



Universidad de la República
Facultad de Ingeniería

Instituto de Mecánica de los Fluídos e Ingeniería Ambiental



ESTUDIO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY



Informe Final
Proyecto Hidráulica-Ambiental
Julio 2012

MEMORIA

DESCRIPTIVA

Tutores:

Dra. Elizabeth Gonzalez
Ing. Julieta López
Ing. Nicolás Rezzano

Mauro D'Angelo
Pablo Kok

Índice

Agradecimientos.....	4
Acrónimos.....	5
Índice de figuras.....	6
Índice de tablas.....	8
Resumen ejecutivo.....	9
1. Introducción.....	12
2. Marco de referencia.....	13
2.1. Evolución histórica.....	13
2.2. Marco legal.....	14
2.3. Trabajos referidos a la realidad local.....	16
2.4. Situación actual de formas de valorización.....	22
3. Estudio de la composición de los RSD de Montevideo.....	24
3.1. Introducción.....	24
3.2. Diseño del muestreo.....	24
3.3. Muestreo realizado.....	25
3.4. Metodología de caracterización.....	27
3.5. Recolección de los RSD.....	31
3.6. Clasificación de los RSD.....	33
3.7. Resultados, comparaciones y comentarios.....	39
3.7.1. Resultados.....	39
3.7.2. Comentarios en relación a los resultados.....	49
3.7.3. Comparación con estudios anteriores.....	50
3.8. Conclusiones.....	52
4. Formas de valorización de residuos sólidos.....	55
4.1. Principales componentes de los RSD.....	55
4.2. Formas de valorización de residuos sólidos domiciliarios.....	60
4.2.1. Compostaje.....	60
4.2.2. Incineración.....	63
4.2.3. Biodigestión anaerobia.....	69
4.2.4. Reciclaje.....	74
5. Alternativas de gestión consideradas.....	78
5.1. Proyección de la generación de residuos para la ciudad de Montevideo.....	78
5.2. Descripciones generales.....	78
5.3. Comparación de alternativas.....	80
5.3.1. Área necesaria.....	81
5.3.2. Complejidad Operativa.....	82
5.3.3. Accesibilidad.....	82
5.3.4. Inversión inicial.....	82
5.3.5. Costos operativos.....	83
5.3.6. Emisiones.....	83
5.3.7. Control y Monitoreo.....	83
5.3.8. Riesgos ambientales.....	84
5.3.9. Flexibilidad en la recepción de residuos.....	84
5.3.10. Mano de obra necesaria.....	85
6. Anteproyecto de la alternativa preseleccionada.....	87

6.1 Estudio de localización de la alternativa 1.....	87
6.1.1. Criterios de localización.....	87
6.1.2. Mapeo según criterios de localización.....	91
6.2 Pre-diseño de la alternativa 1.....	94
6.2.1. Planta de clasificación de materiales reciclables	94
6.2.1.1. Introducción teórica.....	94
6.2.1.2. Consideraciones generales.....	95
6.2.1.3. Características de la planta	98
6.2.1.4. Diseño de la planta.....	104
6.2.2. Planta de incineración.....	112
6.2.2.1. Introducción teórica	112
6.2.2.2. Diseño de la planta	113
6.2.3. Celda tipo para cenizas de incineración.....	127
6.2.3.1. Introducción Teórica.....	127
6.2.3.2. Diseño de la celda tipo.....	130
7. Análisis de costos de la alternativa preseleccionada.....	136
7.1. Planta de clasificación de materiales reciclables.....	136
7.1.1. Ingresos.....	136
7.1.2. Costos.....	146
7.2. Planta de incineración.....	147
7.2.1. Ingresos.....	147
7.2.2. Costos.....	148
7.3. Celda tipo para cenizas de incineración.....	150
7.3.1. Costos.....	150
8. Análisis ambiental estratégico.....	154
8.1. Análisis comparativo: alternativa 0 y alternativa 1.....	165
8.2. Gesta Aire.....	166
ANEXO 1 – INFORMACIÓN SOBRE EQUIPAMIENTO.....	167
ANEXO 2 – BIODIGESTOR TIPO.....	172
ANEXO 3 – TALLER DE EXTENSIÓN: “VALORANDO TU BASURA”.....	175
ANEXO 4 – INSTRUCTIVO DE CLASIFICACIÓN	185
ANEXO 5 – VISITA A T.RES.OR.....	186
ANEXO 6 – PLAN DE GESTIÓN DE ENVASES.....	190
ANEXO 7 – XXXIII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, AIDIS (Junio 2012).....	209
ANEXO 8 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PODER CALORÍFICO.....	215
ANEXO 9 – Planillas diarias para registro.....	216
Referencias bibliográficas y fuentes consultadas.....	236

