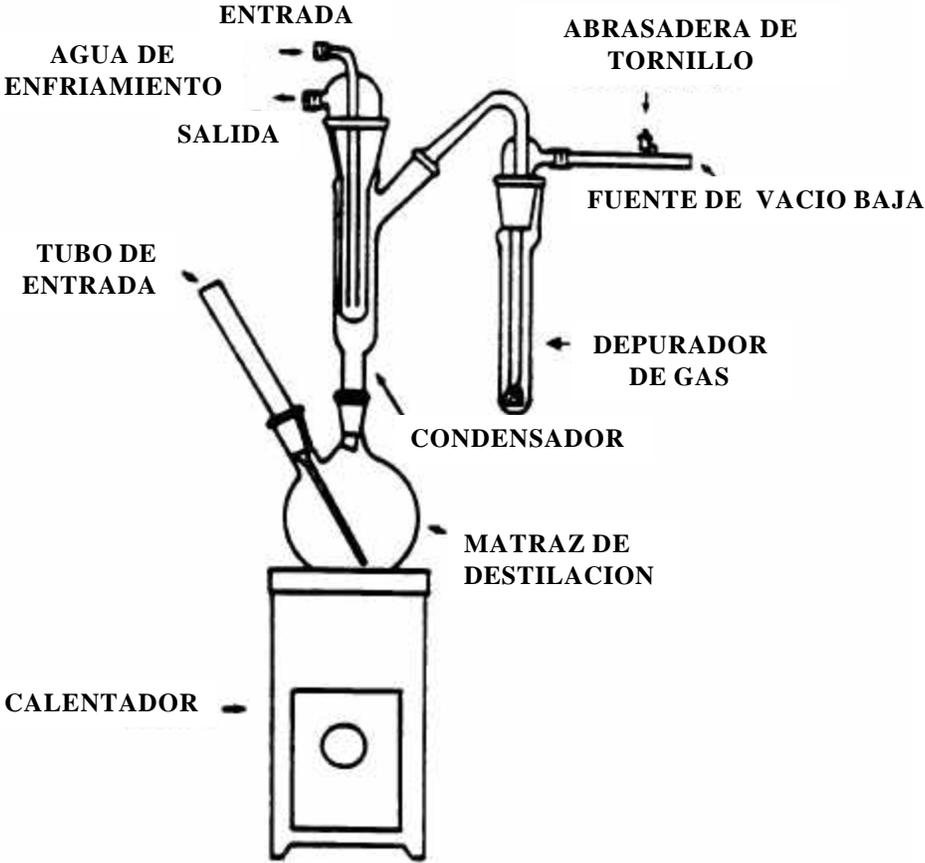
- 9.1 El procedimiento de titulación con nitrato de plata se usa para medir concentraciones de cianuro superiores a 0.1 mg/L. El procedimiento colorimétrico se usa para concentraciones de cianuro menores a 1 mg/L y es bastante preciso hasta cerca de 0.02 mg/L.
- 9.2 El método EPA 335.2 (destilación de una muestra con titulación) reporta que en un laboratorio usando muestras de residuos industriales mezclados y domésticos en concentraciones entre 0.06 y 0.62 mg/L de CN⁻, se obtuvieron desviaciones estándar (precisión) de ± 0.005 a ± 0.094 , respectivamente. En un laboratorio usando muestras de residuos industriales mezclados y domésticos en concentraciones de 0.28 y 0.62 mg/L de CN, la precisión obtenida fue del 85% y el 102% respectivamente.
- 9.3 Es dos estudios adicionales usando aguas superficiales, aguas subterráneas y muestras de lixiviado de un relleno sanitario, el procedimiento de titulación fue ampliamente evaluado. Se usaron concentraciones de cianuro entre 0.5 y 10 mg/L. El límite de detención encontrado fue de 0.2 mg/L tanto para cianuro total como para cianuro afín. La precisión (CV) fue de 6.9% y 2.6% para las determinaciones de cianuro total y 18.6% y 9.1% para las determinaciones de cianuro afín. Las medias recuperadas fueron del 94% y 98.9% para cianuro total, y de 86.7% y 97.4% para cianuro afín.

10. REFERENCIAS

- 10.1 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01; "Standard Specification for Reagent Water"; ATSM: Philadelphia, PA, 1985; D1193-77.
- 10.2 Annual Book ASTM Standards, Part 19; "Standard Test Methods for Cyanide in Water"; ASTM: Philadelphia, PA, 1982; 2036-82.
- 10.3 Bark, L.S.; Higson, H.G. Talanta 1964, 2, 471-479.

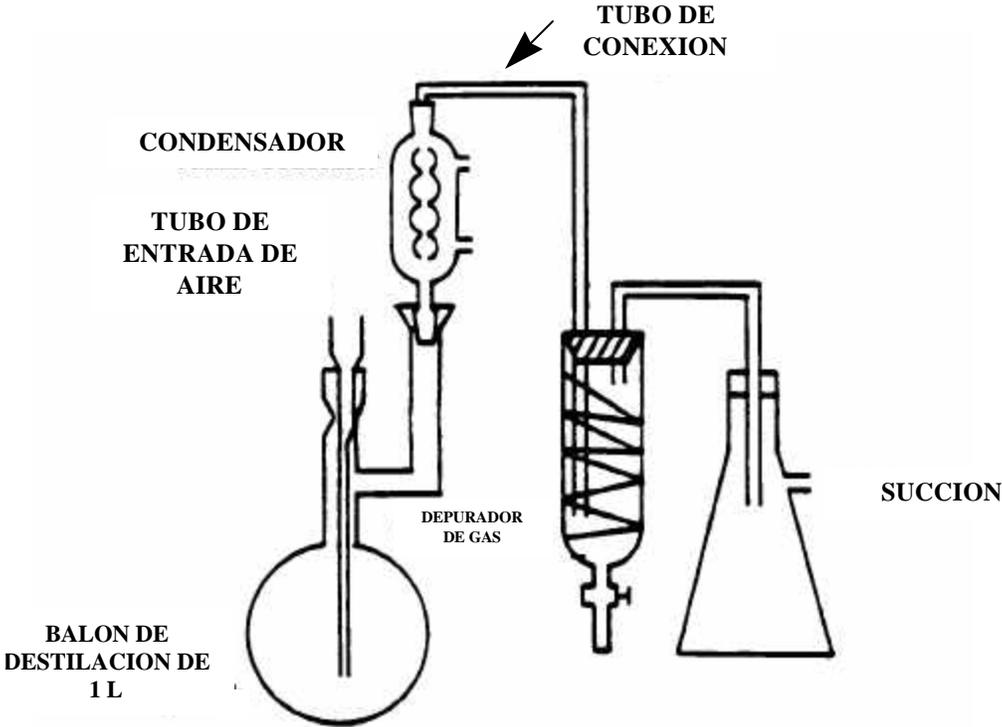
- 10.4 Britton, P.; Winter, J.; Kroner, R.C. "EPA Method Study 12, Cyanide in Water"; final report to the U.S. Environmental Protection Agency. National Technical Information Service: Springfield, VA, 1984; PB80-196674.
- 10.5 Casey, J.P.; Bright, J.W.; Helms, B.D. "Nitrosation Interference in Distillation Tests for Cyanide"; Gulf Coast Waste Disposal Authority: Houston, Texas.
- 10.6 Egekeze, J.O.; Oehne, F.W. J. Anal. Toxicology 1979, 3, 119.
- 10.7 Elly, C.T. J. Water Pollution Control Federation 1968, 40, 848-856.
- 10.8 Fuller, W. Cyanide in the Environment; Van Zyl, D., Ed.; Proceedings of Symposium; December, 1984.
- 10.9 Gottfried, G.J. "Precision, Accuracy, and MDL Statements for EPA Methods 9010, 9030, 9060, 7520, 7521, 7550, 7551, 7910, and 7911"; final report to the U.S. Environmental Protection Agency. Environmental Monitoring and Support Laboratory. Biospheric: Cincinnati, OH, 1984.
- 10.10 Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes; U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Environmental Monitoring and Support Laboratory. ORD Publication Offices of Center for Environmental Research Information: Cincinnati, OH, 1983; EPA-600/4-79-020.
- 10.11 Rohrbough, W.G.; et al. Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, 7th ed.; American Chemical Society: Washington, DC, 1986.
- 10.12 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed.; Greenberg, A.E.; Trussell, R.R.; Clesceri, L.S., Eds.; American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, American Public Health Association: Washington, DC, 1985.
- 10.13 Umaña, M.; Beach, J.; Sheldon, L. "Revisions to Method 9010"; final report to the U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. Research Triangle Institute: Research Triangle Park, NC, 1986.
- 10.14 Umaña, M.; Sheldon, L. "Interim Report: Literature Review"; interim report to the U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. Research Triangle Institute: Research Triangle Park, NC, 1986.

EQUIPO PARA DESTILACION DE CIANURO



ANEXO F.3 - FIGURA 2

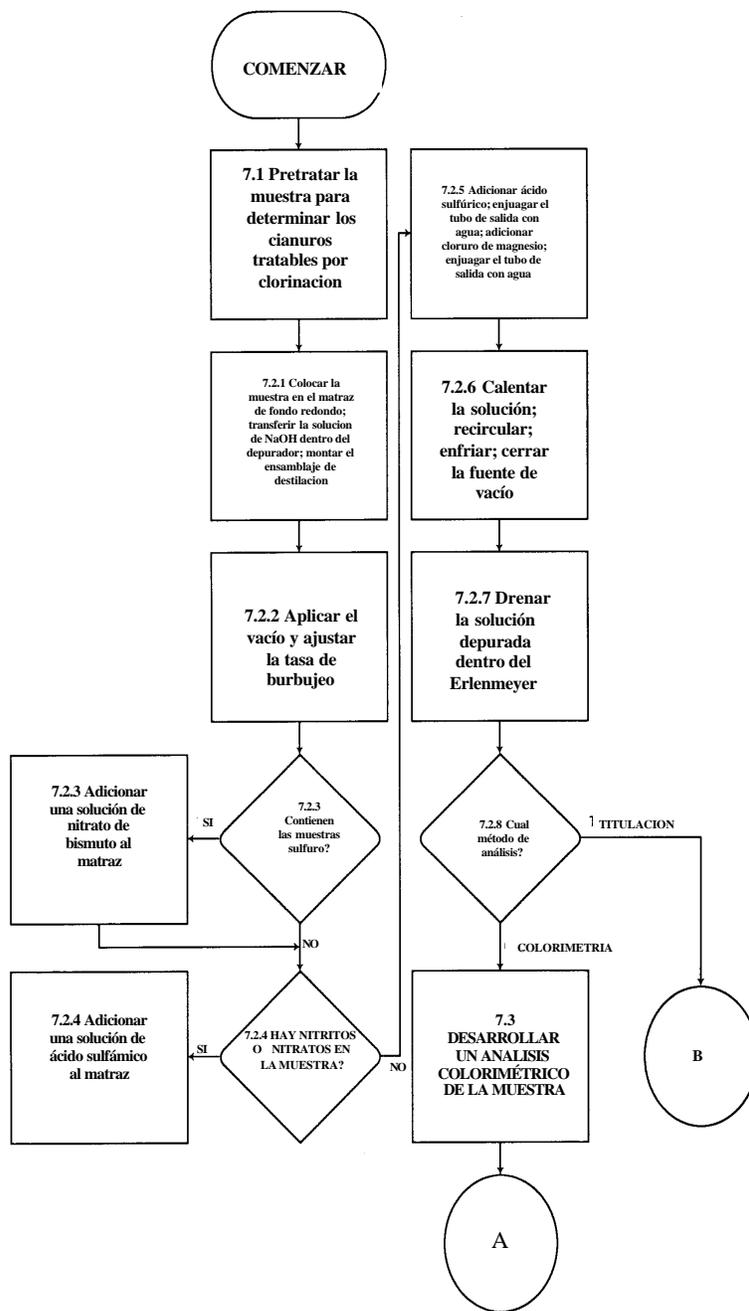
EQUIPO PARA DESTILACION DE CIANURO



ANEXO F.3 - FIGURA 3

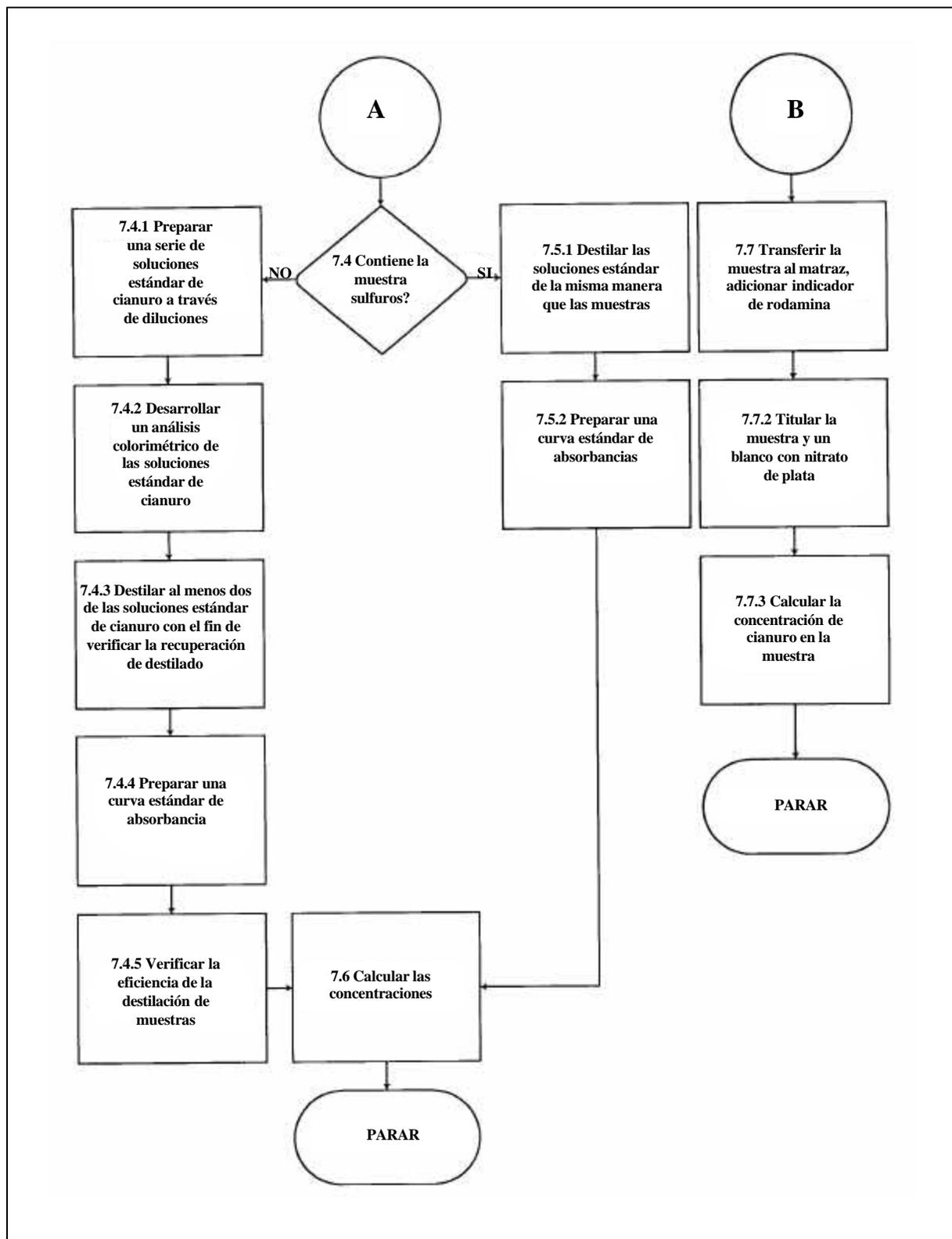
METODO 9010A

CIANURO TOTAL Y AFÍN



ANEXO F.3 - FIGURA 4

METODO 9010A(Continuación)



ANEXO F.3 - FIGURA 4 (Continuación)

GUIA INTERINA PARA SULFURO REACTIVO

El nivel corriente de la EPA para usar como guía es:

Sulfuro desprendido total: 250 mg de H₂S/Kg de residuo.

METODO PRUEBA PARA DETERMINAR EL ACIDO SULFÚDRICO DESPRENDIDO DE LOS RESIDUOS

1. PRESENTACIÓN PRELIMINAR Y APLICACIÓN

- 1.1 Este método es aplicable a todos los residuos, con la condición de que los residuos al mezclarlos con ácidos no formen una mezcla explosiva.
- 1.2 Este método provee una forma de determinar la tasa específica de desprendimiento de ácido sulfhídrico en contacto con un ácido en solución acuosa.
- 1.3 Este método mide únicamente el ácido sulfhídrico o involucrado en las condiciones de la prueba. Este no intenta medir formas de sulfuro diferentes a aquellas que están involucradas bajo las condiciones de la prueba.

2. RESUMEN DEL METODO

- 2.1 Una alícuota de ácido se adhiere a un peso fijo de residuo en un sistema cerrado. El gas generado es arrastrado y pasado por un depurador y el analito es cuantificado. El procedimiento para cuantificar el cianuro se muestra en el método 9030 de la sección 5 del manual SW 846 de la EPA (Se comienza con el literal 7.3 de dicho método), el cual se presenta en este mismo anexo.

3. INTERFERENCIAS

- 3.1 Interferencias sin determinar.

4. EQUIPOS Y MATERIALES (Ver figura 5).

- 4.1 Matraz de fondo redondo de 500 mL, tres cuellos con desprendimiento lateral de vidrio 24/40.
- 4.2 Depurador de gas - 50 mL de depurador calibrado.
- 4.3 Equipo de agitación para lograr aproximadamente 30 RPM. Este puede ser una combinación de un magneto rotatorio y una barra de agitación o un agitador tipo hélice con motor de transmisión superior.
- 4.4 Embudo de decantación con un tubo igualador de presión con un acople de vidrio 24/40 y una camisa de teflón.
- 4.5 Tubo flexible para conectar el suministro de nitrógeno al equipo.
- 4.6 Nitrógeno gaseoso con bomba de aceite o con agua con un regulador de dos etapas.
- 4.7 Rotómetro para monitorear la tasa de flujo de nitrógeno gaseoso.
- 4.8 Balanza analítica capaz de pesar 0.001 g.

5. REACTIVOS

- 5.1 Deben usarse reactivos analíticos en todas las pruebas. A menos que se de alguna indicación, todos los reactivos a usar deben estar de acuerdo con las especificaciones dadas por el Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química, donde tales especificaciones están disponibles. Otras clasificaciones pueden usarse, con tal que primero se averigüe si el reactivo es de la pureza necesaria para permitir su uso sin disminuir la precisión de la determinación.
- 5.2 Agua calidad reactivo. Todas las referencias en este método se refieren al agua calidad reactiva (agua que se ha generado por algún método el cual cumpla con las especificaciones dadas por la ASTM para el agua tipo II. (Referencia: 1985. *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01; "Standard Specification for Reagent Water"*; ATSM: Philadelphia, PA, 1985,; D 1193-77)).

- 5.3 Ácido sulfúrico (0.01N), H_2SO_4 . Adicionar 2.8 mL de ácido sulfúrico concentrado al agua calidad reactivo y diluir hasta 1 L. Tomar una alícuota de 100 mL de la solución y diluir hasta 1 L para obtener una concentración de ácido sulfúrico 0.01 N.
- 5.4 Solución de referencia de sulfuro. Disolver 4.02 g de $Na_2S \cdot 9H_2O$ en un litro de agua reactiva. Esta solución contiene 570 mg/L de ácido sulfhídrico. Diluir con agua calidad reactiva esta solución original para que cubra el rango analítico requerido (100 - 570 mg/L).
- 5.5 Solución de hidróxido de sodio (1.25N), NaOH. Disolver 50 g de NaOH en agua calidad reactivo y diluir hasta 1 litro con agua calidad reactivo.
- 5.6 Solución de hidróxido de sodio (0.25N), NaOH. Diluir 200 mL de la solución de hidróxido de sodio 1.25 N (literal 5.5) hasta un litro con agua calidad reactivo.

6. RECOLECCION DE LA MUESTRA, PRESERVACION Y MANEJO

- 6.1 Las muestras que contienen o se sospecha que contienen residuos con sulfuro deben recolectarse con un mínimo de aireación. La botella debe llenarse completamente, excluyendo los espacios del pico y del tapón. El análisis debe realizarse tan pronto como sea posible. Las muestras deben mantenerse refrigeradas y en un lugar oscuro hasta que el análisis se realice.
- 6.2 Aun cuando se sugiere que las muestras de residuos con cianuro se prueben tan pronto como sea posible, las muestras pueden preservarse ajustando el pH a 12 con una base fuerte, esto puede causar una dilución de la muestra, incrementando la fuerza iónica, y, posiblemente cambiar otras características físicas o químicas del residuo que pueden afectar la tasa de desprendimiento del ácido cianhídrico. Las muestras deben almacenarse en lugares oscuros y refrigerados.
- 6.3 Los análisis deben realizarse en campanas de extracción.

7. PROCEDIMIENTO

- 7.1 Adicionar 50 mL de la solución de NaOH 0.25 N al depurador calibrado y diluir con agua reactiva hasta obtener una apropiada profundidad del líquido.
- 7.2. Ensamblar el sistema y ajustar la tasa de flujo de nitrógeno a 60 mL/min, usando el rotómetro.
- 7.3. Adicionar 10 g del residuo a probar en el sistema.
- 7.4. Con el nitrógeno fluyendo, adicionar suficiente ácido sulfúrico hasta la mitad del matraz. Comenzar con la prueba de 30 minutos.
- 7.5 Agitar mientras el ácido está entrando en el matraz de fondo redondo. La velocidad de agitación debe permanecer constante durante la prueba.

NOTA: La agitación no debe ser tan rápida que cree vórtices.