Agradecimientos

En primer lugar nos gustaría agradecer a nuestros tutores, la Dra. Elizabeth Gonzalez, la Ing. Julieta López y el Ing. Nicolás Rezzano, por su continuo apoyo y disposición al seguimiento de nuestro proyecto. Con entusiasmo y dedicación, han contribuido a una buena dinámica de trabajo que permitió obtener grandes aprendizajes en la temática desarrollada.

También estamos muy agradecidos por la disposición y los aportes realizados por la Bach. Analía Urban, quien trabajó junto a nosotros en los ensayos de laboratorio realizados. Así mismo, queremos agradecer al personal del Departamento de Proyectos Forestales (LATU), quienes hicieron posible la realización de ensayos de laboratorio vitales para el proyecto. En particular a Javier Doldan, Felipe Tarigo y Matias Cagno.

Agradecemos a la Unidad de Extensión de la Facultad de Ingeniería, en particular a sus coordinadores Agustín Guerra y Analía Gandolfi, quienes fueron fundamentales para concretar la realización del Taller de Extensión. En este punto, queremos agradecer fuertemente a los participantes del Taller y sus familias, quienes fueron claves para un adecuado desarrollo del mismo.

También queremos agradecer al Dr. Pedro Curto, por su disposición y valiosos aportes que contribuyeron a avanzar y desarrollar diversas áreas del tema de estudio.

Finalmente, queremos agradecer a nuestras familias y amigos, que nos apoyaron a lo largo de este proyecto.

Acrónimos

- CEMPRE: Compromiso Empresarial para el Reciclaje.
- DINAMA: Dirección Nacional de Medio Ambiente.
- IM: Intendencia de Montevideo.
- INE: Instituto Nacional de Estadística.
- MVOTMA: Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- PDRS: Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana.
- PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- ROC: Residuos de obras civiles.
- RSD: Residuos sólidos domiciliarios.
- TRESOR: Tratamiento de Residuos Orgánicos.

Índice de figuras

1. Diagrama de flujo para RSD de pequeños generadores.
2. Diagrama de flujo para RS de grandes generadores.
3. Diagrama de flujo para RSC.
4. Características del compost producido (T.RES.OR.).
5. Hogares participantes del muestreo.
6. Instructivo de clasificación.
7. Vehículo utilizado en la recolección.
8. Sitio acondicionado para la clasificación.
9. Producción de residuos en cada hogar el 19/10/11.
10. Cómputo de pesos y volúmenes.
11. Tarrinas con residuos.
12. Residuos reciclables clasificados.
13. Composición resultante en peso para el 22/10/11.
14. Descarte diario de residuos clasificados.
15. Composición media de los RSD en peso.
16. Composición media de los RSD en volumen.
17. Evolución de la producción diaria de residuos por habitante en peso.
18. Evolución de la producción diaria de residuos por habitante en volumen.
19. Valores medios y desviaciones para cada tipo de residuo considerado en peso.
20. Valores medios y desviaciones para cada tipo de residuo considerado en volumen.
21. Evolución de la composición diaria en peso.
22. Evolución de la composición diaria en volumen.
23. Composición media en peso de residuos plásticos.
24. Composición media en volumen de residuos plásticos.
25. PPC para cada número de habitantes del hogar.
26. Bomba calorimétrica utilizada (LATU).
27. Residuos alimenticios.
28. Polietileno.
29. Codificación de materiales plásticos.
30. Desechos electrónicos.
31. Compost maduro.
32. Evolución de la temperatura durante el compostaje.
33. Biodigestor anaerobio-Holanda.
34. Diagrama de flujo de biodigestor anaerobio con bajo contenido de sólidos.
35. Máquina de reciclaje de plástico.
36. Vidrio molido en fábrica de vidrio.

37. Criterios de exclusión preliminares.
38. Criterios de localización.
39. Criterios de localización y rutas principales.
40. Piso de descarga.
41. Cintas transportadoras.
42. Discos en una cinta transportadora.
43. Cilindro rotativo.
44. Detalle de las cintas.
45. Imanes permanentes colocados sobre las cintas (www.goudsmit-magnetics.nl).
46. Rotoscreen (www.bollegraaf.com).
47. Cintas para clasificación (www.bollegraaf.com).
48. Contenedores para residuos (www.essenltda.com.uy).
49. Contenedores para residuos (www.essenltda.com.uy).
50. Puente grúa captando RSD del foso para luego depositarlos en la tolva de entrada al horno (http://www.greenpeace.org.ar/img/GPUK_incineration.swf).
51. Parrillas de hornos incineradores (Plan Director, 2005).
52. Filtro de mangas comercial (INFESA, Ingeniería).
53. Ciclo de generación de energía.
54. Impermeabilización de fondo.
55. Membrana de impermeabilización.
56. Impermeabilización y drenaje.
57. Recubrimiento superficial.
58. Reciclaje de vidrio (Fuente: www.cempre.org.uy).
59. Cooperativa Juan Cacharpa (Fuente: www.produccionnacional.com.uy).
60. Rotondaro (Fuente: www.rotondaro.com.uy).
61. Proceso de clasificación (Fuente: www.rotondaro.com.uy).
62. Enfardadora (Fuente: www.rotondaro.com.uy).
63. Reciclaje de metales (Fuente: www.cempre.org.uy).
64. Reciclaje de papel y cartón (Fuente: www.cempre.org.uy).
65. Reciclaje de plásticos (Fuente: www.cempre.org.uy).

Índice de tablas

1. Plan de Acción del Plan Director de Limpieza.
2. Hogares participantes del muestreo.
3. Duración de la recolección de RSD.
4. Duración de la clasificación de RSD.
5. Ensayos de contenido de humedad RSD.
6. Ensayo de contenido de humedad Residuos No-Reciclables.
7. Criterios de exclusión, DINAMA.
8. Criterios de aptitud, DINAMA.
9. Tasas y eficiencias de clasificación manual (Peer Consulting and Cal Recovery, Inc. 1991).
10. Tasas y eficiencias de clasificación automática (Magnetic Separation System, Inc. 1999. Systems for Separation and Sensing. Nashville, Tennessee).
11. Personal de clasificación.
12. Número de vaciados por operario/turno.
13. Contenido de cloro y azufre de los residuos (Tchobanoglous, 1994).
14. Propuesta de estándares de calidad de aire (inmisión), grupo GESTA AIRE.
15. Límites máximos de emisión a la atmósfera (corregidos al 7 % de oxígeno).
16. Muestreo de contaminantes.
17. Mercado de productos reciclados.
18. Niveles de comercialización.
19. Número de empresas vinculadas al reciclaje.
20. Residuos recolectados y clasificados por clasificadores.
21. Costos de equipos.
22. Precios por componentes.
23. Precios por actividad.
24. Costo de maquinaria.
25. Precios de materiales.
26. Precios de materiales.
27. Personal para Relleno Sanitario.
28. Análisis ambiental del proyecto propuesto.
29. Comparación entre la Alternativa 0 y el proyecto propuesto.
30. Límites máximos de emisión a la atmósfera (corregidos al 7 % de oxígeno).
31. Frecuencia de monitoreo.