- 7.6 Después de 30 minutos, cerrar la entrada de nitrógeno y desconectar el depurador. Determinar la cantidad de sulfuro en el depurador de acuerdo con lo establecido en el método 9030 del manual SW 846 de la EPA (Comenzando en el literal 7.3 de dicho método).
- 7.7. Sustituir lo siguiente por el literal 7.3.2 en el método 9030: La solución atrapada debe llevarse a un pH de 2 antes de continuar. Titular una pequeña alícuota de la solución depurada hasta un punto final de pH 2 con HCl 6N y calcular la cantidad de HCl necesaria para acidificar el total de la solución depurada. Combinar la pequeña alícuota acidificada con la solución depurada remanente.

8. CALCULOS

- 8.1 Determinar la tasa específica de desprendimiento de H_2S , usando los siguientes parámetros:

$$R = \text{Tasa específica de desprendimiento (mg/Kg/sec.)} = X \cdot L / W \cdot S$$

Donde:

X = Concentración de H_2S en la solución depurada (mg/L). Esta se obtiene del método 9030.

L = Volumen de solución en el depurador (L).

W = Cantidad de residuo usado (Kg).

S = Tiempo de medida (s) = Tiempo final de N₂ - Tiempo inicial de N₂.

$$\text{Desprendimiento total de H}_2\text{S (mg/Kg)} = R \times S$$

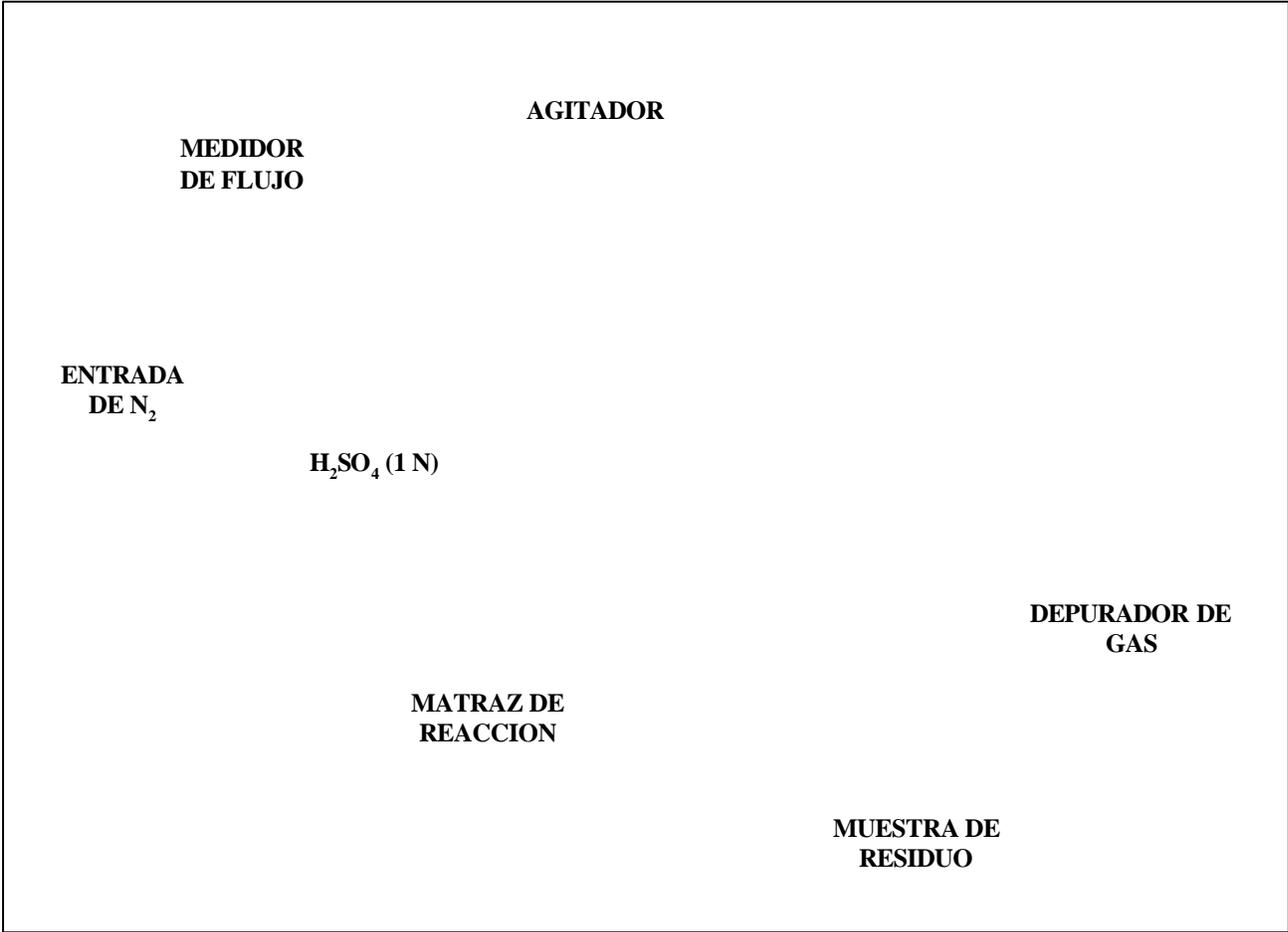
9. DESEMPEÑO DEL MÉTODO

9.1. La operación del sistema puede verificarse usando una solución patrón de sulfuro (literal 5.4). Desarrollar el procedimiento usando una solución patrón de sulfuro como muestra y determinar el porcentaje recuperado. Evaluar la recuperación estándar basada en datos históricos de laboratorio, como se establece en la sección 1 del manual SW 846 de la EPA.

10. REFERENCIAS

10.1 No hay referencias disponibles.

EQUIPO PARA DETERMINAR EL ACIDO SULFHÍDRICO DESPRENDIDO DE LOS RESIDUOS



ANEXO F.3 - FIGURA 5

METODO 9030A**SULFUROS SOLUBLES E INSOLUBLES EN ÁCIDO****1. ALCANCE Y APLICACION**

- 1.1 El procedimiento de destilación descrito en este método está diseñado para la determinación de sulfuros en materiales de residuo sólidos y acuosos, o en efluentes.
- 1.2 Este método provee solo una determinación semi-cuantitativa de los compuestos de azufre en muestras sólidas, considerados como "insolubles en ácidos" (ej., CuS y SnS₂). La recuperación ha mostrado ser entre un 20 y 40% para CuS, uno de los más estables e insolubles compuestos, y entre un 40 y 60% para SnS₂ el cual es ligeramente más soluble.
- 1.3 Este método no es aplicable a muestras con fases múltiples o aceitosas o a muestras no tratables mediante un proceso de destilación.
- 1.4 El método 9030 es adecuado para medir las concentraciones de sulfuro en muestras que contienen entre 0.2 y 50 mg/Kg de sulfuro.
- 1.5 Este método no aplica para destilación de sulfuro reactivo, sin embargo, El método 9030 se usa para cuantificar la concentración de sulfuro de una prueba de reactividad.
- 1.6 Este método mide el sulfuro total el cual se define frecuentemente como la fracción del residuo soluble en ácido. Sin embargo, si se tiene un conocimiento previo del residuo y se espera que contenga sulfuros solubles tales como el H₂S, y sulfuros metálicos tales como el CuS y el SnS₂, el sulfuro total se define como la combinación de las fracciones solubles e insolubles en ácido. Para residuos donde se sospecha que solo sulfuros metálicos están presentes, solo se tiene que desarrollar las pruebas necesarias para la fracción insoluble en ácido.

2. RESUMEN DEL MÉTODO

- 2.1 Para las muestras de sulfuros solubles en ácido, la separación del sulfuro de la matriz de la muestra se logra mediante la adición de ácido sulfúrico a la muestra. La muestra se calienta a 70°C y el H₂S que se forma se destila bajo condiciones ácidas y se transporta mediante una corriente de nitrógeno hacia el interior de las botellas de depuración del gas con acetato de zinc donde se precipita como sulfuro de zinc.
- 2.2 Para las muestras de sulfuros insolubles en ácido, la separación del sulfuro de la matriz de la muestra se logra suspendiendo la muestra en ácido clorhídrico concentrado mediante una agitación vigorosa. El cloruro de estaño(II) está presente para prevenir la oxidación de sulfuro a azufre por medio del ion metálico (como el cobre (II)), por medio de la matriz, o por medio del oxígeno disuelto en los reactivos. La muestra preparada se destila bajo las condiciones acidificadas a 100°C y bajo la corriente de nitrógeno. El ácido sulfhídrico gaseoso se separa de la muestra y se colecta en las botellas de depuración de gas que contienen zinc(II) y una solución tampón fuerte de acetato. El sulfuro de zinc precipita.
- 2.3 El sulfuro en el precipitado de sulfuro de zinc se oxida hasta sulfuro con una cantidad conocida de yodo en exceso. El exceso de yodo se determina mediante la titulación con una solución estándar de óxido arsino fenilo (PAO) o con tiosulfato de sodio hasta que el complejo azul de almidón-yodo desaparezca. Como no es posible el uso de soluciones estándar de sulfuros a causa de la degradación oxidativa, la cuantificación se basa en el PAO o en el tiosulfato de sodio.

3. INTERFERENCIAS

- 3.1 Pruebas acuosas pueden tomarse con un mínimo de aireación para evitar la volatilización del sulfuro o su reacción con el oxígeno, el cual oxida el sulfuro a compuestos de azufre que no se detectan.
- 3.2 Los compuestos de azufre reducidos, como el sulfito y el hidrosulfito, se descomponen en medio ácido, y pueden formar dióxido de azufre. Este gas puede ser transportado a las botellas de depuración del gas de acetato de sodio y subsecuentemente reaccionar con la solución derivando en valores altos

falsos. La adición de formaldehído dentro de las botellas de depuración del gas de acetato de sodio remueve esta interferencia. Cualquier dióxido de azufre que entre al depurador forma un compuesto adicional con el formaldehído el cual no es reactivo con el yodo en la mezcla acidificada. Este método no muestra interferencia por sulfito o al hidrosulfito en concentraciones hasta de 10 mg/Kg.

- 3.3 Las interferencias para los sulfuros insolubles en ácido no se han investigado completamente. Sin embargo, se conoce que el sulfito de sodio y el tiosulfato de sodio interfieren en el procedimiento para sulfuros solubles. El azufre también interfiere porque puede ser reducido a sulfuro utilizando el cloruro estañoso (II) en este procedimiento.
- 3.4 El método yodométrico sufre interferencia por sustancias reductoras que reaccionan con yodo, incluyendo el tiosulfato, el sulfuro, y varios compuestos orgánicos.
- 3.5 El método insoluble no debe usarse para la determinación de sulfuros solubles ya que pueden reducir el sulfuro a sulfuro, lo cual crea una interferencia positiva.

4. EQUIPOS Y MATERIALES

- 4.1 Equipo de evolución del gas como el que se muestra en la figura No 6.
 - 4.1.1 Matraz o balón de 500 mL con tres desprendimientos, junta de reducción estándar 2440 .
 - 4.1.2 Embudo de goteo de 100 mL, junta de salida 24/40.
 - 4.1.3 Tubo de entrada del gas de purga - junta 24/40, esmerilado grueso.
 - 4.1.4 Salida del gas de purga - junta 24/40 reducida hasta un tubo de un cuarto de pulgada.
 - 4.1.5 Botellas de depuración del gas de 125 mL, con ¼ de pulgada de diámetro exterior de entrada y tubos de salida. El tubo de entrada debe estar esmerilado.
 - 4.1.6 Tubo de ¼ de pulgada de diámetro exterior en teflón o polipropileno. No debe usarse caucho.

NOTA: Cuando se analice para sulfuros insolubles en ácido, el equipo de destilación es idéntico al usado en el procedimiento de destilación para sulfuros solubles en ácido excepto por el tubo y las uniones corriente abajo del balón de destilación que deben ser en teflón, polipropileno u otro material resistente al ácido clorhídrico gaseoso. Las juntas de vidrio introducidas deben fijarse con camisas de teflón para prevenir la adhesión y para prevenir las fugas de gas. Deben usarse abrazaderas en las juntas para evitar fugas.

- 4.2 Agitador magnético con superficie de calentamiento.
- 4.3 pH-metro.
- 4.4 regulador de nitrógeno.
- 4.5 Medidor de flujo.
- 4.6 Balanza de carga superior capaz de pesar 0.1 g.

5. REACTIVOS

- 5.1 Deben usarse reactivos analíticos en todas las pruebas. A menos que se de alguna indicación, todos los reactivos a usar deben estar de acuerdo con las especificaciones dadas por el Comité de Reactivos Analíticos de la Sociedad Americana de Química, donde tales especificaciones están disponibles. Otras clasificaciones pueden usarse, con tal que primero se averigüe si el reactivo es de la pureza necesaria para permitir su uso sin disminuir la precisión de la determinación.
- 5.2 Agua calidad reactivo. Todas las referencias en este método se refieren al agua calidad reactiva (agua que se ha generado por algún método el cual cumpla con las especificaciones dadas por la ASTM para el agua tipo II. (Referencia: 1985. *Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01; "Standard Specification for Reagent Water"*; ATSM: Philadelphia, PA, 1985,; D 1193-77)).

- 5.3 Solución de acetato de zinc para preservación de las muestras (2N), $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Disolver 220 g de acetato de zinc dihidratado en 500 mL de agua calidad reactivo.
- 5.4 Hidróxido de sodio (1N), NaOH. Disolver 40 g de NaOH en agua calidad reactivo y diluir hasta un litro.
- 5.5 Formaldehído(solución al 37%), CH_2O . Esta solución se encuentra disponible comercialmente.
- 5.6 Acetato de Zinc para el depurador.
- 5.6.1 Para sulfuros solubles en ácido: Solución de acetato de zinc (0.5 M aproximadamente). Disolver cerca de 110 g de zinc dihidratado en 200 mL de agua calidad reactivo. Adicionar 1 mL de ácido clorhídrico concentrado, HCl, para prevenir la precipitación del hidróxido de zinc. Diluir hasta un litro.
- 5.6.2 Para sulfuros insolubles en ácido: Solución tampón de acetato de sodio y de zinc. Disolver 100 g de acetato de sodio, $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$, y 11 g de acetato de zinc dihidratado en 800 mL de agua calidad reactivo. Adicionar 1 mL de ácido clorhídrico concentrado y diluir hasta un litro. El pH resultante debe ser de 6.8
- 5.7 Ácido para acidificar la muestra.
- 5.7.1 Para sulfuros solubles en ácido: Ácido sulfúrico concentrado , H_2SO_4 .
- 5.7.2 Para sulfuros insolubles en ácido: Ácido clorhídrico (9,8N), HCl. Colocar 200 mL de agua calidad reactivo en un beaker de un litro. Lentamente adicionar el ácido concentrado hasta alcanzar un volumen total de un litro.
- 5.8 Solución de almidón - Usar una solución acuosa o una mezcla de almidón en polvo soluble. Preparar una solución acuosa de acuerdo a las siguientes consideraciones: Disolver 2 g de almidón soluble y 2 g de ácido salicílico, $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$, como preservativo, en 100 mL de agua calidad reactivo caliente.
- 5.9 Nitrógeno.
- 5.10 Solución de yodo. (0.025N aproximadamente).
- 5.10.1 Disolver 25 g de yoduro de potasio, KI, en 700 ml de agua calidad reactivo en un matraz o balón volumétrico de un litro. Adicionar 3.2 g de yodo, I_2 . Permitir que se disuelva. Adicionar el tipo y cantidad de ácido especificado en el literal 7.3.2. Diluir hasta un litro y estandarizar de acuerdo con lo siguiente:
- 5.10.2 Disolver aproximadamente 2 g de KI en 150 ml de agua calidad reactivo. Adicionar exactamente 20 mL de solución de yodo (literal 5.10.1) para titularla y diluirla hasta 300 mL con agua calidad reactivo.
- 5.10.3 Titular con óxido arsino fenilo estandarizado 0.025N o tiosulfato de sodio 0.025N hasta que el color ámbar cambie a amarillo. Adicionar la solución indicadora de almidón. Continuar la titulación gota a gota hasta que el color azul desaparezca.
- 5.10.4 Repetir por duplicado.
- 5.10.5 Calcular la normalidad de acuerdo con la siguiente expresión:
- $$\text{Normalidad (I2)} = (\text{mL de titulante} \times \text{normalidad del titulante}) / (\text{volumen de la muestra en mL})$$
- 5.11 Sulfuro de sodio nohidratado, $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Para la preparación de las soluciones estándar a usar para las curvas de calibración. Las soluciones estándar deben prepararse a un pH entre 9 y 11. Proteger la solución estándar de la exposición al oxígeno mediante la preparación de la misma sin dejar espacio de cabeza. Dichas soluciones estándar son inestables y deben prepararse diariamente.
- 5.12 Cloruro de estaño (II) granular, SnCl_2 .
- 5.13 Titulante.
- 5.13.1 Solución estándar de óxido arsino fenilo (PAO) (0.025N), $\text{C}_6\text{H}_5\text{AsO}$. Esta solución se encuentra disponible comercialmente.
- PRECAUCIÓN: PAO es tóxico.

5.13.2 Solución estándar de tiosulfato de sodio (0.025N), $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Disolver 6.205 + 0.005 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en 500 mL de agua calidad reactivo. Adicionar 9 mL de NaOH (1N) y diluir hasta un litro.

5.14 Hidróxido de sodio (6N), NaOH. Disolver 240 g de hidróxido de sodio en un litro de agua calidad reactivo.

5.15 Ácido clorhídrico (6N), HCl. Colocar 51 ml de agua calidad reactivo en un balón volumétrico de 100 mL clase A. adicionar lentamente HCl concentrado hasta alcanzar el volumen total de 100 mL.

6. RECOLECCION DE LA MUESTRA, PRESERVACION Y MANEJO

6.1 Todas las muestras deben recolectarse usando un plan de muestreo avalado por las autoridades ambientales o de acuerdo con los estándares internacionales.

6.2 Todas las muestras acuosas y los efluentes deben preservarse con acetato de zinc e hidróxido de sodio. Usar cuatro gotas de una solución de acetato de zinc 2N por cada 100 mL de muestra. Ajustar el pH a más de 9 con una solución de hidróxido de sodio 6N. Llenar la botella de muestreo completamente y taparla con un mínimo de aireación. La muestra tratada es relativamente estable y puede conservarse por cerca de 7 días. Si se esperan altas concentraciones de sulfuro en la muestra, continuar adicionando acetato de sodio hasta que todo el sulfuro precipite. Para muestras sólidas, llenar la superficie del sólido con acetato de zinc 2N hasta que se humedezca. Las muestras deben refrigerarse a 4°C y almacenarse sin espacio de cabeza.

6.3 Preparación de la muestra

6.3.1 Para una destilación eficaz, la mezcla en el balón de destilación debe ser de tal consistencia que el movimiento de la barra de agitación sea suficiente para mantener los sólidos de la muestra en suspensión. La mezcla debe estar libre de objetos sólidos que puedan interrumpir a la barra de agitación en su movimiento. Preparar la muestra usando uno de los procedimientos de esta sección, entonces proceder con la destilación (literal 7.0).

6.3.2 Si la muestra es acuosa, agitar el recipiente que contiene la muestra para suspender cualquier sólido, entonces decantar rápidamente un volumen apropiado de muestra (hasta 250 mL) a un cilindro graduado, pesar el cilindro, transferir el contenido al balón de destilación y repesar el cilindro hasta el miligramo más cercano. Debe asegurarse que se esta usando una alícuota representativa, de lo contrario usar la muestra completa.

6.3.3 Si la muestra es acuosa pero contiene flóculos blandos, es posible romper los flóculos y homogeneizar la muestra colocando el recipiente que contiene la muestra en un recipiente molidor y volcar o rotar la muestra por unas horas. La lechada debe fraccionarse en alícuotas y ser pesada al igual que en el literal anterior hasta el miligramo más cercano. Entonces debe diluirse con agua calidad reactivo hasta un volumen total de 250 mL para producir una mezcla que este completamente suspendida por la barra de agitación.

6.3.4 Si la muestra es principalmente acuosa, pero contiene una gran proporción de sólidos, la muestra debe ser grosamente separada por fases y la cantidad de cada fase debe medirse y pesarse hasta el miligramo más cercano, y transferirse a un matraz o balón de destilación en proporción con su abundancia en la muestra. El agua calidad reactivo puede agregarse hasta un volumen total de 250 ml. Como guía, no más de 25 g de peso seco o 50 g de lodos pueden suspenderse adecuadamente en el equipo.

6.3.5 Si la muestra contiene sólidos que absorben agua y se hidratan, limitar el tamaño de la muestra a 25 g de peso seco. Ya que, los sólidos restringen el movimiento del fluido y disminuyen la recuperación.

6.3.6 Si la muestra contiene objetos sólidos que no pueden reducirse en tamaño por volcamiento, los sólidos deben romperse manualmente. Los sólidos como las arcillas pueden romperse con una espátula o un escalpelo en un plato de cristalización. Si los sólidos pueden reducirse a tamaño que pueden ser suspendidos por la barra de agitación, el sólido y el líquido deben pesarse proporcionalmente.

6.3.7 Objetos duros no-porosos, como por ejemplo piedras o pedazos de metal, pueden pesarse y descartarse. El porcentaje en peso de los objetos no porosos debe reportarse y debe utilizarse en el cálculo de la concentración de sulfuros si este tiene un efecto significativo en el resultado reportado

7. PROCEDIMIENTO

Para muestras con sulfuros solubles en ácido, vaya al literal 7.1.

Para muestras con sulfuros insolubles en ácido, vaya al literal 7.2.

7.1 Sulfuro soluble en ácido.

7.1.1 En un experimento preliminar, determinar la cantidad aproximada de ácido sulfúrico que se requiere para ajustar la medición de la muestra a un pH menor o igual a uno. El tamaño de la muestra debe escogerse de tal forma que contenga entre 0.2 y 50 mg de sulfuros. Colocar una cantidad conocida de muestra o de lechada de la muestra en un beaker. Adicionar agua calidad reactivo hasta completar un volumen total de 200 mL. Agitar la mezcla y determinar el pH. Adicionar lentamente ácido sulfúrico hasta que el pH sea igual o menor a uno. Descartar la muestra preliminar.