Resumen ejecutivo

A partir de la escasa vida útil remanente del principal sitio de disposición final de residuos sólidos de la ciudad de Montevideo (Felipe Cardozo), surge la necesidad de estudiar la posibilidad de valorizar la totalidad o una fracción importante de los residuos sólidos generados de tal manera de reducir el volumen a disponer y, a su vez, transformar los residuos procesados en materias primas, energía y otros productos.

Objetivo

En el presente trabajo se busca analizar comparativamente alternativas de gestión, valorización y disposición final de residuos sólidos domiciliarios (RSD) en la ciudad de Montevideo, ante la inminente finalización de la vida útil del vertedero municipal.

Metodología utilizada y actividades desarrolladas

Para evaluar comparativamente distintas actividades de valorización y disposición final de RSD, conocer la composición y las cantidades generadas de los mismos se ve como prioritario. En este sentido, se realiza una caracterización de los residuos sólidos en origen (es decir, se estudian tasas de generación y composición a partir de los residuos sólidos recogidos en domicilio en un conjunto de viviendas preseleccionadas para las que se contó con la colaboración de sus moradores).

Es importante destacar el aspecto innovador de efectuar el muestreo de residuos sólidos en el punto de generación, ya que los trabajos anteriormente realizados respecto a esta temática, utilizaban muestras de residuos extraídas desde vertedero o camiones recolectores, perdiéndose así la fracción de los residuos interceptada por los clasificadores. A su vez, cabe mencionar que la realización del muestreo permite sustentar el trabajo de proyecto con datos reales, lo que valoriza aún más los resultados que surjan del mismo. Para la definición de la muestra, se eligen las zonas y número de hogares participantes que son necesarios de acuerdo con procedimientos estadísticos confiables. Se aplican métodos estadísticos convencionales y también normas de procedimiento internacionales (ASTM y norma mexicana). Se dividió a la población montevideana en dos áreas homogéneas según su nivel socioeconómico y se obtuvo la cantidad necesaria de hogares a muestrear en cada área para representar su comportamiento en cuanto a la generación de RSD con un cierto porcentaje de error.

Fueron consideradas diferentes opciones para obtener el número de hogares necesarios para el muestreo. Finalmente, se presentó un proyecto de Extensión Universitaria ante la Facultad de Ingeniería, que resultó apoyado. Se trata de un ciclo de talleres titulado “Valorando tu Basura”, que consiste en cuatro talleres abiertos a estudiantes universitarios, con el objetivo de introducir la temática de residuos sólidos y realizar un muestreo de los RSD generados en

los domicilios de los participantes durante un período de diez días. En el segundo de los talleres, se presentó la actividad a realizar y se les entregó a los participantes del taller un breve instructivo para clasificar sus residuos en dos categorías (reciclables y no reciclables). Asimismo, se realizó una actividad en el taller para ejercitar la práctica de clasificación en origen y discutir los criterios de clasificación propuestos. El instructivo de trabajo incluye los componentes y subcomponentes a separar de los RSD, siendo los más importantes: residuos alimenticios, papel, cartón, vidrio, metales y plásticos.

Se realizó un muestreo de los residuos generados en 30 hogares durante 10 días consecutivos. El período de tiempo escogido permite tener algunos días por duplicado y lograr una variación en la generación de RSD en una semana tipo. Se obtuvieron de esta manera tasas de generación de RSD volumétricas y másicas por habitante y por día, composición en peso y en volumen de los residuos recolectados, y luego, en laboratorio, se realizan ensayos de las muestras para determinar contenido de humedad y poder calorífico. De este modo se obtienen insumos necesarios para el análisis comparativo de alternativas de valorización y disposición final de RSD.