PRECAUCIÓN: El H_2S es un gas tóxico y se puede desprender durante el proceso de acidificación de la muestra. La operación debe desarrollarse en una campana de extracción y la muestra debe permanecer allí hasta que la muestra se vuelva alcalina o el sulfuro desaparezca. De la cantidad de ácido que se requiere para acidificar la muestra y de la masa o el volumen de muestra acidificada, calcular la cantidad de ácido requerido para acidificar la muestra a ser colocada en el balón de destilación.

7.1.2 Preparar el equipo de evolución del gas tal como se muestra en la figura No. 6. Debe hacerse en una campana de extracción.

7.1.2.1 Preparar un baño de agua aliente a $70^{\circ}C$ llenando un plato de cristalización u otro recipiente adecuado con agua y colocarlo en el agitador magnético con superficie de calentamiento. Colocar el termómetro en el baño y monitorear la temperatura con el fin de mantener el baño a $70^{\circ}C$.

7.1.2.2 Ensamblar el balón de 500 mL con tres desprendimientos, el tubo de entrada del gas disipado, y el tubo de escape. Usar recubrimientos de teflón para sellar las juntas de vidrio. Colocar una barra de agitación revestida con teflón dentro del balón.

7.1.2.3 Colocar dentro de cada botella de depuración del gas 10 ± 0.5 mL de una solución de acetato de sodio 0.5M, 5.0 ± 0.1 mL de formaldehído al 37% y 100 ± 5.0 mL de agua calidad reactivo.

7.1.2.4 Conectar el balón de evolución del gas y las botellas de depuración del gas tal como se muestra en la figura No. 6. Asegurar todas las uniones y conexiones.

7.1.3 Cuidadosamente colocar una muestra pesada con gran precisión que contenga de 0.2 a 50 mg de sulfuro dentro del balón. Si es necesario, diluir hasta un volumen aproximado de 200 mL con agua calidad reactivo.

7.1.4 Colocar el embudo de goteo dentro del balón asegurando que su llave de paso este cerrada. Adicionar el volumen de ácido sulfúrico calculado en el literal 7.1.1 y 50 mL adicionales dentro del embudo de goteo. La llave de paso inferior debe estar cerrada.

7.1.5 Conectar el suministro de nitrógeno a la válvula en la parte superior del embudo de goteo. Abrir el gas de purga (nitrógeno) y ajustar el flujo a través del balón que contiene la muestra a 25 mL/min. El nitrógeno en las botellas de purga debe burbujear a una tasa cercana a cinco burbujas por segundo. La presión del nitrógeno debe limitarse a 10 psi para prevenir esfuerzos excesivos en el sistema de vidrio y en las uniones. Verificar que no hay fugas en el sistema. Abrir la válvula del nitrógeno dirigiéndola hacia el embudo de goteo. Observe que el flujo dentro del recipiente de la muestra va a parar durante un periodo corto de tiempo mientras la presión a través del sistema se iguala. Si el flujo de gas a través de la muestra no retorna dentro del primer minuto, verificar si hay fugas alrededor del embudo de goteo. Una vez el flujo se estabiliza, encender el agitador magnético. Purgar el sistema durante 15 minutos con nitrógeno para remover el oxígeno.

- 7.1.6 Calentar la muestra hasta 70°C. Abrir el embudo de goteo en una posición que permita un flujo de ácido sulfúrico de aproximadamente 5 mL/min. Monitorear el sistema hasta que la gran mayoría del ácido sulfúrico dentro del embudo haya entrado al balón. Los sólidos que absorben agua y se hidratan (hinchán) restringen el movimiento del fluido, por lo tanto, se obtiene una recuperación baja. Por tal motivo las muestras deben limitarse a 25 g de peso seco.
- 7.1.7 Purgar, agitar, y mantener la temperatura a 70°C durante un tiempo de 90 minutos. Cerrar el suministro de nitrógeno. Apagar el calentamiento.
- 7.1.8 Proceder con el literal 7.3 para el análisis del sulfuro de zinc mediante titulación.
- 7.2 Sulfuros insolubles en ácido
- 7.2.1 Como la concentración de HCl durante la destilación debe ser cercana a la concentración para una destilación de H₂S exitosa, el contenido de agua debe controlarse. Es imperativo que la concentración final de HCl en el balón de destilación sea cercana a 6.5N y que la muestra esté en su mayoría suspendida dentro del fluido debido a la acción de la barra de agitación. Lo anterior se logra adicionando 50 mL de agua calidad reactivo, incluyendo agua en la muestra, 100 mL de HCl 9.8N, y la muestra al balón de destilación. Los sólidos que absorben agua y se hidratan (hinchán) restringen el movimiento del fluido, por lo tanto, se obtiene una recuperación baja. Por tal motivo las muestras deben limitarse a 25 g de peso seco. Otras muestras pueden tomarse en un rango de 25 a 50 g.
- 7.2.2 Si la matriz es un sólido seco, pesar un pedazo de la muestra que contenga entre 0.2 y 50 mg de sulfuro. El sólido debe triturarse para reducir el tamaño de partícula a 1 mm o menos. Adicionar 50 mL de agua calidad reactivo.
- 7.2.3 Si la matriz es acuosa, debe usarse un máximo de 50 g de muestra. No se debe adicionar agua. Como ninguno de los compuestos de la muestra es volátil, preferiblemente secar la muestra para mejorar la sensibilidad de medida concentrando la muestra. Si menos de 50 g de muestra se requieren para lograr el contenido de 0.2 a 50 mg de sulfuros para la prueba, adicionar agua calidad reactivo hasta un volumen total de 50 mL.
- 7.2.4 Si la muestra es en su mayoría sólida, debe determinarse el contenido de agua en la muestra (titulación Karl fisher, pérdidas en seco, u otro medio apropiado) y debe determinarse el agua en la muestra de 50 mL de volumen total (agua necesaria para obtener la concentración correcta del HCl). Por ejemplo, si una muestra de 20 g es necesaria para lograr el nivel deseado de sulfuro de 0.2 a 50 mg y la muestra es un 50% de agua entonces 40 mL de los 50 mL de agua calidad reactivo se adicionan al tiempo con la muestra y 100 mL de HCl 9.8 N se adicionan al balón de destilación.
- 7.2.5 Pesar la muestra y 5 g de SnCl₂ y adicionarlos dentro del matraz o balón de destilación. Usar hasta 50 mL de agua calidad reactivo, como se calculó anteriormente, para enjuagar cualquier recipiente de vidrio.
- 7.2.6 Montar el equipo de destilación tal como se muestra en la figura No.6. Colocar 100 ± 2.0 ml de una solución tampón de acetato de sodio o de acetato de zinc y 5.0 ± 0.1 mL de formaldehído al 37% en cada botella de depuración del gas. Apretar las abrazaderas en las conexiones del balón de destilación.
- 7.2.7 Asegurar que la válvula de paso está cerrada y después adicionar 100 ± 1.0 mL de HCl al embudo de goteo. Conectar la línea de nitrógeno a la parte superior del embudo y abrir el nitrógeno para presurizar el espacio de cabeza en el embudo de goteo.
- 7.2.8 Ajustar el flujo de nitrógeno a 25 mL/min. El nitrógeno en las botellas de depuración del gas debe burbujear a cerca de 5 burbujas por segundo. Purgar el oxígeno del sistema por cerca de 15 min.
- 7.2.9 Prender el agitador magnético. Ajustar la barra de agitación para que gire lo más rápido posible. El fluido debe formar un vórtice. Si no, la destilación va a exhibir poca recuperación. Adicionar todo el HCl del embudo de goteo al balón.

7.2.10 Calentar el baño de agua hasta alcanzar el punto de ebullición (100°C). La muestra puede o no estar ebullendo. Permitir que la destilación purgada proceda durante 90 minutos a 100°C. Cerrar el suministro de nitrógeno. Apagar el calentamiento.

7.2.11 Proceder con el literal 7.3 para el análisis del sulfuro de zinc mediante titulación.

7.3 Titulación del destilado.

7.3.1 Transferir con pipeta una cantidad conocida de solución de yodo estándar 0.025 N (Ver literal 5.10.5) en un balón o matraz de 500 mL, adicionar la cantidad en exceso que se necesite para oxidar el sulfuro. Adicionar suficiente agua calidad reactivo para llevar el volumen de la muestra hasta 100 mL. El volumen de la solución de yodo estándar debe ser aproximadamente 65 mL para muestras con 50 mg de sulfuros.

7.3.2 Si se usa una destilación para sulfuros solubles en ácido, adicionar 2 mL de HCl 6N. Si se usa una destilación para sulfuros insolubles en ácido, 10 mL de HCl 6N deben adicionarse al yodo.

7.3.3 Agregar con una pipeta las dos soluciones de las botellas de depuración del gas dentro del balón, mantener la punta de la pipeta debajo de la superficie de la solución de yodo. Si en algún punto durante la transferencia de las soluciones de zinc o enjuagando las botellas, el color ámbar del yodo desaparece o cambie a amarillo, debe adicionarse más yodo 0.025N. Dicha cantidad debe adicionarse a la cantidad del literal 7.3.1 para los cálculos respectivos. Registrar el volumen total de la solución estándar de yodo 0.025N utilizado.

7.3.4 Preparar una solución de enjuague con una cantidad conocida de solución estándar de yodo 0.025N, 1 mL de HCl 6N, y agua calidad reactivo para enjuagar el precipitado blanco remanente (sulfato de zinc) de las botellas de depuración del gas dentro del balón. No deben haber trazas visibles de precipitado después del enjuague.

7.3.5 Enjuagar cualquier traza de yodo remanente de las botellas de depuración con agua calidad reactivo, y transferir el enjuague al balón.

7.3.6 Titular la solución del balón con una solución estándar de óxido arsino fenilo 0.025N o una solución de tiosulfato de sodio 0.025N hasta que el color ámbar descolore hasta amarillo. Adicionar suficiente cantidad de indicador de almidón para que la solución tome un color azul oscuro y luego títule hasta que el color azul desaparezca. Registrar el volumen de titulante utilizado.

7.3.7 Calcular la concentración de sulfuros utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{sulfuros (mg/kg) o (mg/L)} = \frac{32.06 \text{ g} * (\text{mL I}_2 \times \text{N I}_2) - (\text{mL de titulante} \times \text{N titulante}) \times (2 \text{ eq.})}{\text{peso de la muestra (kg) o volumen de la muestra (L)}}$$

8. CONTROL DE CALIDAD

8.1 Todos los datos de control de calidad deben archivar y estar a disponibles para cuando se realicen auditorías. Este método debe realizarse o estar bajo la supervisión de analistas experimentados.

8.2 Emplear mínimo un blanco de reactivo por tanda analítica o uno en cada 20 muestras para determinar si contaminación o algún efecto de memoria están ocurriendo.

8.3 Verificar que las soluciones estándar están preparadas con agua y una cantidad conocida de sulfuro de sodio. Debe correrse una verificación del estándar con cada tanda de muestras analíticas, o una vez cada veinte muestras. Una recuperación aceptable depende del nivel de la matriz.

8.4 Una muestra fortificada de matriz debe correrse para cada tanda analítica o para cada 20 muestras, en cualquiera que sea más frecuente, la determinación de los efectos de la matriz. Si la recuperación es baja, es un indicio de sulfuros insolubles en ácido. Una muestra fortificada de matriz es una muestra obtenida a través de un proceso completo de preparación y análisis de la muestra.

9. DESEMPEÑO DEL MÉTODO

9.1. EXACTITUD - La exactitud para este método fue determinada por tres laboratorios independientes mediante la medición de los porcentajes de recuperación de muestras de matrices limpias (agua) fortificadas y muestras de residuos. Los resultados se resumen a continuación:

9.1.1 Para sulfuros solubles en ácido

9.1.1.1 Exactitud solo en el paso de titulación

9.1.1.1.1 Recuperación del 84-100% en el Lab A

9.1.1.1.2 Recuperación del 110-122% en el Lab B

9.1.1.2 Exactitud para todo el método para matrices limpias (H₂O)

9.1.1.3 Recuperación del 94-106% en el Lab C

9.1.1.4 Exactitud para todo el método para muestras de residuos actuales

9.1.1.3.1 Recuperación del 77-92% en el Lab C

Niveles de fortificación entre 0.4 y 8 mg/L

9.1.2 Para sulfuros insolubles en ácido

El porcentaje de recuperación no se ha estudiado tan ampliamente como si se ha hecho para sulfuros solubles en ácido.

9.1.2 Exactitud para todo el método para muestras de residuos sintéticos

9.1.2.1.1 Recuperación del 21-81% en el Lab C

Niveles de fortificación entre 2.2 y 22 mg/L

9.2 Precisión

9.2.1 Para sulfuros solubles en ácido

9.2.1.1 Precisión solo en el paso de titulación

9.2.1.1.1 Lab A CV (Precisión) % 2.0 a 37

9.2.1.1.2 Lab B CV (Precisión) % 1.1 a 3.8

9.2.1.2 Precisión para todo el método para matrices limpias (H₂O)

9.2.1.2.1 Lab C CV (Precisión) % 3.0 a 12

9.2.1.3 Precisión para todo el método para muestras de residuos actuales

9.2.1.3.1 Lab C CV (Precisión) % 0.86 to 45

9.2.2 Para sulfuros insolubles en ácido

9.2.2.1 Precisión para todo el método para muestras de residuos sintéticos

9.2.2.2.1 Lab C CV (Precisión) % 1.2 a 42.

9.3 Límite de detección: El límite de detección se determinó mediante el análisis de siete muestras por duplicado entre 0.45 y 4.5 mg/L. El límite de detección se calcula como el número de desviación estándar para un valor de la distribución t-student's para una prueba con n-1 grados de libertad y 99% de nivel de confiabilidad. El límite de detección para una matriz limpia (H₂O) se encuentra que está entre 0.2 y 0.4 mg/L.

10. REFERENCIAS

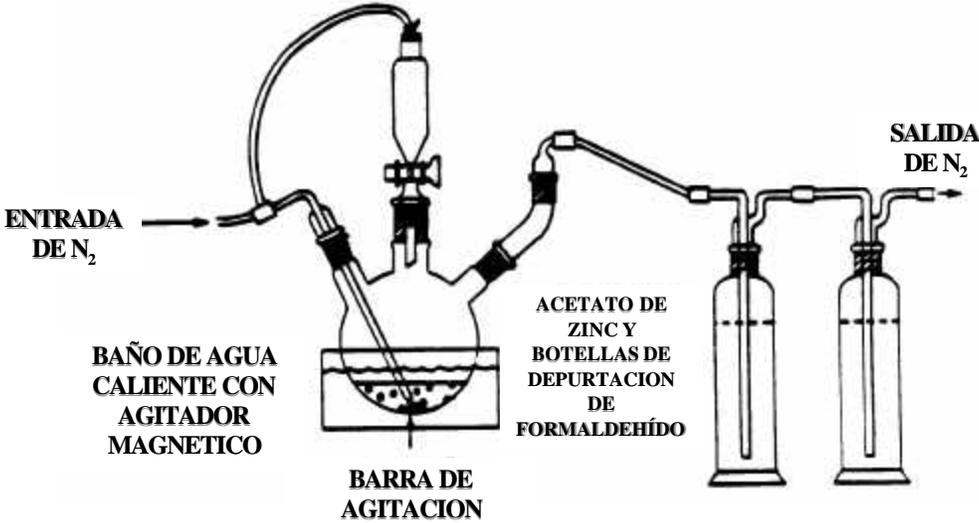
10.1 Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods, 2nd ed.; U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response. U.S. Government Printing Office: Washington, DC, 1982, revised 1984; SW-846.

- 10.2 Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes; U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Environmental Monitoring and Support Laboratory. ORD Publication Offices of Center for Environmental Research Information: Cincinnati, OH, 1979; EPA-600/4-79-020.
- 10.3 CRC Handbook of Chemistry and Physics, 66th ed.; Weast, R., Ed.; CRC: Boca Raton, FL, 1985.
- 10.4 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed.; Greenberg, A.E.; Trussell, R.R.; Clesceri, L.S., Eds.; American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, American Public Health Association: Washington, DC, 1985; Methods 427, 427A, 427B, and 427D.
- 10.5 Andreae, M.O.; Banard, W.R. Anal. Chem. 1983, 55, 608-612.
- 10.6 Barclay, H. Adv. Instrum. 1980, 35(2), 59-61.
- 10.7 Bateson, S.W.; Moody, G.J.; Thomas, J.P.R. Analyst 1986, 111, 3-9.
- 10.8 Berthage, P.O. Anal. Chim. Acta 1954, 10 310-311.
- 10.9 Craig, P.J.; Moreton, P.A. Environ. Technol. Lett. 1982, 3, 511-520.
- 10.10 Franklin, G.O.; Fitchett, A.W. Pulp & Paper Canada 1982, 83(10), 40-44.
- 10.11 Fuller, W. In Cyanide in the Environment; Van Zyl, D., Ed.; Proceedings of Symposium; December, 1984.
- 10.12 Gottfried, G.J. "Precision, Accuracy, and MDL Statements for EPA Methods 9010, 9030, 9060, 7520, 7521, 7550, 7551, 7910, and 7911"; final report to the U.S. Environmental Protection Agency (EMSL-CI); Biopheric.
- 10.13 Kilroy, W.P. Talanta 1983, 30(6), 419-422.
- 10.14 Kurtenacher, V.A.; Wallak, R. Z. Anorg. U. Allg. Chem. 1927, 161 202-209.
- 10.15 Landers, D.H.; David, M.B.; Mitchell, M.J. Int. J. Anal. Chem 1983, 14, 245-256.
- 10.16 Opekar, F.; Brukenstein, S. Anal. Chem. 1984, 56, 1206-1209.
- 10.17 Ricklin, R.D.; Johnson, E.L. Anal. Chem. 1983, 55, 4.
- 10.18 Rohrbough, W.G.; et al. Reagent Chemicals, American Chemical Society Specifications, 7th ed.; American Chemical Society: Washington, DC, 1986.
- 10.19 Snedecor, G.W.; Ghnan, W.G. Statistical Methods; Iowa State University: Ames, IA, 1980.
- 10.20 Umaña, M.; Beach, J.; Sheldon, L. "Revisions to Method 9010"; final report to the U.S. Environmental Protection Agency on Contract No. 68-01-7266; Research Triangle Institute: Research Triangle Park, NC, 1986; Work Assignment No. 1.
- 10.21 Umaña, M.; Sheldon, L. "Interim Report: Literature Review"; interim report to the U.S. Environmental Protection Agency in Contract No. 68-01-7266; Research Triangle Institute: Research Triangle Park, NC, 1986; Work Assignment No. 3.
- 10.22 Wang, W.; Barcelona, M.J. Environ. Inter. 1983, 9, 129-133.
- 10.23 Wronski, M. Talanta 1981, 28, 173-176.
- 10.24 Application Note 156; Princeton Applied Research Corp.: Princeton, NJ.
- 10.25 Guidelines for Assessing and Reporting Data Quality for Environmental Measurements; U.S. Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. U.S. Government Printing Office: Washington, DC, 1983.
- 10.26 Fed. Regist. 1980, 45(98), 33122.
- 10.27 The Analytical Chemistry of Sulfur and Its Compounds, Part I; Karchmer, J.H., Ed.; Wiley-Interscience: New York, 1970.

- 10.28 Methods for the Examination of Water and Associated Materials; Department of the Environment: England, 1983.
- 10.29 "Development and Evaluation of a Test Procedure for Reactivity Criteria for Hazardous Waste"; final report to the U.S. Environmental Protection Agency on Contract 68-03-2961; EAL: Richmond, CA.
- 10.30 Test Method to Determine Hydrogen Sulfide Released from Wastes; U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste. Preliminary unpublished protocol, 1985.
- 10.31 1985 Annual Book of ASTM Standards, Vol. 11.01; "Standard Specification for Reagent Water"; ASTM: Philadelphia, PA, 1985; D1193-77.

EQUIPO DE EVOLUCION DEL GAS

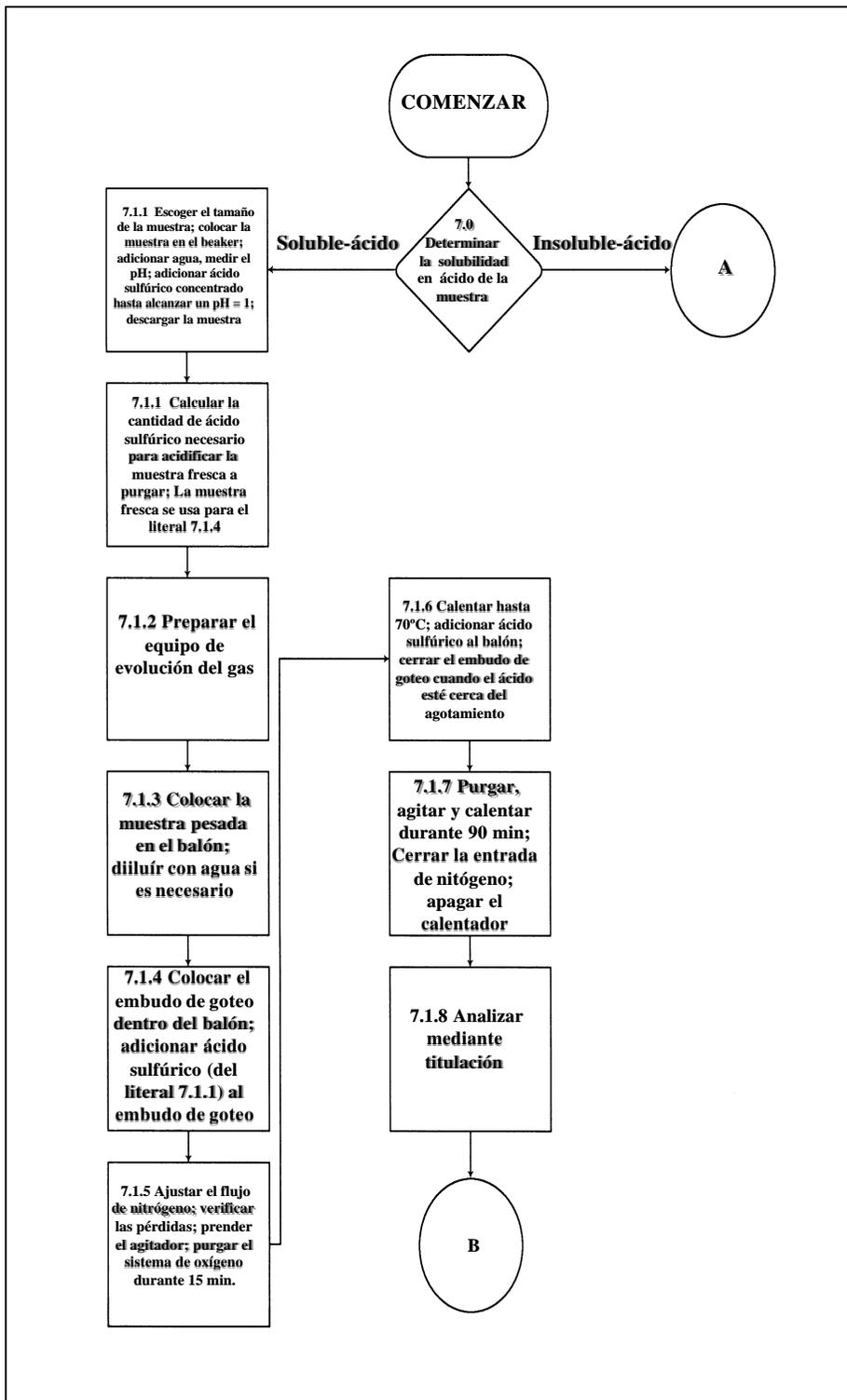
H_2SO_4 (HCl PARA SULFUROS INSOLUBLES EN ACIDO)



ANEXO F.3 - FIGURA No. 6

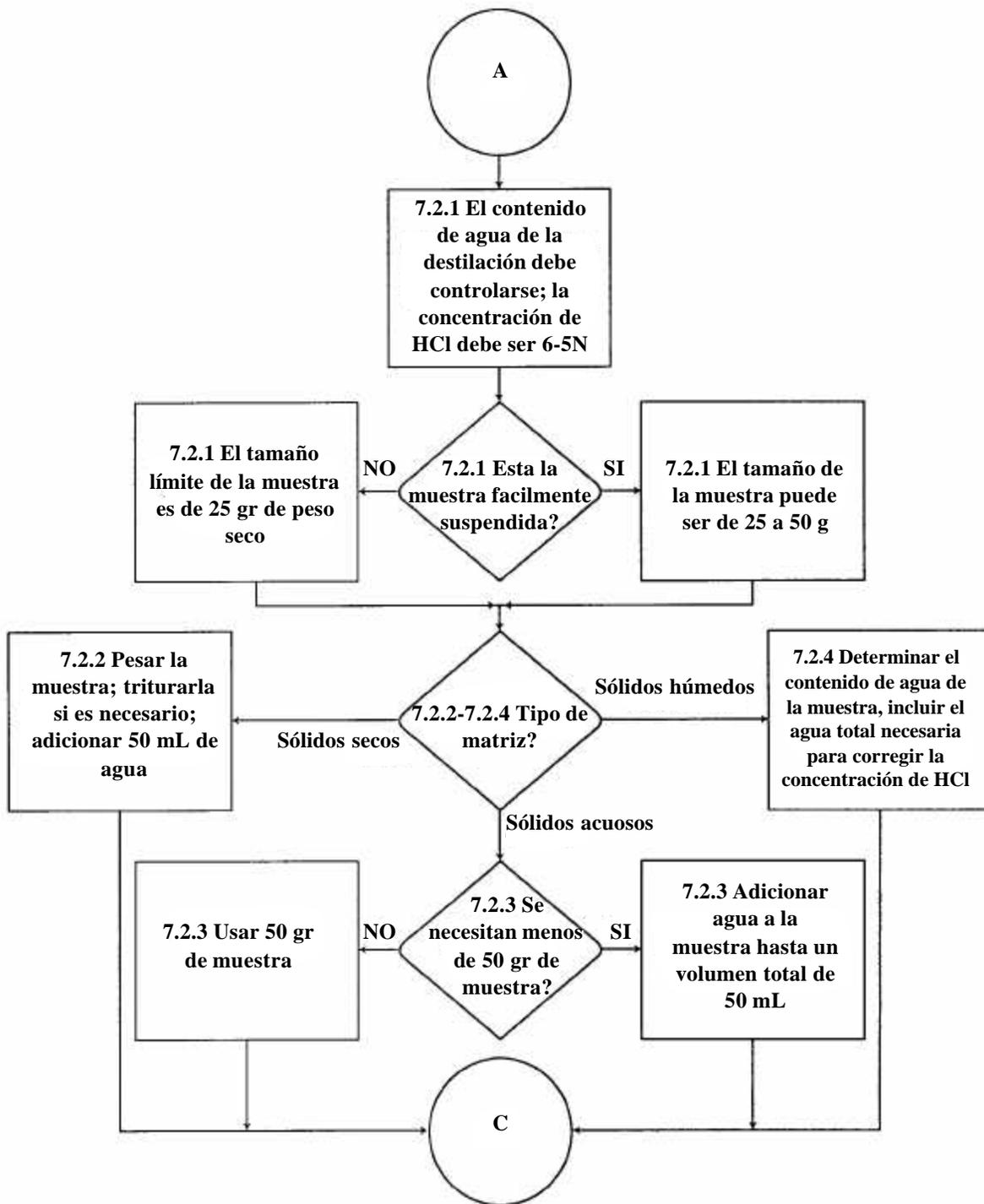
METODO 9030A

SULFUROS INSOLUBLES Y SOLUBLES EN ÁCIDO



ANEXO F.3 -FIGURA 7

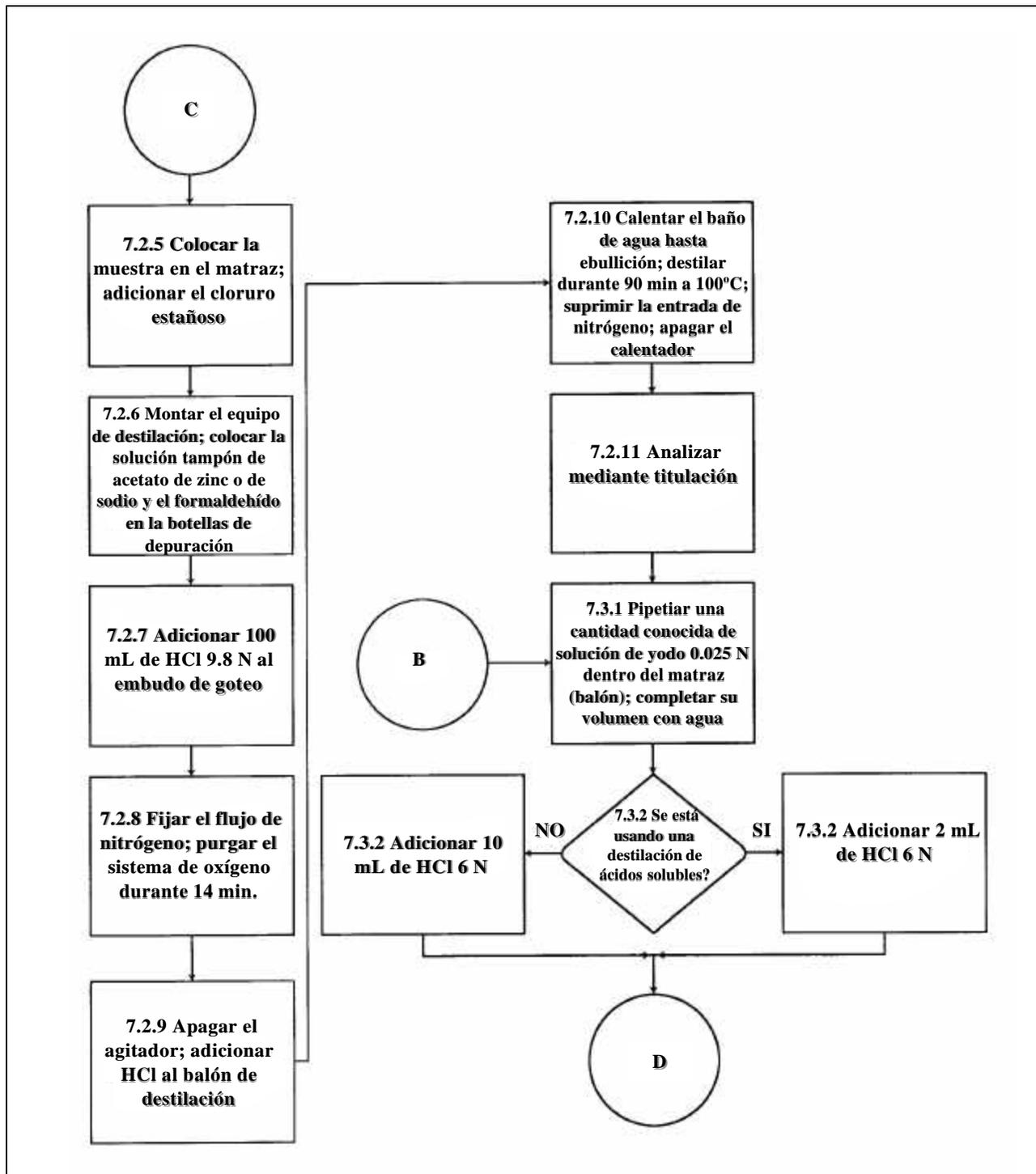
METODO 9030A
(Continuación)



ANEXO F.3 -FIGURA 7 (Continuación)

METODO 9030A

(Continuación)



ANEXO F.3 -FIGURA 7 (Continuación)

METODO 9030A

(Continuación)

D

7.3.3 Pipetiar la solución de la botella de depuración dentro del erlenmeyer

7.3.4 Preparar una solución de enjuague a partir de una solución de yodo 0.025 N, HCl 6N y agua

NO

7.3.3 Ha desaparecido el color ámbar del yodo?

SI

7.3.3 Adicionar más yodo; registrar el volumen total de yodo usado

7.3.5 Enjuagar las trazas de yodo de las botellas de depuración; Transferir los enjuagues al balón (matraz)

7.3.6 Titular la solución hasta que el color ámbar destiña; adicionar el indicador de almidón, titular hasta que el color azul desaparezca, registrar el volumen de titulante utilizado

7.3.7 Calcular la concentración de sulfuros en la muestra

PARAR

ANEXO F.4

MÉTODO PARA LA PRUEBA DE LIXIVIACIÓN PARA DETERMINAR LA CARACTERÍSTICA DE TOXICIDAD (TCLP)

A continuación se transcribe el método de la prueba de lixiviación para determinar la característica de toxicidad, conocido como ensayo TCLP, por sus siglas en inglés. Este método permite establecer, a través de la determinación de la concentración de ciertos constituyentes en el lixiviado de la prueba y su comparación con los niveles máximos permisibles presentados el literal F.7.2.1 sobre residuos peligrosos, si un residuo exhibe la característica de toxicidad que le confiere la calidad de residuo tóxico (Referencia: método 1311 de la referencia SW-846 de la EPA. También aparece en el Apéndice II de la Parte 261 del Título 40 del Código Federal de Regulaciones de los EUA (Title 40, Environmental Protection, United States Code of Federal Regulations, 40 CFR 261 Appendix II).

A. RESUMEN DEL MÉTODO

- A.1 La secuencia de pasos que conforman este método se presenta esquemáticamente en la figura 1.
- A.1.1 Para residuos líquidos (es decir aquellos que contienen menos del 0.5% de material sólidos seco) después de filtración a través de un filtro de fibra de vidrio de 0.6 a 0.8 micrómetros (μm), el filtrado se define como el extracto TCLP.
- A.1.2 Para residuos que contienen 0.5% o más de sólidos, el líquido se separa de la fase sólida y se preserva para su posterior análisis; el tamaño de la partícula de la fase sólida se reduce, en caso de ser necesario. La fase sólida se lleva al proceso de extracción con una cantidad del reactivo de extracción igual a 20 veces el peso de los sólidos. El reactivo de extracción empleado esta en función de la alcalinidad de la fase sólida y del tipo de residuos analizados. Para extraer compuestos volátiles se requiere el equipo de extracción de volumen muerto cero (VMC) descrito en el literal C.2.1 y presentado en la figura 2. Después de la extracción el líquido se separa de la fase sólida usando un filtro de fibra de vidrio de 0.6 a 0.8 μm .
- A.1.3 la fase líquida inicial del residuo y el extracto son compatibles (es decir, si al combinarse no forman fases múltiples) se pueden mezclar y analizar juntos. Si son incompatibles, se analizan separadamente y los resultados se combinan matemáticamente para obtener una concentración media en volumen.
- A.1.4 Si al efectuarse un análisis fisicoquímico completo del residuo en cuestión no se encuentra en el mismo constituyentes de toxicidad, o están presentes en bajas concentraciones de modo que no rebasan los límites máximos permisibles, no es necesario llevar a cabo la prueba de extracción.

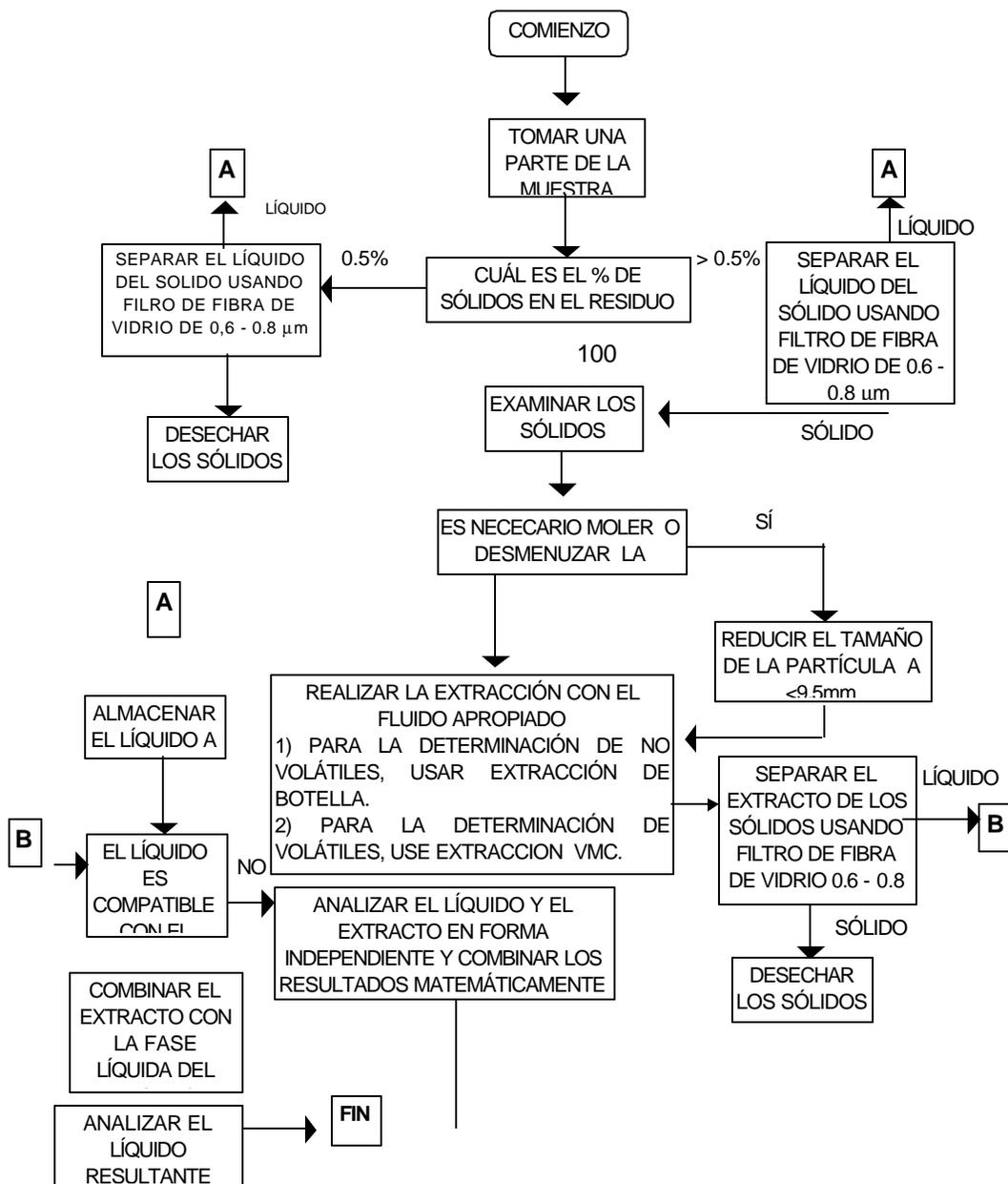
B. MUESTREO, PRESERVACION Y MANEJO DE MUESTRAS

- B.1 Para llevar a cabo las pruebas de extracción de los constituyentes volátiles y no volátiles de un residuo, deben tomarse previamente las muestras del mismo, de acuerdo con los siguientes requisitos:
 - B.1.1 Debe recolectarse un mínimo de dos muestras representativas del residuo que deben analizarse; la primera se emplea para las pruebas preliminares, la segunda se emplea para la extracción.
 - B.1.2 Las muestras y extractos obtenidos deben prepararse para el análisis tan pronto como sea posible. Si se requiere preservación, esta debe refrigerarse a 4°C en por un periodo máximo de 14 días.
 - B.1.3 Cuando el residuo va a ser evaluado para compuestos volátiles, debe tenerse cuidado para minimizar las pérdidas de estos. Las muestras deben ser recolectadas y preservadas de modo que se prevenga la pérdida de compuestos orgánicos volátiles, COV (por ejemplo, las muestras deben tomarse en frascos sellados y preservarse a 4°C).

B.1.4 Los extractos o porción de ellos, en la determinación de metales, deben acidificarse con ácido nítrico a un pH menor de 2; si hay precipitación, véase el literal F.15.1.

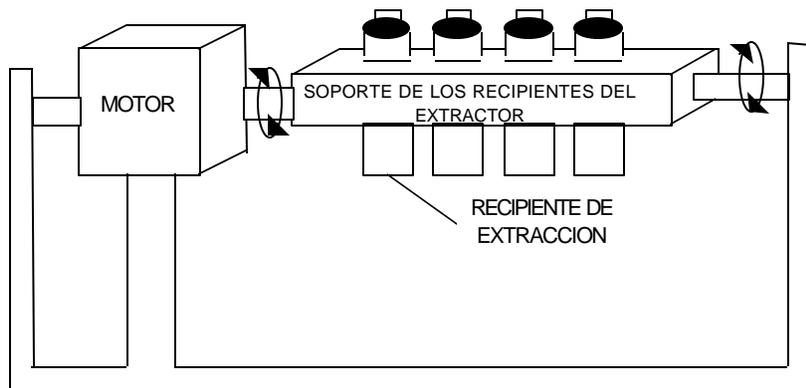
B.1.5 En ningún caso deben agregarse sustancias para preservar la muestra antes de la extracción.