Luego del estudio de caracterización de RSD, se aplicaron los resultados obtenidos de modo de estimar la producción en peso y en volumen de RSD correspondiente a la ciudad de Montevideo. Se utilizan los resultados del muestreo extrapolados para toda la ciudad con el fin de analizar comparativamente tres alternativas de valorización y disposición final de RSD. Las mismas consisten en:

- Alternativa 1: Planta de clasificación de materiales reciclables, planta de incineración de residuos no reciclables, relleno sanitario.
- Alternativa 2: Planta de clasificación de materiales reciclables, relleno sanitario.
- Alternativa 3: Planta de clasificación de materiales reciclables, biodigestor anaerobio, relleno sanitario.

Cabe destacar que todas estas alternativas suponen que se realiza, por parte de la ciudadanía, la separación de residuos en origen según un criterio análogo al desarrollado durante el muestreo, de modo que las fracciones reciclable y no reciclable de los RSD pueden fácilmente ser enviadas a distintas unidades de tratamiento y disposición final.

Estas alternativas son analizadas comparativamente según diez criterios que tienen en cuenta aspectos logísticos, económicos, operacionales, ambientales y constructivos.

A partir del análisis de alternativas presentado anteriormente se elige la alternativa 1 para realizar el tratamiento y la disposición final de los RSD generados diariamente por los habitantes de la ciudad de Montevideo. Asimismo, se plantea implementar la alternativa 3 para tratar y disponer los RSD generados por una pequeña comunidad a definir.

Para la alternativa 1 seleccionada se desarrollan los distintos puntos que involucran

abordar el proyecto de dicha alternativa. Se realiza un estudio de localización para la alternativa propuesta, utilizando algunos de los criterios de exclusión y localización propuestos por DINAMA para rellenos sanitarios de RSU. En el mismo se observó que las posibilidades de ubicación de un emprendimiento de este tipo en el Departamento son muy restringidas.

Luego se realiza un pre-diseño de las tres instalaciones que involucran la alternativa 1. Estas son: planta de clasificación, planta de incineración y celda tipo para cenizas de incineración. Para cada una, se utilizan los datos de generación obtenidos, para dimensionar las instalaciones y equipamientos necesarios para su operativa. Se desarrollan también algunas de las características de funcionamiento que tendrán dichos emprendimientos, así como también las interacciones que existirán entre ellos. En esta etapa, se distinguen algunas de las opciones existentes referidas a tecnologías y equipamientos, de modo de darle un contexto al equipamiento y metodología que se selecciona.

Un análisis de costos es realizado para cada instalación. Para esta etapa se abordan de forma diferenciada cada una, ya que los costos e ingresos que se pueden generar varían en cada caso.

En el caso de la planta de clasificación se realiza un estudio relativo a los precios de los materiales reciclados, de modo de tener un buen insumo al momento de definir los ingresos que puedan surgir de comercializar el material recuperado. También se analizan los costos de instalación, operación y mantenimiento de las instalaciones propuestas.

Para el caso de la planta de incineración se consideran los ingresos que se pueden obtener a partir de la generación de energía, y los costos asociados a su funcionamiento y su instalación.

Finalmente, en el caso de la celda tipo de cenizas de incineración, se realiza una aproximación de los costos más importantes que refieren a una instalación de este tipo. En este caso no se identifican ingresos directos, y se aproximan los costos para algunos elementos, ya que otros quedan por fuera del alcance del proyecto, o están directamente vinculados a la localización que tendría dicho emprendimiento.

Por último se realiza un análisis ambiental estratégico. En dicha etapa se busca identificar, para cada instalación realizada, cuales son las implicancias que las mismas tienen en el ambiente. Se distinguen entonces los distintos componentes que involucran cada una de ellas y se detallan los elementos que las conforman. Una vez analizado cada uno para cada instalación, se realiza una comparación entre la alternativa 0 (mantener la situación actual) y la alternativa 1. Con esto se logra identificar puntos que muestran las fuertes diferencias que se obtienen al introducir la alternativa planteada desde el punto de vista ambiental. También se definen cuales serían los indicadores que se podría utilizar, para cuantificar en cada caso los distintos elementos analizados.

1. Introducción

A comienzos del siglo XX, Montevideo disponía la totalidad de sus residuos sólidos con previa incineración. El crecimiento de la ciudad, el cambio de hábitos de consumo y la obsolescencia de las instalaciones, obligó a dejar de realizar ese tratamiento previo que reducía en forma muy importante los volúmenes finales a disponer en terreno.

Desde hace varias décadas, los residuos sólidos de la ciudad son dispuestos en una misma zona, donde se han ido sucesivamente abriendo y cerrando diferentes frentes de explotación. En la actualidad, la vida útil remanente del sitio es muy acotada, de no más de cinco años. Las complejas experiencias recientes en cuanto a autorizaciones ambientales para instalaciones de gran porte hacen que en este momento no se considere el relleno sanitario sin tratamiento previo como única y obligatoria opción. Es necesario analizar el problema con la mayor apertura posible y sin descartar alternativas antes de someterlas a un estudio exhaustivo.

Para poder analizar la situación propuesta, se debe contar con datos que permitan conocer la cantidad y composición de residuos que se producen. Dichos datos requieren ser relevados y actualizados, con el fin de conformar los parámetros de diseño adecuados para definir las instalaciones que tengan como destino los residuos. A su vez se debe contar con la justificación y verificación que requiere el relevamiento de este tipo de datos.

Además, las alternativas que se vayan a abordar en este estudio, deben ser consideradas como parte de un elemento de la gestión integral de los residuos sólidos. Por lo tanto, se debe tener en cuenta que se puede suponer que cada alternativa este compuesta de varias etapas, a partir de las cuales se obtiene una solución general.

2. Marco de referencia

2.1. Evolución histórica

Durante los años 20, Montevideo contaba con instalaciones de incineración para los residuos sólidos generados, de modo de reducir en forma importante su volumen para luego disponerlos en terreno. Es interesante conocer que previo a su instalación la Intendencia se debatía entre una planta de clasificación y reciclaje industrial y la incineración. En el debate formaba parte una comisión asesora técnica especialmente creada para dar solución al problema de los residuos sólidos urbanos. Finalmente, en 1915, fueron instalados tres incineradores que trataron todos los residuos sólidos de la ciudad durante unas décadas. Eran las usinas 1, 2 y 3. El crecimiento de la ciudad, el cambio de hábitos de consumo y la obsolescencia de las instalaciones, obligó a dejar de realizar ese tratamiento previo que reducía en forma muy importante los volúmenes finales a disponer en terreno. La usina 1, en el centro de la ciudad, por motivos de contaminación atmosférica y de crecimiento urbano se demolió, se estima alrededor de los años 50. La 2, en el oeste, en la que se incineraban todos los residuos hospitalarios, excepto los radioactivos, aún existe pero está fuera de servicio hace varios años. Finalmente la 3, al noreste, aunque aún existe, también está fuera de uso desde hace varios años.

Por otro lado, en las décadas del 40 y 50, con el proceso de industrialización del país, aparecen los primeros residuos reciclados en el país: papel, cartón, botellas y metales, y consecuentemente, los primeros clasificadores informales de esos residuos. Este punto es importante al momento de analizar cualquier etapa que refiera a la gestión de los residuos sólidos, ya que cualquier tipo de estudio en la materia debe ser abordado de forma integral. Algunos períodos de crisis económica, y la mencionada desactivación de los hornos incineradores (que concluyó en depositar los residuos en volcaderos), generó un incremento de la actividad de clasificación de residuos.

En cuanto al funcionamiento de las acciones que se ocupan de los residuos sólidos, los cambios más notorios refieren, desde esa época, a la creciente actividad de los clasificadores, asociada fuertemente a situaciones económicas complejas, con disminución de actividades en la industria y la construcción. En consecuencia, se formaron una gran cantidad de basurales que tuvieron un efecto multiplicador, ya que parte de la población deposita en ellos sus residuos.