Esquema de la prueba de lixiviación para determinar la característica de toxicidad (TCLP)



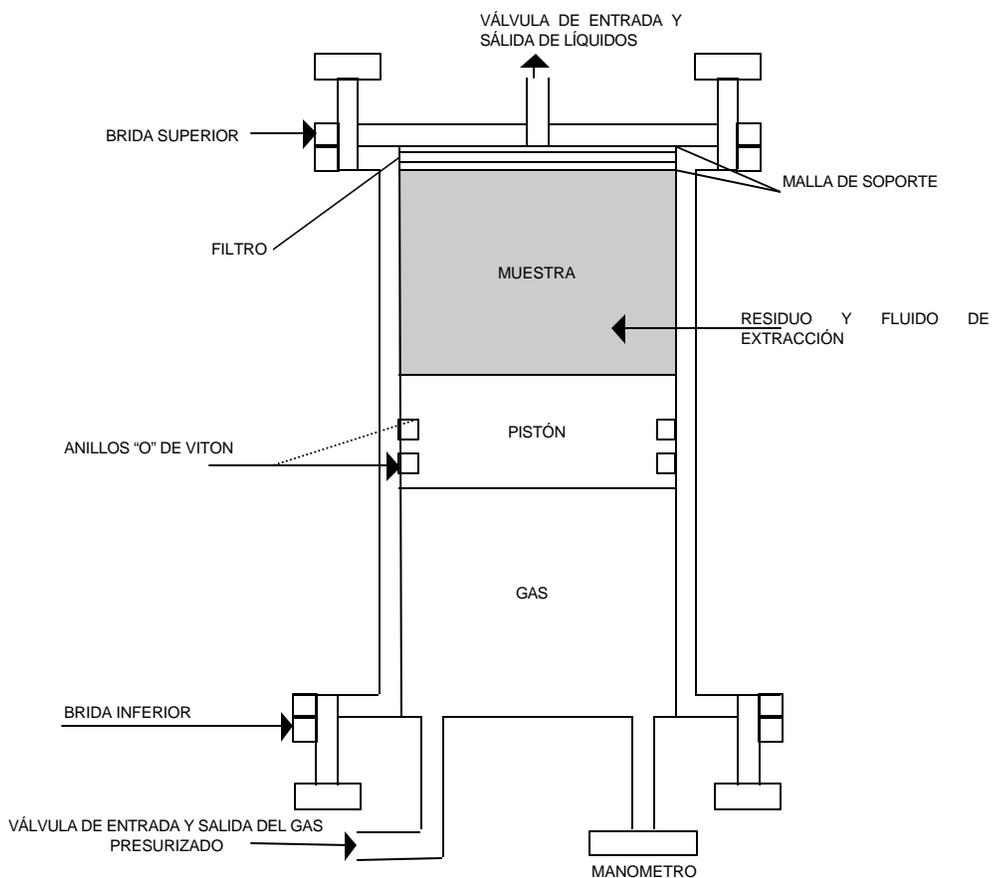
ANEXO F.4 - FIGURA 1

Esquema del aparato de agitación por rotación



ANEXO F.4 - FIGURA 2

Esquema del equipo de extracción de volumen muerto cero (vmc)



ANEXO F.4 - FIGURA 3

C. APARATOS Y MATERIALES:

- C.1 Aparato de agitación. Debe ser capaz de agitar los recipientes de extracción de arriba hacia abajo a 30 ± 2 revoluciones por minuto. La figura 2 presenta un esquema del aparato de agitación por rotación.
- C.2 Recipientes de extracción.
- C.2.1 Extracción de compuestos volátiles.
- C.2.1.1 Se utilizan recipientes de extracción de volumen muerto cero (VMC) únicamente cuando el residuo se analiza para la movilidad de los constituyentes volátiles. La figura 3 presenta un esquema del equipo de extracción de volumen muerto cero (VMC). Este tipo de recipiente permite la separación inicial líquido-sólido, la extracción y la filtración final sin necesidad de abrirlo. Debe tener un volumen interno de 500 - 600 mL y estar equipado para recibir un filtro de 90-110 mm.
- C.2.1.2 Este recipiente debe contar en su interior con un pistón provisto de empaques de VITON (anillos "O" de VITON) que sea capaz de moverse con una presión de 1.05 kg/cm^2 o menos. Si se requiere más presión para mover el pistón, deben reemplazarse los anillos "O".
- C.2.1.3 El VMC debe probarse antes de cada extracción en busca de fugas. Para hacerlo presurizar a 3.5 kg/cm^2 , mantener la presión por una hora y comprobar de nuevo la presión; o bien, presurizar y sumérgirlo en agua y comprobar la presencia de burbujas de aire que escapen por cualquiera de las uniones.
- C.2.2 Extracción de compuestos no volátiles:
- C.2.2.1 Se necesitan frascos con suficiente capacidad para contener la muestra y el reactivo de extracción. No es necesario que estos frascos queden completamente llenos; pueden ser de diferentes materiales, dependiendo de los constituyentes por analizar y la naturaleza del residuo. Cuando se van a evaluar los constituyentes inorgánicos, los frascos deben ser de vidrio borosilicado. Si son de plástico, sólo pueden ser de politetrafluoroetileno (PTFE). Cuando se usa este tipo de frascos, el aparato de filtración descrito se utiliza para la separación inicial líquido-sólido y para la filtración del extracto final.
- C.3. Equipos de filtración. Se recomienda que todas las filtraciones se lleven a cabo en una campana de extracción.
- C.3.1 Equipo de filtración para residuos con constituyentes volátiles. Para filtrar estos residuos debe usarse el recipiente de extracción VMC descrito anteriormente. El equipo debe ser capaz de soportar y mantener en su lugar el filtro de fibra de vidrio y resistir la presión requerida para lograr la separación (3.5 kg/cm^2).
- C.3.2 Equipo de filtración para residuos con constituyentes no volátiles. Se puede utilizar cualquier portafiltros capaz de soportar un filtro de fibra de vidrio y la presión requerida para lograr la separación. Estos equipos deben tener un volumen mínimo de 300 mL y estar equipados para recibir un tamaño de filtro mínimo de 47 mm (se recomienda utilizar portafiltros con una capacidad interna de 1.5 L, equipados para recibir un filtro de 142 mm de diámetro).
- C.3.3 Materiales de construcción. Los recipientes de extracción y equipos de filtración deben ser de material inerte que no lixivie o absorba los componentes del residuo.
- C.4 Filtros. Los filtros deben estar hechos de fibra de vidrio borosilicado, sin aglutinantes y tener un tamaño efectivo de poro de 0.6 a $0.8 \mu\text{m}$ o equivalente. No deben usarse prefiltros. Cuando se evalúe la movilidad de metales, cada uno de los filtros debe someterse a un lavado ácido antes de usarse, enjuagándose con ácido nítrico 1N seguido por tres enjuagues consecutivos de un litro de agua grado reactivo.
- C.5 Potenciómetro. El medidor de pH debe tener una exactitud de ± 0.05 unidades a $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

- C.6 Equipos para recolectar los extractos del VMC. Se pueden utilizar bolsas TEDLAR, jeringas herméticas de vidrio, acero inoxidable o PTFE para coleccionar la fase inicial líquida y el extracto final del residuo.
- C.7 Equipos para la transferencia de reactivos de extracción al VMC. Es aceptable cualquier equipo capaz de transferir el reactivo de extracción al VMC sin cambiar la naturaleza del mismo; una bomba de desplazamiento positivo o peristáltica o una jeringa.
- C.8 Balanza de laboratorio. Se puede utilizar cualquier balanza de laboratorio con una exactitud de ± 0.01 g.
- C.9 Vasos de precipitado o matraces Erlenmeyer de vidrio de 250 a 500 mL.
- C.10 Parrilla de calentamiento.
- C.11 Vidrio de reloj. Del diámetro apropiado para cubrir el vaso de precipitado o el matraz erlenmeyer.
- C.12 Agitador magnético.
- C.13 Estufa con control de temperatura para trabajar a 100 ± 5 °C.
- C.14 Desecador.

D. REACTIVOS

- D.1 Agua desionizada o desmineralizada.
 - D.1.1 El agua grado reactivo para extracción de volátiles puede generarse pasando agua destilada a través de un filtro que contenga 500 g de carbón activado.
- D.2. Acido clorhídrico HCl (1.0 N).
- D.3. Acido nítrico HNO₃ (1.0 N).
- D.4. Hidróxido de sodio NaOH (1.0 N).
- D.5. Acido acético glacial, CH₃-COOH, grado reactivo analítico.
- D.6. Reactivos de extracción.
 - D.6.1 Reactivo de extracción 1. Añadir 5.7 mL de ácido acético glacial a 500 mL de agua desionizada o desmineralizada ; añadir 64.3 mL de NaOH 1N y aforar a un litro. Cuando se prepara en forma correcta, el pH de este reactivo debe ser de 4.93 ± 0.05 .
 - D.6.2 Reactivo de extracción 2. Diluir 5.7 mL de ácido acético glacial con agua desionizada o desmineralizada a un volumen de un litro. Cuando se prepara en forma correcta, el pH de este reactivo debe ser de 2.88 ± 0.05 . Los reactivos de extracción deben verificarse frecuentemente. El pH debe verificarse antes de usar el reactivo para asegurar que sea el correcto. Si se encuentran impurezas, o el pH no está dentro de los límites, se debe desechar el reactivo y preparar uno nuevo.

E. EVALUACIONES PRELIMINARES

Deben llevarse a cabo evaluaciones preliminares de PECT en una alícuota de la muestra del residuo de un mínimo de 100 g. Esta alícuota se emplea únicamente para las evaluaciones preliminares que incluyen:

- E.1 Determinación del porcentaje sólidos.
 - E.1.1 Si el residuo no produce líquido cuando esta sujeto a la presión de filtración (es decir 100% sólido) proceder según el literal E.3.
 - E.1.2 Si la muestra es líquida o de varias fases, se requiere la separación sólido-líquido para hacer la determinación preliminar del porcentaje de sólidos. Esto involucra el equipo de filtración descrito en el literal C.3.2.
 - E.1.2.1 Pesar el filtro y el recipiente que recibirá el filtrado.

- E.1.2.2 Ensamblar el portafiltros y colocar el filtro en el soporte y asegurarlo.
- E.1.2.3 Pesar una parte de la muestra del residuo (100 g mínimo) y registrar el peso.
- E.1.2.4 Los residuos que se sedimenten lentamente pueden centrifugarse antes de la filtración. La centrifugación se usa solamente como ayuda de la filtración. Si se usa primero, el líquido debe descartarse y filtrarse; debe después filtrarse la porción sólida.
- E.1.2.5 Transferir cuantitativamente la muestra del residuo al equipo de filtración. Verter la muestra uniformemente sobre la superficie del filtro. Si más del 1% de la muestra se ha adherido al recipiente usado para transferir la muestra, determinar el peso de este residuo y restarlo del peso de la muestra determinada en el literal E.1.2.3 para conocer el peso efectivo del residuo que se filtró. Aplicar gradualmente vacío o presión de 0.07 a 0.70 kg/cm², hasta que el aire o el gas de presurización pase a través del filtro. Si este punto no se alcanza a 0.70 kg/cm², y si no pasa el líquido adicional por el filtro en un intervalo de 2 minutos, lentamente incrementar la presión en intervalos de 0.7 kg/cm² hasta un máximo de 3.5 kg/cm².
- E.1.2.6 El material retenido en el filtro se define como la fase sólida y el filtrado como la fase líquida. Algunos residuos, como los aceitosos y los de pintura, contienen material de apariencia líquida. Pero si después de aplicar el vacío o presión, literal E.1.2.5, este residuo no pasa a través del filtro, se clasifica como sólido. No reemplazar el filtro original con uno nuevo; usar únicamente un filtro.
- E.1.2.7 Determinar el peso de la fase líquida, restando el peso del recipiente vacío del peso total del recipiente con el filtrado. Determinar el peso de la fase sólida de la muestra restando el peso de la fase líquida del peso total de la muestra según se determinó en los literales E.1.2.3 o E.1.2.5. Calcular el porcentaje de sólidos de la siguiente manera:
- $$\text{porcentaje de sólidos} = [\text{peso del sólido (E.1.2.3)} / \text{peso total del residuo (E.1.2.3 o E.1.2.5)}] \times 100$$
- E.1.2.8 Si el porcentaje de sólidos determinados en el literal E.1.2.7 es igual a o mayor de 0.5% proseguir, ya sea para determinar si el material sólido requiere reducción de tamaño de partícula, según los literales E.2 o E.3, si se observa que el filtrado está húmedo.
- E.1.2.9 Si el porcentaje de sólidos determinado en el literal E.1.2.7 es menor de 0.5%, proseguir al literal F.10 si se van a determinar los constituyentes volátiles.
- E.2 Determinación del porcentaje de sólidos secos:
- E.2.1 Remover la fase sólida y el filtro del aparato de filtración.
- E.2.2 Secar el filtro con el sólido a 100 ± 5 °C hasta que dos pasadas sucesivas no varíen en ± 1%. Registrar el peso final.
- E.2.3 Calcular el porcentaje de sólidos secos como sigue:
- $$\text{porcentaje de sólidos secos} = [(\text{peso del residuo seco con filtro} - \text{peso del filtro}) / \text{peso inicial del residuo (E.1.2.3 o E.1.2.5)}] \times 100$$
- E.2.4 Si el porcentaje de sólidos es menor de 0.5%, proseguir con el literal F.10 si se va a realizar la prueba para constituyentes no volátiles, y con el literal G si se va a realizar la prueba para constituyentes volátiles. Si el porcentaje de sólidos secos es mayor de o igual a 0.5% y si la prueba de no volátiles se lleva a cabo, tomar una porción fresca del residuo, determinar si la reducción de tamaño de partícula es necesaria según el literal E.3 y seleccionar el reactivo de la extracción según el literal E.4.
- E.3 Determinar si el residuo requiere reducción de tamaño de partícula; debe procederse a triturar o moler los sólidos obtenidos en el literal E.1.2.7 si tienen un área menor de 3.1 cm²/g o un tamaño mayor de 1 cm (es decir, cuando no pasan un tamiz estándar de 9.5 mm).
- E.4 Selección del reactivo de extracción apropiado. Para el ensayo TCLP de constituyentes volátiles se usa únicamente el reactivo de extracción 1, según el literal D.6.1 por tanto, si no se requiere extracción de no volátiles proseguir con el literal G.

Para realizar la extracción de los constituyentes no volátiles, determinar el reactivo según los literales D.6.1 y D.6.2, de la siguiente forma:

- E.4.1 Pesar una fracción de la fase sólida; reducir (si es necesario) a un tamaño de partícula de aproximadamente 1 mm de diámetro o menos y transferir 5.0 g a un matraz erlenmeyer o a un vaso de precipitado.
- E.4.2 Añadir 96.5 mL de agua desionizada al matraz, cubrir con un vidrio de reloj y agitar vigorosamente por 5 minutos, usando un agitador magnético. Medir el pH; si este es menor de 5.0 usar el reactivo de extracción 1. Proseguir con el literal F.
- E.4.3 Si el pH del numeral anterior es mayor a 5.0 agregar 3.5 mL de HCl 1N, mezclar y cubrir con un vidrio de reloj, calentar a 50 °C y mantener esta temperatura por 10 minutos.
- E.4.4 Dejar enfriar la solución a temperatura ambiente y medir el pH ; si este es menor a 5.0 usar el reactivo de extracción 1. Si es mayor de 5.0 usar el reactivo de extracción 2. Proseguir con el literal F.

F. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS CONSTITUYENTES NO VOLÁTILES

- F.1 Se recomienda un tamaño mínimo de muestra de 100 g. Si la cantidad generada por una extracción TCLP no es suficiente para llevar a cabo todos los análisis, debe realizarse más de una extracción y combinar los extractos.
- F.2 Si el residuo produce líquido cuando se realiza la filtración (100% sólido), pesar una porción de la muestra (mínimo 100 g) y proseguir con el literal E.
- F.3 Si la muestra es líquida o multifásica, se requiere una separación líquido-sólido. Esto requiere el aparato de filtración descrito en el literal C.3.2 y continuar con el literal E.4.
- F.4 Pesar el recipiente que recibirá el filtrado.
- F.5 Ensamblar el portafiltro y colocar el filtro en el soporte y asegúrelo. Si se va a evaluar la movilidad de metales, es necesario hacer un lavado ácido (ver literal C.4).
- F.6 Pesar una fracción de muestra (mínimo 100 g). Si el residuo contiene menos del 0.5% de sólidos secos, la porción líquida del residuo obtenida después de la filtración se define como el extracto TCLP. Por tanto debe filtrarse suficiente muestra para que la cantidad del líquido filtrado alcance para realizar todos los análisis requeridos. Para residuos que contengan más de 0.5% de sólidos secos, usar la información del porcentaje de sólidos obtenidos conforme al literal E.1 para determinar el tamaño óptimo de la muestra (mínimo 100 g) que se llevará a filtración.
- F.7 Permitir que la fase sólida sedimente. Los residuos que sedimenten lentamente pueden centrifugarse antes de la filtración.
- F.8 Transferir cuantitativamente la muestra del residuo (fase líquida y sólida) al equipo de filtración (ver literal C.3.2); verter la muestra de forma uniforme sobre la superficie del filtro. Seguir el procedimiento del literal E.1.2.5.
- F.9 El material presente en el portafiltro se define como la fase sólida del residuo y el filtrado como la fase líquida. Pesar el filtrado. La fase líquida puede ser preservada a 4 °C por un tiempo máximo de 14 días.
- F.10 Si el residuo contiene menos del 0.5% de sólidos secos proseguir con el literal F.14. Si el residuo contiene más de 0.5% de sólidos secos y fue necesaria la reducción de tamaño de partícula, proseguir con el literal F.11. Si el residuo pasa el tamiz de 9.5 mm, transferir cuantitativamente el material sólido a un frasco de extracción junto con el filtro (usado para separar la fase líquida inicial de la fase sólida) y proseguir con el literal F.12.
- F.11 Preparar la porción sólida del residuo para extracción, como se describe en el literal G.4. Cuando el tamaño de partícula este preparado adecuadamente, transferir cuantitativamente el material sólido a una botella de extracción. Incluir el filtro usado para separar el líquido inicial de la fase sólida.

- F.12 Determinar la cantidad del reactivo de extracción necesario de la siguiente manera:

$$\text{Peso del reactivo de extracción} = (20 \times \% \text{ de sólidos} \times \text{peso de la muestra filtrada}) / 100$$

Lentamente añadir al recipiente de extracción la cantidad de reactivo de extracción calculada. Cerrar el frasco herméticamente (es recomendable usar cinta de teflón para asegurar un buen sello). Colocar el recipiente en el equipo de agitación rotatorio y hacerlo girar a 30 ± 2 RPM durante 18 ± 2 horas. La temperatura debe mantenerse a 23 ± 2 °C durante el periodo de extracción. Conforme la agitación continúa se pueden generar gases que ejercen presión dentro del frasco extractor. Para aliviar el exceso de presión, el frasco puede abrirse en una campana de extracción periódicamente (cada 15 minutos, 30 minutos y una hora).

- F.13 Después de las 18 ± 2 horas de extracción, separar el material del recipiente de extracción en sus componentes líquido y sólido por medio de filtración a través de un filtro de fibra de vidrio nuevo; los filtros deben tener un lavado ácido si se evalúa la movilidad de los metales.

- F.14 Preparación del extracto obtenido:

- F.14.1 Si el residuo no contiene fase líquida inicial, el líquido obtenido en el literal F.12 se define como el extracto TCLP. Proseguir con el literal F.15.

- F.14.2 Si los líquidos son compatibles, combinar el líquido filtrado resultante en el literal F.13 con el líquido obtenido en el numeral F.8. Este líquido se define como el extracto TCLP. Proseguir con el numeral F.15.

- F.14.3 Si la fase líquida inicial del residuo obtenida en el numeral F.8 no es o no puede ser compatible con el residuo filtrado resultante del literal F.13, no combinar los líquidos. Analizarlos por separado cada uno y combinar los resultados matemáticamente, como se describe en el literal F.15.3.

- F.15 Después de recolectar el extracto TCLP, debe medirse el pH. Preservar el extracto para el análisis. Las alícuotas para metales deben acidificarse con ácido nítrico a un pH menor de 2.

- F.15.1 Prueba para detectar precipitación. A una pequeña porción del extracto deben agregarse unas gotas de ácido nítrico; si se presenta precipitación, el resto del extracto no debe acidificarse y debe analizarse lo antes posible. En caso de que no se presente precipitación, las demás alícuotas deben preservarse a 4 °C y por un periodo máximo de 14 días hasta que vayan a ser analizadas.

- F.15.2 Los extractos TCLP que se analizan para metales deben digerirse en ácido nítrico, excepto en aquellos casos en que la digestión cause la pérdida de constituyentes metálicos. Si antes de la digestión el extracto muestra que cualquiera de los constituyentes controlados excede el nivel de tolerancia, automáticamente el residuo se considera peligroso y no es necesaria la extracción.

- F.15.3 Si las fases individuales van a analizarse por separado, determinar el volumen de la fase individual ($\pm 0.05\%$), realizar los análisis requeridos y combinar los resultados matemáticamente usando un promedio volumen-peso, como se indica a continuación:

$$\text{Concentración final} = [(V1)(C1) + (V2)(C2)] / V1 + V2 \text{ del constituyente}$$

donde

V1 = Volumen del primer extracto (L),

C1 = Concentración del constituyente de interés en el primer extracto (mg/L),

V2 = Volumen del segundo extracto (L) y

C2 = Concentración del constituyente de interés en el segundo extracto (mg/L).

- F.16. Comparar la concentración de los constituyentes en el extracto TCLP con los niveles máximos permisibles.

G. PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LOS CONSTITUYENTES VOLÁTILES

Utilizar el aparato VMC y obtener el extracto TCLP para analizar únicamente compuestos volátiles. El extracto resultante no debe emplearse para evaluar la movilidad de los constituyentes no volátiles.

- G.1 Pesar el recipiente de recolección del filtrado (ver literal C.6).
- G.2 Comparar la concentración de los constituyentes en el extracto TCLP con los niveles máximos permisibles.
- G.3 Colocar el pistón del VMC dentro del cuerpo del aparato (puede ser útil humedecer ligeramente los anillos "O" del pistón con el reactivo de extracción). Ajustar el pistón dentro del cuerpo del aparato a una altura que minimice la distancia a la que el pistón tiene que moverse una vez que sea cargado con la muestra. Asegurar la brida del fondo (entrada y salida del gas) en el cuerpo del VMC, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. Asegurar el filtro de fibra de vidrio entre las mallas de soporte y dejarlo listo para usarse.
- G.4 Si el residuo es 100% sólido, pesar una porción de la muestra (máximo 25 g) y proceder según el literal G.6.
- G.5 Si el residuo contiene menos del 0.5% de sólidos secos, la porción líquida del residuo después de la filtración se define como el extracto TCLP. Filtrar suficiente muestra de modo que la cantidad de líquido filtrado sea la necesaria para realizar todos los análisis de constituyentes volátiles requeridos. Para residuos que tienen más del 0.5% de sólidos secos, usar la información obtenida del porcentaje de sólidos para determinar el tamaño de la muestra óptima que se cargará al VMC. El tamaño de muestra recomendado es el siguiente:
- G.5.1 Para residuos que contienen menos del 0.5% de sólidos, pesar una muestra de 500 g.
- G.5.2 Para residuos que contienen más del 0.5% de sólidos, determinar la cantidad como sigue:
- $$\text{Peso del residuo} = (25 / \text{porcentaje de sólidos (E.1)}) \times 100$$
- Pesar una muestra del residuo del tamaño adecuado.
- G.6. Si se requiere la reducción del tamaño de partícula, proseguir con el literal G.7. Si no se requiere, proseguir con el literal G.8.
- G.7. Preparar el residuo para extracción como se describe en el literal E.3. Los residuos y el equipo de reducción deben refrigerarse, de ser posible a 4 °C, antes de la reducción del tamaño. Los medios usados para efectuar la reducción no deben generar calor. Si se requiere la reducción de la fase sólida, debe evitarse en lo posible la exposición de la muestra a la atmósfera.
- G.8. Los residuos lodosos no deben asentarse; no centrifugar la muestra antes de la filtración.
- G.9. Cuantitativamente transferir la muestra (fase líquida y sólida) rápidamente al VMC. Asegurar el filtro y las mallas de soporte en la brida superior del equipo y asegurar esta brida al cuerpo del VMC, de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Apretar todos los aditamentos del VMC y colocar el equipo en la posición vertical (con la brida de entrada y salida de gases del fondo).
- Si más del 1% del peso de la muestra original se adhirió al recipiente usado para transferirla al VMC, determinar el peso de este residuo y restarlo del peso de la muestra, determinado según el literal G.5 para calcular el peso efectivo de la muestra que será filtrada. Conectar una línea de gas a las válvula de entrada y salida de gases (brida inferior); con la válvula de entrada y salida de líquidos (brida superior) abierta, comenzar a aplicar presión suavemente de 0.07 a 0.7 kg/cm² o más si es necesario para eliminar el volumen muerto del equipo. Al aparecer líquido en la válvula de entrada y salida de líquidos, cerrar rápidamente la válvula y quitar la presión.
- G.9.1 Si la filtración del residuo a 4 °C reduce la cantidad de líquido filtrado comparada con la que se obtiene filtrando a temperatura ambiente, permitir que la muestra alcance la temperatura ambiente del equipo antes de efectuar la filtración.
- G.9.2 Si el residuo es 100% sólido, incrementar la presión a un máximo de 3.5 kg/cm², para eliminar la mayor cantidad de espacio muerto del equipo y proseguir con el literal G.13 de este código.

- G.10 Unir el recipiente de recolección de filtrado, previamente pesado según el literal G.1, a la válvula de entrada y salida de líquidos y abrir la válvula; comenzar aplicando presión suave de 0.07 a 0.7 kg/cm² para pasar la fase líquida al recipiente recolector. Si no hay paso de líquido en dos minutos, incrementar lentamente la presión en intervalos de 0.7 kg/cm² hasta un máximo de 3.5 kg/cm². Cuando se alcance esta presión y no se produzca un filtrado adicional en un periodo de dos minutos, detener la filtración. Cerrar la válvula de entrada y salida de líquidos, eliminar la presión al pistón, desconectar y pesar el recipiente de recolección de filtrado.
- G.11 El material en el VMC se define como la fase sólida del residuo y el filtrado como la fase líquida.
- G.11.1 Si el residuo original contiene menos de 0.5% de sólidos secos, este filtrado se define como el extracto TCLP y se analiza directamente. Proseguir según el literal G.16.
- G.12 La fase líquida puede analizarse inmediatamente o preservarse a 4 °C durante un máximo de 14 días con el mínimo volumen muerto.
- Determinar el peso del reactivo de extracción 1 que se adicionará al VMC, como sigue:
- Peso del reactivo de extracción = [20 x % sólidos x peso de la muestra filtrada (G.4 o G.8)] / 100
- G.13 Procedimiento. Con el VMC en la posición vertical, conectar una línea a la válvula de entrada y salida de líquidos. Esta línea debe llenarse con el reactivo de extracción y eliminar las burbujas. Liberar la presión de gas en el pistón VMC (por medio de la válvula de entrada y salida de gas), abrir la válvula de entrada y salida de líquidos y comenzar a transferir el reactivo de extracción al VMC. Continuar presionando el reactivo de extracción hasta introducir en el equipo la cantidad apropiada.
- G.14 Después de añadir el reactivo de extracción, cerrar de inmediato la válvula de entrada y salida de líquidos y desconectar la línea del reactivo de extracción. Revisar el VMC para asegurar que todas las válvulas están cerradas; girar el equipo manualmente de arriba a abajo dos a tres veces. Regresar el VMC a la posición vertical con la válvula de entrada y salida de líquidos en la parte de arriba. Presurizar entre 0.035 y 0.7 kg/cm² y abrir lentamente la válvula de entrada y salida de líquidos para desplazar cualquier volumen muerto que pueda haber sido introducido al agregar el reactivo de extracción. Este sangrado debe hacerse repetidamente y detenerse en cuanto aparezca líquido en la válvula.
- G.15 Colocar el VMC en el aparato de agitación rotatoria y girar a 30 ± 2 RPM durante 18 ± 2 horas. La temperatura debe mantenerse a 22 ± 3 °C durante la agitación.
- G.16 Después de las 18 ± 2 horas de agitación, comprobar la presión en el pistón VMC abriendo y cerrando rápidamente la válvula de entrada y salida de gases y observando el escape de gas. Si la presión no ha sido mantenida (es decir, ya no hay escape de gas), el equipo tiene fugas; debe repetirse la extracción con una nueva muestra. Si la presión dentro del equipo se mantuvo, el material en el recipiente de extracción se separa de nuevo en sus componentes líquido y sólido. Si el residuo contenía una fase líquida inicial, el líquido puede filtrarse directamente en el mismo recipiente de recolección de filtrados (por ejemplo, la bolsa TEDLAR) que contiene la fase líquida inicial. Deben usarse recipientes de recolección de filtrado separados si forman fases múltiples o si no tienen capacidad suficiente. Filtrar a través del filtro de fibra de vidrio usando el aparato VMC, como se describe en el literal G.10. Todos los extractos deben filtrarse y colectarse en las bolsas TEDLAR.
- G.17 Si el residuo original no contiene inicialmente fase líquida, el líquido filtrado obtenido en el literal G.16 se define como el extracto TCLP. Si el residuo contiene una fase líquida inicial, esta, más el líquido filtrado obtenido, son definidos como el extracto TCLP.
- G.18 Después de la recolección del extracto TCLP, prepararlo inmediatamente para el análisis o preservarlo con volumen muerto mínimo y a 4 °C hasta que se vaya a analizar. Efectuar el análisis de acuerdo a los métodos analíticos apropiados. Si se van a analizar separadamente (es decir, no son miscibles), determinar el volumen de las fases individuales, realizar los análisis y combinar los

resultados matemáticamente, usando un promedio volumen-peso y empleando la ecuación que establece el literal F.15.3.

- G.19 Comparar la concentración de los constituyentes en el extracto TCLP con los niveles máximos permisibles.

H. REQUISITOS DE CONTROL

Los procedimientos descritos anteriormente deben cumplir los siguientes requisitos de control:

- H.1 Anotar todos los datos en registros y formatos adecuados y tenerlos siempre disponibles para su consulta e inspección.
- H.2 Realizar por lo menos un ensayo en blanco (usando el mismo reactivo de extracción que usa la muestra) por cada 20 extracciones que se lleven a cabo en un mismo recipiente de extracción.
- H.3 Preparar una matriz con testigo (es decir, una muestra con una composición equivalente a la que se vaya a analizar, a la que se ha agregado una cantidad conocida del (ó de los) constituyente(s) tóxico(s) que está(n) en estudio) para cada tipo de residuo (lodos del tratamiento de aguas residuales, suelos contaminados, etc.), excepto cuando el resultado exceda el nivel permitido y los datos se empleen únicamente para demostrar que las propiedades del residuo exceden el nivel permitido.
- H.3.1 Analizar una matriz con testigo por cada lote. La desviación tipo calculada en el análisis de la matriz con testigo debe emplearse para corregir los valores obtenidos.
- H.3.2 Seguir las indicaciones proporcionadas por cada método analítico sobre las adiciones a la matriz con testigo.
- H.3.3 Agregar los testigos después de la filtración del extracto TCLP y antes de su conservación.
Los testigos no deben agregarse antes de la extracción TCLP de la muestra.
- H.4 Agregar, en la mayoría de los casos, los testigos en una concentración equivalente a la del nivel permisible. Si la concentración del constituyente tóxico es menor que la mitad del nivel permitido, la concentración del testigo puede ser tan baja como la mitad de la concentración, pero no debe ser menor que cinco veces el límite de detección del método.
- H.4.1 Agregar los testigos a un volumen igual al del extracto TCLP que se analizó con testigo, a fin de evitar diferencias debidas al efecto de la matriz.
- H.4.2 El propósito de la matriz con testigo es hacer seguimiento a la aplicación de los métodos usados y determinar cuando existe una interferencia debida a la matriz.
- H.4.3 El uso de otros métodos de calibración internos, modificaciones a los métodos analíticos o el uso de métodos analíticos alternativos pueden ser necesarios cuando la recuperación del testigo es menor que lo determinado por el método analítico.
- H.5 La recuperación a partir de una muestra con testigo se calcula mediante la fórmula:

$$\% R = 100 (X_s - X_u) / k$$

donde

X_s = Valor determinado para la matriz con testigo,

X_u = Valor determinado para la muestra sin testigo y

k = Valor conocido del testigo de la matriz.

- H.6 Los valores determinados se corrigen por medio de la desviación tipo, usando la fórmula:

$$X_c = 100 (X_u / \%R)$$

donde

X_c = Valor corregido y

X_u = Valor determinado por la muestra sin testigo.

H.7 Deben seguirse todas las medidas de control descritas en el método analítico apropiado.

H.8 Las muestras deben someterse a una extracción TCLP dentro de los siguientes periodos:

ANEXO F.4 - TABLA 1
Tiempos máximos para retención de muestras (días)

	DE LA RECOLECCIÓN EN CAMPO AL LABORATORIO	DEL LABORATORIO A LA PREPARACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN	DE LA PREPARACIÓN PARA LA EXTRACCIÓN A LA DETERMINACIÓN ANALÍTICA	TIEMPO OCUPADO TOTAL
VOLÁTILES	14	NA	14	28
SEMIVOLÁTILES	14	7	40	61
MERCURIO	28	NA	28	56
METALES (EXCEPTO MERCURIO)	180	NA	180	360

NA: No aplicable.

H.8.1 Si se exceden los tiempos de retención de las muestras, los valores obtenidos deben conocerse como concentraciones mínimas.

H.8.2 No es aceptable un análisis con un tiempo de retención mayor cuando se establece que un residuo no excede el nivel permitido (esto es, si se excedió el tiempo de retención y los resultados sugieren que el residuo no es tóxico, el análisis no es aceptable y debe rechazarse).

H.8.3 El tiempo de retención excedido no invalida la caracterización del residuo que exceda el nivel permitido.

ANEXO F.5

TABLAS PARA DETERMINAR LA INCOMPATIBILIDAD ENTRE RESIDUOS PELIGROSOS

ANEXO F.5 - TABLA 1
Listas de grupos reactivos

NUMERO DEL GRUPO REACTIVO	NOMBRE DEL GRUPO REACTIVO
1	Ácidos minerales no oxidantes
2	Ácidos minerales oxidantes
3	Ácidos orgánicos
4	Alcoholes y glicoles
5	Aldehídos
6	Amidas
7	Aminas, alifáticas y aromáticas
8	Azo compuestos, diazo compuestos e hidracinas
9	Carbamatos
10	Cáusticos
11	Cianuros
12	Ditiocarbamatos
13	Ésteres
14	Éteres
15	Fluoruros inorgánicos
16	Hidrocarburos aromáticos
17	Organo-halogenados
18	Isocianatos
19	Cetonas
20	Mercaptanos
21	Metales alcalinos, alcalinotérreos, elementales o mezclas
22	Otros metales elementales o mezclados en forma de polvos, vapores o partículas
23	Otros metales elementales y aleaciones tales como láminas, varillas y moldes
24	Metales y compuestos de metales tóxicos
25	Nitruros
26	Nitrilos
27	Compuestos nitrados
28	Hidrocarburos alifáticos no saturados
29	Hidrocarburos alifáticos saturados
30	Peróxidos e hidropéroxidos orgánicos
31	Fenoles y cresoles
32	Organofosforados, fosfotioatos y fosfoditioatos
33	Sulfuros inorgánicos
34	Epóxidos
101	Materiales inflamables y combustibles
102	Explosivos
103	Compuestos polimerizables
104	Agentes oxidantes fuertes
105	Agentes reductores fuertes
106	Agua y mezclas que contienen agua
107	Sustancias reactivas al agua

ANEXO F.5 - TABLA 2
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 1 ácidos minerales no oxidantes	
Ácido bórico	Ácido clorosulfónico
Ácido difluorofosfórico	Ácido disulfúrico
Ácido flúorobórico	Ácido fluorosulfónico
Ácido fluosilícico	Ácido hexafluorofosfórico
Ácido yodhídrico	Ácido bromhídrico
Ácido clorhídrico	Ácido cianhídrico
Ácido fluorhídrico	Ácido monofluorofosfórico
Ácido permonosulfúrico	Ácido fosfórico
Ácido selenoso	
Grupo 2 ácidos minerales oxidantes	
Ácido brómico	Ácido clórico
Ácido hipocloroso	Ácido nítrico
Ácido nitroclorhídrico	Oleum
Ácido perbrómico	Ácido perclórico
Ácido peryódico	Ácido sulfúrico
Ácido crómico	Ácido percloroso
Grupo 3 ácidos orgánicos (y sus isómeros)	
Ácido acético	Ácido acrílico
Ácido adípico	Ácido benzoico
Ácido butírico	Ácido cáprico
Ácido caproico	Ácido caprílico
Ácido clorometilfenoxiacético	Ácido cianoacético
Ácido diclorofenoxiacético	Endotal
Ácido fluoroacético	Ácido fórmico
Ácido glicólico	Ácido hidroxidibromobenzoico
Ácido maleico	Ácido mochloracético
Ácido peracético	Ácido oxálico
Ácido fenilacético	Ácido ftálico
Ácido propiónico	Ácido succínico
Ácido triclorofenoxiacético	Ácido valérico
Ácido fumárico	Ácido toluico
Grupo 4 alcoholes y glicoles (y sus isómeros)	
Acetocianhidrina	Alcohol alílico
Aminoetanol	Alcohol amínico
Alcohol bencílico butanodiol	
Alcohol butílico	Butil cellosolve
Cloroetanol	Alcohol crotilico
Ciclohexanol	Ciclopentanol
Decanol	Alcohol diacetónico
Dicloropropanol	Dietanolamina
Diisopropanolamina	Etanol
Etoxi-etanol	Etilen cianhidrina
Etilenglicol	Éter monometílico de etilenglicol
Glicerina	Heptanol
Hexanol	
Isopropanol isobutanol	Mercaptaetanol
Metanol	Monoetanolamina

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Monoisopropanolamina	Nonanol
Octanol	Propanol
Propilen glicol	Éter monometílico de propilenglicol
Trietanolamina	
Grupo 5 aldehídos (y sus isómeros)	
Acetaldehído	Acroleína
Bezaldehído	Hidrato de cloral
Cloroacetaldehído	Crotonaldehído
Formaldehído	Furfural
Glutaraldehído	Butiraldehído
Heptanal	Nonanal
Octanal	Propionaldehído
Tolualdehído	Urea formaldehído
Valeraldehído	Hexanal
Grupo 6 amidas (y sus isómeros)	
Acetamida	Benzadox
Bromobenzoil acetanilida	Butiramida
Carbetamida	Dietiltoluamida
Dimetil formamida	Dimefox
Difenamida	Fluoroacetanilida
Formamida	Propionamida
Tris-(1-aciridinil) óxido de fosfina	Valeramida
	Wepsyn*155
*Residuo peligroso controlado	
Grupo 7 aminas alifáticas y aromáticas (y sus isómeros)	
Aminodifenil	Aminoetanol
Aminoetanolamina	Aminofenol
Aminopropionitrilo	Amilamina
Aminotiasol	Anilina
Bencidina	Bencilamina
Butilamina	Clorotoluidina
Crimidina	Cuprietilendiamina
Ciclohexilamina	Diclorobencidina
Dietanolamina	Dietilamina
Dietilentriamina	Diisopropanolamina
Dimetilamina	Dietilnaminoazobenceno
Difenilamina	Difenilaminacloroarcina
Dipicrilamina	Dipropilamina
Etilamina	Etilenamina
Etilendiamina	Hexametilendiamina
Hexametilentetramina	Hexilamina
Isopropilamina	Metilamina
N-Metil anilina	4,4-metilen bis (2-cloroanilina)
Metil etil piridina	Monoetanolamina
Monoisopropanolamina	Morfolina
Naftilamina	Nitroanilina
Nitrógeno mostaza	Nitosodimetilamina
Pentilamina	Fenilendiamina

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Picramida	Picridina
Piperidina	Propilamina
Propilenamina	Piridina
Tetrametilendiamina	Toluidina
Trietilentetramina	Trimetilamina
Tripopilamina	
Grupo 8 azo compuestos diazo compuestos e hidracinas (y sus isómeros)	
Tetrazodiborato de aluminio	Aminotiazol
Azodicarbonil guanidina	Azodi-s-triasol
a, á-Azodiisobutironitrilo	Cloruro de diazonio benceno
Benzotriasol	t-Butil azodiformato
Cloroazodina	Clorobenzotriazol
Diazodinitroofenol	Diazodietano
Dimetilamino azobenceno	Dimetil hidracina
Dinitrofenilhidracina	Guanil nitrosoaminoguanilidina hidracina
Hidracina	Mercaptobenzotiazol
Metilhidracina	Tetracina
Clorhidrato de fenilhidracina	
Azohidracina	
Grupo 9 carbamatos	
Aldicarb	Bassa*
Baygón* propoxur	Butacarb
Bux* bufencarb	Carbaril,cevin
Carbanolato	Dioxacarb Elocron
Dowco* 139	Clorhidrato de formetanato
Furadán* carbofurán	Hopcide*
N-isopropilmetilcarbamato	Landrin*
Matacil* aminocarb	Meobal*
MesuroI* Metiocarb	Metomil, Lannate *
Mipcina* isoprocarb	Moban*
Oxamil,Vidate*	Pirimicarb,Pirimor
Promecarb, carbamult*	Tranid*
Tsumacide*, Metracrato*	
*Residuos peligrosos controlados	
Grupo 10 cáusticos	
Amoniaco	Hidróxido de amonio
	Hidróxido de bario
Hidróxido de berilio	Óxido de bario
Hidróxido de calcio	Amida de cadmio
Amida de litio	Óxido de calcio
Aluminato de potasio	Hidróxido de litio
Hidróxido de potasio	Butóxido de potasio
Amida de sodio	Aluminato de sodio
Hidróxido de sodio	Carbonato de sodio
Metilato de sodio	Hipoclorito de sodio
	Óxido de sodio

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 11 cianuros	
Cianuro de cadmio	Cianuro de cobre
Bromuro de cianógeno	Ácido cianhídrico
Cianuro de plomo	Cianuro mercúrico
Oxicianuro mercúrico	Cianuro de níquel
Cianuro de potasio	Cianuro de plata
Cianuro de sodio	Cianuro de zinc
Grupo 12 ditiocarbamatos	
CDEC ácido 2 cloroalil éster	Dietil ditiocarbamato de selenio
Dithadine*, M-45	Ferbam
Maneb	Metam, MDSC
Nabam	Niacida*
Poliram-combi*metiram	Ziram
Tiram, TMTD	Sales de zinc del ácido dimetil-Zineb ditiocarbámico
Grupo 13 ésteres (y sus isómeros)	
Cloro carbonato de alilo	Acetato de amilo
Acetato de butilo	Butil acrilato
Butil bencil ftalato	Dibutil ftalato
Acetato de dietilenglicol-monobutil éter	Acetato de etilo
Butirato de etilo	Acrilato de etilo
Formato de etilo	Metracrilato de metilo
Propionato de etilo	Cloroformato de etilo
Acetato de isobutilo	2-Etil hexilacrilato
Acrilato de isodecilo	Diacetato de glicol
Acetato de medinoterb	Acrilato de isobutilo
Acrilato de metilo	Acetato de isopropilo
Butirato de metilo	Acetato de metilo
Formato de metilo	Acetato de metil amilo
Propionato de metilo	Cloroformato de metilo
Acetato de propilo	Valerato de metilo
Formato de propilo	Propiolactona
	Acetato de vinilo
Grupo 14 éteres (y sus isómeros)	
Anisol	Butil cellosolve
Bromodimetoxianilina	Éter de dibutilo
Dicloro etil éter	Dimetil éter
Dimetil formal	Dioxano
Óxido de difenilo	Etoxietanol
Etil éter	Monometil de etilenglicol éter
Furán	Glicol éter
Isopropil éter	Metil butil éter
Metil clorometil éter	Metil etil éter
Propil éter	Monometil de propiltilen glicol éter
2,3,7,8- Tetracloro dibenzo-p-dioxina	Tetracloropropil éter
Trinitroanisol	Tetrahidrofurán
Vinil isopropil éter	Vinil etil éter

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 15 fluoruros inorgánicos	
Fluoruro de aluminio	Bifluoruro de amonio
Fluoruro de amonio	Fluoruro de bario
Fluoruro de berilio	Fluoruro de cadmio
Fluoruro de calcio	Fluoruro de cesio
Fluoruro crómico	Ácido fluorbórico
Ácido fluosilícico	Ácido hexafluorofosfórico
Ácido fluorhídrico	Fluoruro de magnesio
Fluoruro de potasio	Fluoruro de selenio
Tetrafluoruro de silicio	Fluoruro de sodio
Pentafluoruro de azufre	Hexafluoruro de telurio
Fluoroborato de zinc	
Grupo 16 hidrocarburos aromáticos (y sus isómeros)	
Acenafteno	Antraceno
Benzopireno	Benceno
n-butil benceno	Criseno
Cumeno	Cimeno
Decil benceno	Diethyl benceno
Difenilo	Difenil acetileno
Difenil etano	Difenil etileno
Difenil metano	Dodecil benceno
Dowterm	Dureno
Etil benceno	Fluorantreno
Fluoreno	Hemimetileno
Hexametil benceno	Indeno
Isodureno	Mesitileno
Metil naftaleno	Naftaleno
Pentametil benceno	Fenantreno
Fenil acetileno	Propil benceno
Pseudocumeno	Estireno
Tetrafenil etileno	Tolueno
Estilbeno	Trifenil etileno
Trifenil metano	
Grupo 17 órgano halogenados (y sus isómeros)	
Bromuro de acetilo	Cloruro de acetilo
Aldrin	Bromuro de alilo
Cloruro de alilo	Clorocarbonato de alilo
Cloruro de amilo	Bromuro de benzal
Cloruro de benzal	Benzotribromuro
Benzotricloruro	Bromuro de bencilo
Cloruro de bencilo	Clorocarbonato de bencilo
Bromoacetileno	Trifluoruro de bromobencilo
Bromoforno	Bromofenol
Bromopropino	Bromotriclorometano
Bromotrifluorometano	Bromoxinil
Fluoruro de butilo	Tetracloruro de carbono
Tetrafluoruro de carbono	Tetrayoduro de carbono

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 17 órgano halogenados (y sus isómeros)	
Hidrato de cloral	Clordano
Cloroacetaldehído	Ácido cloroacético
Cloroacetofenona	Cloroacilonitrilo
Cloroazodin	Clorobenceno
Clorobenzotriazol	Peróxido de clorobenzollo
Malonitrilo de clorobencilideno	Clorobutironitrilo
Clorocresol	Clorodinitrotolueno
Cloroetanol	Cloroetilenimina
Cloroformo	Clorohidrina
Clorometil metil éter	Clorometil ácido fenoxiacético
Cloronitroanilina	Clorofenol
Clorofenil isocianato	Cloropicrina
Clrotión	Clrotoluidina
Métil cloro metil éter (CMME)	Bromuro de crotilo
Cloruro de crotilo	Dicloroacetona
Dicloro difenil diclor-etano (DDD)	Diclorobencidina
Dicloro difenil tricloro-etano (DDT)	Dicloroetilo
Ácido 2,2,-diclorovinil dimetil éster fosfórico (DDVP)	Diclorometano
Dibromocloropropano	Ácido diclorofenoxicético
Diclorobenceno	Dicloropropanol
Dicloroetano	Dieldrín
Dicloroetil éter	Diclorofeno
Diclorofenol	Endosulfán
Dicloropropano	Epiclorhidrina
Dicloropropileno	Etilén clorohidrina
Dietil cloro vinil fosfato	Dicloruro de etilo
Dinitrocoorbenceno	Freones*
Endrín	Hexaclorobenceno
Etil cloroformato	Cloruro de isopropilo
Dibromuro de etileno	Bromuro de metilo
Fluoracetanilida	Metil cloroformo
Heptacloro	Metil etil cloruro
Ácido hidroxidibromobenzoico	Monocloroacetona
Alfa-isopropil metil fosforil-fluoruro	Nitrógeno mostaza
Lindano	Percloroetileno
Cloruro de metilo	Cloruro de picrilo
Cloroformato de metilo	Bifenilos policlorados
Nitroclorobenceno	Bromuro de propargilo
Pentaclorofenol	2,3,7,8,-Tetracloro dibenzo-p-dioxina yoduro
Perclorometilmercaptano	Tricloroetileno
Bifenilos polibromados	Tricloropropano
Trifenilos policlorados	Cloruro de vinilo
Tetracloroetano	Ácido triclorofenoxiacético
	Cloruro de vinilideno
	Trifluoroetano

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 18 isocianatos (y sus compuestos)	
Clorofenil isocianato	Disocianato de difenilmetano
Metil isocianato	Metileno disocianato
Polimetil isocianato de polifenilo	
Disocianato de tolueno	
Grupo 19 cetonas (y sus isómeros)	
Acetona	Acetofenona
Acetil acetona	Benzofenona
Acetanilida de bromobenzollo	Cloroacetofenona
Coumafuril	Coumatetralil
Ciclohexanona	Diacetonolcohol
Diacetilo	Dicloroacetona
Dietil cetona	Dilsobutil cetona
Heptanona	Hidroxiacetofenona
Isoforona	Óxido de mesitilo
Metil t-butil cetona	Metil etil cetona
Metil isobutil cetona	Metil isopropenil cetona
Metil n-propil cetona	Metil vinil cetona
Monocloroacetona	Nonanona
Octanona	Pentanona
Quinona	
Grupo 20 mercaptanos y otros sulfuros orgánicos (y sus isómeros)	
Aldicarb	Amil mercaptano
Butil mercaptano	Disulfuro de carbono
Dimetil sulfuro	Endosulfán
Etil mercaptano	Mercaptobezotiazol
Mercaptoetanol	Metomil
Metil mercaptano	Naftil mercaptano
Perclorometil mercaptano	Fosfolán
Polímeros poliazufrados	Propil mercaptano
Azufre mostaza	Tetrasul
Tionazín	VX
Grupo 21 metales alcalinos y alcalinotérreos (elementales)	
Bario	Calcio
Cesio	Litio
Magnesio	Potasio
Rubidio	Sodio
Mezclas de sodio y potasio	Estroncio

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 22 otros metales elementales y aleaciones en forma de polvos, vapores y partículas	
Aluminio	Bismuto
Cerio	Cobalto
Hafnio	Indio
Magnesio	Manganeso
Vapor de mercurio	Molibdeno
Níquel	Níquel raney
Selenio	Titanio
Torio	Zinc
Zirconio	
Grupo 23 metales elementales y aleaciones como laminas varillas y moldes	
Aluminio	Antimonio
Bismuto	Bronce
Cadmio	Mezclas de calcio-manganeso-silicio
Cromo	Cobalto
Cobre	Indio
Fierro	Plomo
Manganeso	Molibdeno
Osmio	Selenio
Titanio	Torio
Zinc	Zirconio
Grupo 24 metales elementales y compuestos de metales tóxicos	
Arsenato de amonio	Dicromato de amonio
Hexanitrocobaltato de amonio	Molibdato de amonio
Nitrato osmato de amonio	Permanganato de amonio
Tetracromato de amonio	Tetraperoxicromato de amonio
Tricromato de amonio	Antimonio
Nitruro de amonio	Oxicloruro de antimonio
Pentacloruro de antimonio	Pentasulfuro de antimonio
Perclorato de antimonio	Tartrato de potasio antimónico
Sulfato de antimonio	Tribromuro de antimonio
Tricloruro de antimonio	Triyoduro de antimonio
Trifluoruro de antimonio	Trióxido de antimonio
Trisulfuro de antimonio	Trivinilo de antimonio
Arsénico	Pentasetenuro de arsénico
Pentóxido de arsénico	Pentasulfuro de arsénico
Sulfuro de arsénico	Tribromuro de arsénico
Tricloruro de arsénico	Trifluoruro de arsénico
Triyoduro de arsénico	Trisulfuro de arsénico
Arsinas	Bario
Azida de bario	Carburo de bario
Clorato de bario	Cloruro de bario
Cromato de bario	Fluoruro de bario
Fluosilicato de bario	Hidruro de bario

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 24 metales elementales y compuestos de metales tóxicos	
Hipofosfuro de bario	Yodato de bario
Yoduro de bario	Nitrato de bario
Oxido de bario	Perclorato de bario
Permanganato de bario	Peróxido de bario
Fosfato de bario	Estearato de bario
Sulfuro de bario	Sulfito de bario
Berilio	Aleaciones de berilio-cobre
Fluoruro de berilio	Hidruro de berilio
Hidróxido de berilio	Óxido de berilio
Tetrahidroborato de berilio	Bismuto
Cromato de bismuto	Ácido bismúctico
Nitruro de bismuto	Pentafluoruro de bismuto
Pentóxido de bismuto	Sulfuro de bismuto
Tribromuro de bismuto	Tricloruro de bismuto
Triyoduro de bismuto	Trióxido de bismuto
Borano	Arsenitos de burdeos
Arsenotribromuro de boro	Bromoyoduro de boro
Dibromoyoduro de boro	Nitruro de boro
Fosfuro de boro	Triazida de boro
Tribromuro de boro	Triyoduro de boro
Trisulfuro de boro	Tricloruro de boro
Trifluoruro de boro	Ácido cacodílico
Cadmio	Acetiluro de cadmio
Amida de cadmio	Azida de cadmio
Bromuro de cadmio	Clorato de cadmio
Cloruro de cadmio	Cianuro de cadmio
Fluoruro de cadmio	Hexamín perclorato de cadmio
Hexamín clorato de cadmio	Nitrato de cadmio
Yoduro de cadmio	Óxido de cadmio
Nitruro de cadmio	Sulfuro de camio
Fosfato de cadmio	Trihidraciín perclorato de cadmio
Trihidraciín clorato de cadmio	Arsenito de calcio
Arsenato de calcio	Fluoruro crómico
Cloruro crómico	Sulfato crómico
Oxido crómico	Sulfuro de cromo
Cromo	Cloruro de cromilo
Trióxido de cromo	Bromuro cobaltoso
Cobalto	Nitrato cobaltoso
Cloruro cobaltoso	Resinato cobaltoso
Sulfato cobaltoso	Acetoarsenilo de cobre
Cobre	Arsenato de cobre
Acetiluro de cobre	Cloruro de cobre
Arsenito de cobre	Cianuro de cobre
Clorotetrazol de cobre	Nitruro de cobre

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 24 metales elementales y compuestos de metales tóxicos	
Nitrato de cobre	Sulfuro de cobre
Sulfato de cobre	Cianocloropentano
Cuprietilén diamina	Diisopropil berilio
Dietilo de zinc	Etil dicloroarsina
Difenilamina cloroarsina	Arsenato férrico
Etilén óxido crómico	Selenuro de hidrógeno
Arsenato ferroso	Plomo
Indio	Arsenato de plomo
Acetato de plomo	Azida de plomo
Arsenito de plomo	Clorito de plomo
Carbonato de plomo	Dinitroresorcinato de plomo
Cianuro de plomo	Óxido de plomo
Nitrato de plomo	Lewisita
Sulfuro de plomo	Arsenato de magnesio
Púrpura londres	Manganeso
Arsenito de magnesio	Arsenato de manganeso
Acetato de manganeso	Cloruro de manganeso
Bromuro de manganeso	Nitrato de manganeso
Metilciclopentadienil tricarbonilo de manganeso	Acetato mercúrico
Sulfuro de manganeso	Benzoato mercúrico
Cloruro amónico mercúrico	Cloruro mercúrico
Bromuro mercúrico	Yoduro mercúrico
Cianuro mercúrico	Oleato mercúrico
Nitrato mercúrico	Oxicianuro mercúrico
Oxido mercúrico	Salicilicato mercúrico
Yoduro potásico mercúrico	Sulfato mercúrico
Subsulfuro mercúrico	Tiocianuro mercúrico
Sulfuro mercúrico	Bromuro mercurioso
Mercuriol	Yoduro mercurioso
Gluconato mercurioso	Óxido mercurioso
Nitrato mercurioso	Mercurio
Sulfato mercurioso	Cloruro de metoxietilmercúrico
Fulminato de mercurio	Molibdeno
Metil dicloroarsina	Trióxido de molibdeno
Sulfuro de molibdeno	Níquel
Acido molíbdico	Antimonuro de níquel
Acetato de níquel	Arsenito de níquel
Arsenato de níquel	Cloruro de níquel
Carbonilo de níquel	Nitrato de níquel
Cianuro de níquel	Subsulfuro de níquel
Selenuro de níquel	Osmio
Sulfato de níquel	Perclorato amino de osmio
Nitrato amino de osmio	Arsenito de potasio
Arsenato de potasio	Permanganato de potasio

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 24 metales elementales y compuestos de metales tóxicos	
Dicromato de potasio	Cloruro de selenio
Selenio	Ácido selenoso
Dietil ditiocarbamato de selenio	Azida de plata
Acetiluro de plata	Nitrato de plata
Cianuro de plata	Estifnato plata
Nitruro de plata	Tetrazeno de plata
Sulfuro de plata	Arsenito de sodio
Arsenato de sodio	Cromato de sodio
Cacodilato de sodio	Molibdato de sodio
Dicromato de sodio	Selenato de sodio
Permanganato de sodio	Sulfuro estánico
Cloruro estánico	Monosulfuro de estroncio
Arsenato de estroncio	Peróxido de estroncio
Nitrato de estroncio	Hexafluoruro de telurio
Tetrasulfuro de estroncio	Tetrametilo de plomo
Tetraetilo de plomo	Talio
Tetranitruro de tetraselenio	Sulfuro de talio
Nitruro de talio	Torio
Sulfato taloso	Sulfato de titanio
Titanio	Tetracloruro de titanio
Sesquisulfuro de titanio	Dinitruro de tricadmio
Sulfuro de titanio	Trietil arsina
Nitruro de tricesio	Trietil estibina
Tietril bismutina	Dinitruro de trimercurio
Dinitruro de triplomo	Trimetil bismutina
Trimetil arsina	Tripropil estibina
Trimetil estibina	Tetranitruro de tritorio
Trisilil arsina	Ácido túngstico
Trivinil estibina	Nitrato de uranilo
Sulfuro de uranio	Oxitricloruro de vanadio
Ácido anhidrovanídico	Trióxido de vanadio
Tetróxido de vanadio	Sulfato de vanadio
Tricloruro de vanadio	Acetiluro de zinc
Zinc	Arsenato de zinc
Nitrato amónico de zinc	Cloruro de zinc
Arsenito de zinc	Fluoroborato de zinc
Cianuro de zinc.	Permanganato de zinc
Nitrato de zinc	Fosfuro de zinc
Peróxido de zinc	Sulfato de zinc
Sales de zinc del ácido dimetilditiocarbámico	Sulfuro de zinc
Zirconio	Cloruro de zirconio
	Picramato de zirconio

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 25 nitruros	
Nitruro de antimonio	Nitruro de bismuto
Nitruro de boro	Nitruro de cobre
Nitruro de diazúfre	Nitruro de litio
Nitruro de potasio	Nitruro de plata
Nitruro de sodio	Tetranitruro de tetraselenio
Tetranitruro de tetraazúfre	Nitruro de talio
Dinitruro de tricadmio	Dinitruro tricálcico
Nitruro de trisecio	Dinitruro de triplomo
Dinitruro trimercúrico	Tetranitruro de tritorio
Grupo 26 mnitrilos (y sus isómeros)	
Acetacianhidrina	Acetonitrilo
Acilonitrilo	Adiponitrilo
Aminopropionitrilo	Cianuro de amilo
a,á-azodisobutironitrilo	Benzonitrilo
Bromoxinil	Butironitrilo
Cloroacilonitrilo	Clorobencilidenmalonitrilo
Clorobutironitrilo	Ácido cianoacético
Cianocloropentano	Cianógeno
Etilén cianhidrina	Gliconitrilo
Fenil acetonitrilo	Fenil valerilnitrilo
Propionitrilo	Surecide*
Tetrametil succinitrilo	Tranid*
Cianuro de vinilo	
Grupo 27 compuestos nitrados (y todos sus isómeros)	
Nitrato de acetilo	Clordinitrotolueno
Clordinitroanilina	Cloropicrina
Colodión	Diazodinitrofenol
Dinitrato de dietilenglicol	Dinitrobenceno
Dinitroclorobenceno	Dinitrocresol
Dinitrofenol	Dinitrofenilhidrazina
Dinitrotolueno	Dinoseb
Hexanitrato de dipentaeritritol	Dipicril amina
Etil nitrato	Etil nitrito
Dinitrato de glicol	Trinitrato monolactato glicol
Grupo 27 compuestos nitrados (y todos sus isómeros)	
Nitrato de guanidina	Dinitroresorcinato de plomo
Momonitroresorcinato de plomo	Hexanitrato de manitol
Acetato de medinoterb	Nitroanilina
Nitrobenceno	Nitrobifenilo
Nitrocelulosa	Nitroclorobenceno
Nitroglicerina	Nitrofenol
Nitropropano	N-nitrosodimetilamina
Nitroso guanidina	Nitroalmidón
Nitroxileno	Tetranitrato de pentaeritritol
Picramida	Ácido pícrico
Cloruro de picrilo	Nitrato de polivinilo
Dinitrobenzofuroxán de potasio	RDX

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Estifnato de plata	Picramato de sodio
Tetranitrometano	Trinitroanisol
Trinitrobenceno	Ácido trinitrobenzoico
Trinitronaftaleno	Trinitrotolueno
Nitrato de úrea	
Grupo 28 hidrocarburos alifáticos no saturados (y sus isómeros)	
Acetileno	Aleno
Amileno	Butadieno
Butadino	Buteno
Ciclopenteno	Deceno
Diciclopentadieno	Diisobutileno
Dimetil acetileno	Dimetil butino
Dipenteno	Dodeceno
Etil acetileno	Etileno
Hepteno	Hexeno
Hexino	Isobutileno
Isoocteno	Isopropeno
Isopropil acetileno	Metil acetileno
Metil buteno	Metil butino
Metil estireno	Noneno
Octadecino	Octeno
Penteno	Pentino
Polibuteno	Polipropileno
Propileno	Estireno
Tetradeceno	Trideceno
Undeceno	Vinil tolueno
Grupo 29 hidrocarburos alifáticos saturados	
Butano	Cicloheptano
Ciclohexano	Ciclopropano
Ciclopentano	Decalin
Decano	Etano
Heptano	Hexano
Isobutano	Isohexano
Isooctano	Isopentano
Metano	Metil ciclohexano
Neohexano	Nonano
Octano	Pentano
Propano	

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 30 peróxidos e hidroperóxidos orgánicos (y sus isómeros)	
Peróxido de acetil benzollo	Peróxido de acetilo
Peróxido de benzollo	Hidroperóxido de butilo
Peróxido de butilo	Peroxiacetato de butilo
Peroxibenzoato de butilo	Peroxi-pivalato de butilo
Peróxido caprílico	Hidroperóxido de cumeno
Peróxido de ciclohexanona	Peróxido de dicumilo
Hidroperóxido de diisopropilbenceno	Peroxidicarbonato de diisopropilo
Dihidroperóxido de dimetilhexano	Percarbonato de isopropilo
Peróxido de laurilio	Peróxido de metil etil cetona
	Peróxido succínico
	Ácido peracético
Grupo 31 fenoles, cresoles (y sus isómeros)	
Aminofenol	Bromofenol
Bromoxinil	Carbacrol
Aceite carbólico	Catecol
Clorocresol	Clorofenol
Alquitrán de madera	Cresol
Creosota	Ciclohexinil fenol
Diclorofenol	Dinitrofenol
Dinitrocresol	Dinoserb
Eugenol	Guayacol
Hidroquinona	Hidroxiacetofenona
Hidroxidifenol	Hidroxidihidroquinona
Isoeugenol	Naftol
Nitrofenol	Nonil fenol
Pentaclorofenol	Fenol
o-fenil fenol	Floroglucinol
Acido pícrico	Pirogalol
Resorcinol	Saligenina
Pentaclorofenato de sodio	Fenolsulfonato de sodio
Tetraclorofeno	Timol
Triclorofenol	Trinitroresorcinol
Grupo 32 organofosforados, fosfotioatos y fosfoditioatos	
Abate*	Etil azinfox*
Azodrín*	Bidrin
Biomil*	Clorfenvinfos*
Clorotión*	Cloroxón*
Ácido 2,2-diclorovinil dimetil éster fosfórico	Demetón
Demetón-s-metil sulfóxido	Diazinón*
Dietil clorovinil fosfato	Acido dimetil ditiofosfórico
Dimefox	Dioxatión
Disulfotón	Difonate*

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 32 organofosforados, fosfotioatos y fosfoditioatos	
Endotión	EPN
Etión*	Fensulfotión
Gutión*	Hexaetil tetrafosfato
Malatión	Mecarbam
Metil paratión	Mevinfos
Mocap*	Alfa-isopropil metil fosforil-fluoruro
Paraoxón	Paratión
Forato	Fosfamidón
Potasán	Fosfolán
Protoato	Shradam
Sulfotepp	Supracide*
Surecide*	Tetraetil ditionopirofosfato
Tetraetil pirofosfato	Tionazín
Tris-(1-aziridinil) óxido de fosfina	VX
	Wepsín* 155
*Residuos peligrosos controlados	
Grupo 33 sulfuros inorgánicos	
Sulfuro de amonio	Pentasulfuro de antimonio
Trisulfuro de antimonio	Pentasulfuro de arsénico
Sulfuro de arsénico	Trisulfuro de arsénico
Sulfuro de bario	Sulfuro de berilio
Sulfuro de bismuto	Trisulfuro de bismuto
Trisulfuro de boro	Sulfuro de cadmio
Sulfuro de calcio	Trisulfuro de cerio
Sulfuro de cesio	Sulfuro de cromo
Sulfuro de cobre	Sulfuro férrico
Sulfuro ferroso	Sulfuro de germanio
Sulfuro de oro	Sulfuro de hidrógeno
Sulfuro de plomo	Sulfuro de litio
Sulfuro de manganeso	Sulfuro de magnesio
Sulfuro mercúrico	Sulfuro de molibdeno
Sulfuro de níquel	Heptasulfuro de fósforo
Pentasulfuro de fósforo	Sesquisulfuro de fósforo
Trisulfuro de fósforo	Sulfuro de potasio
Sulfuro de plata	Sulfuro de sodio
Sulfuro estánico	Monosulfuro de estroncio
Tetrasulfuro de estroncio	Sulfuro de talio
Sesquisulfuro de titanio	Sulfuro de titanio
Sulfuro de uranio	Sulfuro de zinc

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 34 hepoxidos	
Butil glicidil éter	Fenil glicidil éter
t-butil-3-fenil oxazirano	Cresol glicidil éter
Diglicidil éter	Epiclorohidrina
Epoxibutano	Epoxibuteno
Epoxietil benceno	Oxido de etileno
Glicidol	
Oxido de propileno	
Grupo 101 materiales combustibles e inflamables diversos	
Alquil resinas	Asfalto
Baquelita*	Buta-N*
Aceite combustible pesado	Aceite de camfor
Carbón activado agotado	Celulosa
Aceite de madera	Aceite diesel
Thiner laqueador	Aceite ligero
Gasolina	Grasa
Peopilen isotáctico	J-100
Aceite de aspersión	Keroseno
Thiner para pinturas	Metil acetona
Espíritus minerales	Nafta
Aceite de bergamota	Raíz de orriz
Papel	Nafta de petróleo
Aceite de petróleo	Resina poliamida
Resina poliéster	Poietileno
Aceite polimérico	Polipropileno
Poliestireno	Polimero de poliazufre
Poliuretano	Acetato de polivinilo
Cloruro de polivinilo	Madera
Resinas	Polisulfuro de sodio
Solvente stoddard	Azufre elemental
Hule sintético	Aceite de sebo
Sebo	brea, alquitrán
Aguarrás	Unisolve
Ceras	

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 102 explosivos	
Acetil azida	Nitrato de acetilo
Azida de amonio	Clorato de amonio
Hexanitrocobaltato de amonio	Nitrato de amonio
Nitrito de amonio	Peryodato de amonio
Permanganato de amonio	Picrato de amonio
Tetraperoxicromato de amonio	Azodicarbonil guanidina
Azida de bario	Cloruro de diazoniobenceno
Benzotriazol	Peróxido de benzollo
Nitrato de bismuto	Triazida de boro
Azida de bromo	Trinitrato de butanotriol
Hipoclorito de t-butilo	Azida de cadmio
Clorato hexamín de cadmio	Perclorato hexamín de cadmio
Nitrato de cadmio	Nitruro de cadmio
Clorato trihidracina de cadmio	Nitrato de calcio
Azida de cesio	Azida de cloro
Dióxido de cloro	Fluoróxido de cloro
Trióxido de cloro	Cloroacetileno
Cloropicrina	Acetiluro de cobre
Triazida cianúrica	Diazodietano
Diazodinitrofenol	Dinitrato de dietilén glicol
Hexanitrato de dipentaeritritol	Dipicril amina
Dinitruro de diazufe	Nitrato de etilo
Nitrilo de etilo	Azida de flúor
Dinitrato de glicol	Trinitrato de monolactato glicol
Fulminato de oro	Guanilnitrosaminoguanilidenohidracina
Ciclotetrametilénnitroamina	Azida hidracina
Ácido hidrazoico	Azida de plomo
Dinitroresorcinato de plomo	Mononitroresorcinato de plomo
Estifnato de plomo	Hexanitrato de manitol
Oxicianuro mercúrico	Fulminato mercúrico
Nitrocarbonitrato	Nitrocelulosa
Nitroglicerina	Nitrosoguanidina
Tetranitrato de pentaeritritol	Picramida
Acido pícrico	Cloruro pícrico
Nitrato de polivinilo	Dinitrobenzofuroxan de potasio
Nitrato de potasio	RDX
Acetiluro de plata	Azida de plata
Nitruro de plata	Estifnato de plata
Tetrazeno de plata	Pólvora sin humo
Azida de sodio	Picramato de sodio
Tetranitrometano	Tetranitruro de tetraselenio
Tetranitruro de tertazufre	Tetrazeno
Nitruro de talio	Dinitruro de triplomo
Dinitruro trimercúrico	Trinitrobenceno
Acido trinitrobenzoico	Trinitronaftaleno
Trinitroresorcinol	Trinitrotolueno
Nitrato de úrea	Azida de vinilo
Peróxido de zinc	

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 103 compuestos polimerizables	
Acroleína	Ácido acrílico
Acrilonitrilo	Butadieno
n-butil acrilato	Etil acrilato
Óxido de etileno	Etilenamina
2-etilhexil acrilato	Isobutil acrilato
Isopropeno	Metil acrilato
Metil metacrilato	2-metil estireno
Óxido de propileno	Estireno
Acetato de vinilo	Cloruro de vinilo
Vinil tolueno	Cloruro de vinilideno
Grupo 104 agentes oxidantes fuertes	
Clorato de amonio	Dicromato de amonio
Nitrurosmato de amonio	Perclorato de maonio
Peryodato de amonio	Permanganato de amonio
Persulfato de amonio	Tetracromato de amonio
Tetraperoxicromato de amonio	Tricromato de amonio
Perclorato de antimonio	Bromato de amonio
Clorato de bario	Yodato de bario
Nitrato de bario	Perclorato de bario
Permanganato de bario	Peróxido de bario
Acido brómico	Bromo
Monofluoruro de bromo	Pentafluoruro de bromo
Trifluoruro de bromo	Hipoclorito de t-butilo
Clorato de cadmio	Nitrato de cadmio
Bromato de cadmio	Clorato de calcio
Clorito de calcio	Hipoclorito de calco
Yodato de calcio	Nitrato de calcio
Percromato de calcio	Permanganato de calcio
Peróxido de calcio	Ácido clórico
Cloro	Dióxido de cloro
Fluoróxido de cloro	Monofluoruro de cloro
Monóxido de cloro	Pentafluoruro de cloro
Trifluoruro de cloro	Trióxido de cloro
Acido crómico	Cloruro de cromilo
Nitrato cobaltoso	Nitrato de cobre
Dicloroamina	Ácido dicloroisocianúrico
Óxido de etilén crómico	Flúor
Monóxido de flúor	Nitrato de guanidina
Peróxido de hidrógeno	Pentóxido de yodo
Clorito de plomo	Nitrato de plomo
Hipoclorito de litio	Peróxido de litio
Clorato de magnesio	Nitrato de magnesio
Perclorato de magnesio	Peróxido de magnesio
Nitrato de manganeso	Nitrato mercuroso
Nitrato de níquel	Dióxido de nitrógeno

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 104 agentes oxidantes fuertes	
Amino nitrato de osmio	Amino clorato de osmio
Difluoruro de oxígeno	Fluoruro de perclorito
Oxibromuro de fósforo	Oxicloruro de fósforo
Bromato de potasio	Dicloroisocianurato de potasio
Dicromato de potasio	Nitrato de potasio
Perclorato de potasio	Permanganato de potasio
Peróxido de potasio	Nitrato de plata
Bromato de sodio	Peroxicarbonato de sodio
Clorato de sodio	Clorito de sodio
Dicloroisocianurato de sodio	Dicromato de sodio
Hipoclorito de sodio	Nitrato de sodio
Nitrito de sodio	Perclorato de sodio
Permanganato de sodio	Peróxido de sodio
Nitrato de estroncio	Peróxido de estroncio
Trióxido de azufre	Ácido tricloroisocianurato
Nitrato de uranio	Nitrato de urea
Nitrato amónico de zinc	Nitrato de zinc
Permanganato de zinc	Peróxido de zinc
Picramato de zirconio	
Grupo 105 agentes reductores fuertes	
Borohidruro de aluminio	Carburo de aluminio
Hidruro de aluminio	Hipofosfuro de aluminio
Hipofosfuro de amonio	Sulfuro de amonio
Pentasulfuro de antimonio	Trisulfuro de antimonio
Sulfuro de arsénico	Trisulfuro de arsénico
Arsina	Carburo de bario
Hidruro de bario	Hipofosfuro de bario
Sulfuro de bario	Bencil silano
Bencilo de sodio	Hidruro de berilio
Sulfuro de berilio	Tetrahidrobtorato de berilio
Sulfuro de bismuto	Arsenotribromuro de boro
Trisulfuro de boro	Bromodiborano
Bromosilano	Butil dicloroborano
n-butilo de litio	Acetiluro de cadmio
Sulfuro de cadmio	Calcio
Carburo de calcio	Hexamoniato de calcio
Hidruro de calcio	Hipofosfuro de calcio
Sulfuro de calcio	Hidruro de cesio
Trisulfuro de cesio	Fosfuro ceroso
Carburo de cesio	Hexahidroaluminato de cesio
Sulfuro de cesio	Clorodiborano
Hidruro de cesio	Clorodimetilamina diborano
Clorodipropil borano	Clorosilano
Sulfuro de cromo	Acetiluro de cobre
Sulfuro de cobre	Diborano

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 105 agentes reductores fuertes	
Dietil cloruro de aluminio	Dietilo de zinc
Clorodisobutil aluminio	Dimetil magnesio
Dispropil berilio	Sulfuro de germanio
Sulfuro ferroso	Sulfuro de oro
Acetiluro de oro	Hidracina
Hexaborano	Sulfuro de hidrógeno
Selenuro de hidrógeno	Sulfuro de plomo
Hidroxil amina	Hidruro de litio
Hidruro de litio-aluminio	Sulfuro de magnesio
Sulfuro de litio	Sulfuro mercúrico
Sulfuro de manganeso	Sesquicloruro de metil aluminio
Sesquibromuro de metil aluminio	Cloruro de metil magnesio
Bromuro de metil magnesio	Sulfuro de molibdeno
Yoduro de metil magnesio	Pentaborano
Sulfuro de níquel	Yoduro de fosfonio
Fosfina	Fósforo (blanco o amarillo)
Fósforo (rojo amorfo)	Pentasulfuro de fósforo
Heptasulfuro de fósforo	Trisulfuro de fósforo
Sesquisulfuro de fósforo	Sulfuro de potasio
Hidruro de potasio	Sulfuro de plata
Acetiluro de plata	Aluminato de sodio
Sodio	Hidruro de sodio
Hidruro de sodio aluminio	Sulfuro de sodio
Hiposulfito de sodio	Monosulfuro de estroncio
Sulfuro estánico	Tetraborano
Tetrasulfuro de estroncio	Sesquisulfuro de titanio
Sulfuro de talio	Dietil aluminio
Sulfuro de titanio	Triisobutil aluminio
Tietril estibina	Trimetil estibina
Trimetil aluminio	Trioctil aluminio
Tri-n-butil borano	Sulfuro de zinc
Acetiluro de zinc	
Sulfuro de uranio	
Grupo 106 agua y mezclas que contienen agua	
Soluciones acuosas y mezclas con agua	

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 107 sustancias reactivas al agua	
Anhídrido acético	Bromuro de acetilo
Cloruro de acetilo	Cloruro de aquil aluminio
Alil triclorosilano	Aminoborohidruro de aluminio
Borohidruro de aluminio	Bromuro de aluminio
Cloruro de aluminio	Fuoruro de aluminio
Hipofosfuro de aluminio	Fosfuro de aluminio
Tetrahidroborato de aluminio	Triclorosilano de amio
Cloruro de anisollo	Tribromuro de antimonio
Tricloruro de antimonio	Trifluoruro de antimonio
Triyoduro de antimonio	Trivinil antimonio
Tribromuro de arsénico	Tricloruro de arsénico
Triyoduro de arsénico	Bario
Carburo de bario	Óxido de bario
Sulfuro de bario	Dicloruro de fosfobeceno
Cloruro de benzollo	Bencil silano
Bencilo de sodio	Hidruro de berilio
Tetrahidroborato de berilio	Pentafluoruro de bismuto
Borano	Bromoyoduro de boro
Dibromoyoduro de boro	Tricloruro de boro
Tribromuro de boro	Pentafluoruro de bromo
Monofluoruro de bromo	Cloruro de dietil aluminio
n-butilo de litio	n-butil triclorosilano
Acetiluro de cadmio	Amida de cadmio
Calcio	Carburo de calcio
Hidruro de calcio	Oxido de calcio
Fosfuro de calcio	Amida de cesio
Fosfuro de cesio	Hidruro de cesio
Dióxido de cloro	Monofluoruro de cloro
Pentafluoruro de cloro	Trifluoruro de cloro
Cloruro de cloroacetileno	Cloro disobutil aluminio
Clorfenil isocianato	Cloruro de cromilo
Acetiluro de cobre	Ciclohexinil triclorosilano
Ciclohexil triclorosilano	Decaborano
Diborano	Cloruro de dietil aluminio
Dietil diclorosilano	Dietilo de zinc
Diisopropil berilio	Dimetil diclorosilano
Dimetil magnesio	Difenil diclorosilano
Difenil metano disocianato	Cloruro de disulfurilo
Dodecil triclorosilano	Etil dicloroarsina
Etil diclorosilano	Etil triclorosilano
Flúor	Monóxido de flúor
Acido fluorosulfónico	Acetiluro de oro
Hexadecil triclorosilano	Hexil triclorosilano
Acido bromhídrico	Monocloruro de yodo
Litio	Hidruro de litio-aluminio
Amida de litio	Ferrosilicato de litio
Hidruro de litio	Peróxido de litio
Silicio-litio	Sesquibromuro de metil aluminio
Sesquicloruro de metil aluminio	Metil diclorosilano

ANEXO F.5 - TABLA 2 (Continuación)
Componentes de cada grupo reactivo

Grupo 107 sustancias reactivas al agua	
Metilén disocianato	isocianato de metilo
Metil triclorosilano	Bromuro de metil magnesio
Cloruro de metil magnesio	Yoduro de metil magnesio
Antimonuro de níquel	Nonil triclorosilano
Octadecil triclorosilano	Octil triclorosilano
Fenil triclorosilano	Yoduro de fosfonio
Anhídrido fosfórico	Oxicloruro de fósforo
Pentasulfuro de fósforo	Trisulfuro de fósforo
Fósforo (rojo amorfo)	Oxibromuro de fósforo
Oxicloruro de fósforo	Pentacloruro de fósforo
Tricloruro de fósfor	Tribromuro de fósforo
Potasio	Polifenil polimetil isocianato
Óxido de potasio	Hidruro de potasio
Propil triclorosilano	Cloruro de piro-sulfurilo
Tetracloruro de silicio	Acetiluro de plata
Sodio	Hidruro de sodio aluminio
Amida de sodio	Hidruro de sodio
Metilato de sodio	Óxido de sodio
Peróxido de sodio	Aleaciones de sodio-potasio
Cloruro estánico	Fluoruro de sulfonilo
Ácido sulfúrico (70%)	Fosfuro de zinc
Cloruro de azufre	Pentafluoruro de azufre
Trióxido de azufre	Cloruro de sulfurilo
Cloruro de triocarbonilo	Cloruro de tionilo
Cloruro de tiofosforilo	Tetracloruro de titanio
Disocianato de tolueno	Triclorosilano
Trietil aluminio	Triisobutil aluminio
Tri-n-butyl borano	Tri-n-butyl aluminio
Tricloroborano	Triocil aluminio
Trietil estibina	Trietil arsina
Trimetil estibina	Trimetil arsina
Trisilil arsina	Tripropil estibina
Tricloruro de vanadio	Trivinil estibina
Acetiluro de zinc	Vinil triclorosilano
	Peróxido de zinc

ANEXO F.5 - tabla 3

Matriz de incompatibilidades

6	REACTIVIDAD NOMBRE DEL GRUPO																			
1	Ácidos minerales no oxidantes	1																		
2	Ácidos minerales oxidantes		2																	
3	Ácidos orgánicos			3																
4	Alcoholes y glicoles	H	HF	HP	4															
5	Aldehídos	HP	HP	HP		5														
6	Amidas	H	Hgt				6													
7	Aminas, alifáticas y aromáticas	H	Hgt	H		H		7												
8	Azo compuestos, diazo compuestos e hidracinas	HG	Hgt	HG	HG	H			8											
9	Carbomatos	HG	Hgt							9										
10	Cáusticos	HF	HF	H		H					10									
11	Cianuros	gtgf	gtgf	gt gf				G				11								
12	Ditiocarbamatos	Hgff	Hgff	Hg ff		gf gt		D	HG				12							
13	Ésteres	H	HF						HG	H				13						
14	Éteres	H	HF												14					
15	Fluoruros inorgánicos	GT	GT	GT												15				
16	Hidrocarburos aromáticos		HFgt														16			
17	Organohalogenados	Hgt	HFgt					H gt	HG	H gf	H							17		
18	Isocianatos	HG	LFgt	HG	HP			HP	HG	HPG	HG	D								
19	Cetonas	H	HF						HG	H	H									
20	Mercaptanos	gtgf	HFgt						HG									H		
21	Metales alcalinos, alcalinotérreos, elementales o mezclas	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	gf	H	
22	Otros metales elementales o mezclados en forma de polvos, vapores o partículas	gf	gf	gf					HF	D	gf							H		
23	Otros metales elementales y aleaciones tales como láminas, varillas y moldes	gf	gf	HF					HG	F								H		
24	Metales y compuestos de metales tóxicos	S	S	S			S	S			S									
25	Nitruros	gfHF	HFE	H gf	gf HF	gf H			D	HG	D	gf H	gf H	gf H				gf H		
26	Nitrilos	Hgt	HF	H					D											
27	Compuestos nitrados	gf	HF gt			H			HE											
28	Hidrocarburos alifáticos no saturados	H	HF			H														
29	Hidrocarburos alifáticos saturados		HF																	
30	Peróxidos e hidroperóxidos orgánicos	HG	HE		HF	HG		H gt	HFE	HF gt		HF gt						HE		
31	Fenoles y cresoles	H	HF						HG											
32	Organofosforados, fosfotioatos y fosfoditioatos	Hgt	Hgt						D		HE									
33	Sulfuros inorgánicos	gtgf	HF	gt		H			E									H		
34	Epóxidos	HP	HP	HP	HP	D		HP	HP		HP	HP	D							
101	Materiales inflamables y combustibles	HG	HF gt																	
102	Explosivos	HE	HE	HE					HE	HE			HE							
103	Compuestos polimerizables	PH	PH	PH					PH	PH	PH	D								
104	Agentes oxidantes fuertes	Hgt	H gt	HF	HF	HF gt	HF gt	HE	HF gt		HE gt	HF gt	HF	HF		HF	H gt	HF		
105	Agentes reductores fuertes	Hgt	HFgt	H gf	gf HF	Hg ff	H gf	H gf	HG				H gt	HF				HE		
106	Agua y mezclas que contienen agua	H	H						G									HG		
107	Sustancias reactivas al agua			* EXTREMADAMENTE REACTIVO, NO SE MEZCLE CON NINGÚN RESIDUO O MATERIAL QUÍMICO*																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Justificativa técnica DA NT-574. Padrões de emissão de poluentes do ar para unidades de incinerão e resíduos. Río de Janeiro (Brasil). 1991.
- Carruth, Dennis; Klee, Albert J. Sample weights in solid waste composition studies. Journal of the sanitary engineering division. Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Agosto de 1970.
- Code of Federal Regulations. Parts 260 - 299. Protection of Environment. Washinton D.C. July 1990.
- De Marco, J.D; Keller, J; Lecjman, J.L. and Newton, L. Municipal-Scale Incinerator Design and Operation. Public health service publication No 2012. Washington, U.S Government Printing Office, 1970.
- ENSR Consulting and Engineering. RCRA Handbook. October 1990.
- Englemand, Victor. Fundamentos de la incineración. Editorial McGrawHill, Inc. Singapore, 1996.
- Englemand, Victor. Reglamentos y tecnología para la contaminación atmosférica. Editorial McGrawHill, Inc. Singapore, 1994.
- Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Design, operation, and closure of municipal solid waste landfills. Septiembre de 1994.
- Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Terms of environment. February 1993.
- Environmental Protection Agency. Office of Research and Development. Guidelines for the thermal processing of solids wastes. 1980.
- Environmental Protection Agency. Code of federal regulatios. 1994
- Farquhar, Grahame J.; MacBean, Edward A.; Rovers, Frank A. Solid waste landfill engineering and design. United States of America. 1995.
- Incinerator Institute of America. Incinerator standars. November 1968.
- Norma Penal Venezolana del Ambiente. Decreto 2.211. Norma para el control de la generación y manejo de Residuos peligrosos. 1992.
- Ministère de L'Environnement. Les installations d'incinération de résidus urbains. París (Francia), marzo de 1991.
- Ministère de L'Environnement. Relatif aux installations spécialisées d'incinération et aux installations de coincinération de certains déchets industriels spéciaux. París (Francia), octubre de 1996.
- Ministerio de Desarrollo Humano, Secretaria Nacional de Participación Popular. Normas de residuos sólidos. República de Bolivia, Noviembre de 1996.
- Ministerio de Salud. Decreto 02/82. Santafé de Bogotá (Colombia), enero de 1982.
- Ministerio del Medio Ambiente. Manejo integrado de desechos sólidos municipales. Santafé de Bogotá (Colombia), febrero de 1997.
- Mokate, K. Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico. Universidad de los Andes. La evaluación financiera de proyectos de inversión. Santafé de Bogotá (Colombia), febrero de 1989.
- Nevers, De Noel. Air pollution control engineering. Editorial McGrawHill, Inc. Singapore, 1995.
- Nissen, R. Combustion and incineration processes. Marcel Dekker, Inc. New York, 1978.
- Norma oficial mexicana. NOM-CPR-001. Características de residuos peligrosos, listado de residuospeligrosos, límites y características de toxicidad.

Norma oficial mexicana. NOM-CPR-002. Procedimiento para la extracción de constituyentes tóxicos (PECT).

Norma oficial mexicana. NOM-CPR-003. Procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos.

Norma oficial mexicana. NOM-CPR-004. Requisitos para sitios destinados a confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Norma oficial mexicana. NOM-CPR-005. Requisitos para diseño y construcción de obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Norma oficial mexicana. NOM-CPR-006. Requisitos para diseño, construcción y operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Norma oficial mexicana. NOM-CPR-007. Requisitos para operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.

Organización Panamericana de la Salud, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Desechos peligrosos y salud en América Latina y el Caribe. Serie Ambiental Número 14 . Washington DC. 1994.

Organización Panamericana de la Salud, Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud. Residuos sólidos municipales, guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. septiembre de 1991.

Programa Regional OPS/HPE/CEPIS de mejoramiento de los servicios de aseo urbano. Aspectos técnicos del servicio de aseo, relleno sanitario para grandes conglomerados urbanos. abril de 1984.

Pteffer, J. Solid waste managment. E.E.U.U. 1.992

Stephenson, J.W. Incineration today and tomorrow. Waste age, 1970.

Tchobanoglous, George; Thiesen, Hilary; Vigil, Samuel. Integrated solid waste management. United States of America. 1993.

Wark, Keneath y Cecil, Warner. Contaminación del aire. Editorial Limusa. Ciudad de México, 1996.

Zausner, E.R. An accounting system for incinerator operations. Public Health Services Publication No 2032. Washington, U.S Government Printing Office, 1970.