A partir del año 1985, frente a la crisis sanitaria de la ciudad, y con la concomitante evolución internacional de la preocupación por los temas de conservación ambiental, comienzan a estudiarse alternativas participativas de clasificación y reciclaje de residuos. Los primeros resultados asociados a dichos estudios identifican los rezagos en las principales áreas ambientales, destacándose entre éstas la componente de residuos sólidos con su escasa

inversión y debilidad institucional. A su vez se observa respecto a las principales instituciones nacionales relacionadas al sector de residuos sólidos urbanos y las entidades responsables de los servicios, que en la actual estructura institucional no se percibe en su globalidad al sector.

Hoy en día, ya hace varias décadas, la intendencia de Montevideo dispone los residuos sólidos de la ciudad en el sitio de disposición final Felipe Cardozo. En este sitio se han ido sucesivamente abriendo y cerrando diferentes frentes de explotación. En la actualidad la vida útil remanente del sitio es muy acotada, de no más de cinco años. Vale aclarar que en estudios previos, la vida útil se estimaba finalizaría en el año 2007, con posibilidad de extenderse la misma hasta el año 2011. El sitio de disposición final no cuenta con las medidas básicas necesarias para la disminución de los impactos ambientales. Actualmente no se realiza el cubrimiento diario de los residuos, ni se recogen y tratan los lixiviados. Se tiene una presencia muy cercana de cursos de agua superficiales, que reciben en forma inmediata los impactos producidos por el sitio de disposición final.

2.2. Marco legal

El actual marco legal asociado a la gestión de los residuos sólidos, se compone de leyes y normativas que abordan algunos puntos generales del tema, así como también algunas áreas específicas de la materia. A continuación se enumeran los distintos documentos que toman relevancia para el trabajo.

- *Ley 16.867 (Enmienda al convenio de Basilea).* (Año 1997)

El Convenio de Basilea es un tratado ambiental internacional que regula estrictamente el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y estipula obligaciones a las Partes para asegurar el manejo ambientalmente racional de los mismos, particularmente su disposición. Fue ratificado el 22 de marzo de 1989 y entró en vigor el 5 de mayo de 1992.

- *Ley 17.220 (Prohibese la introducción en cualquier forma o bajo cualquier régimen en las zonas sometidas a la jurisdicción nacional, de todo tipo de desechos peligrosos).* (Año 1999)
- *Ley 17.283 (Declárase de interés general, de conformidad con lo establecido en el artículo 47 de la Constitución de la República, que refiere a la protección del medio ambiente).* (Año 2000)

En dicha Ley se mencionan a nivel general los temas que deben ser considerados para la política nacional ambiental, por parte del Poder Ejecutivo. También refiere a los instrumentos que se deben considerar para la aplicación de las mismas, así como también elementos de

coordinación y asesoramiento. Refiere también a una variedad de componentes que hay que considerar y en particular, referido a los residuos sólidos, indica que es de interés general la protección del ambiente contra toda afectación que pudiera derivarse del manejo y disposición de los residuos cualquiera sea su tipo.

- *Ley 17.849 (Uso de envases no retornables).* (Año 2004)

Se plantea con esta ley, promover la reutilización, el reciclado y demás formas de valorización de los residuos de envases, con la finalidad de evitar su inclusión como parte de los residuos sólidos comunes o domiciliarios. Se realizan consideraciones respecto a la gestión y los operadores que se involucran en las distintas etapas del proceso de utilización y eliminación de los envases, de modo de considerar el ciclo completo.

- *Decreto 260/007 (Reglamentario de Ley 17.849).* (Año 2007)

En este decreto, se establecen los ámbitos de aplicación de dicha ley.

Los tipos de envases que deben ser considerados se dividen en 3 tipos. A su vez se indican responsabilidades asociadas a la generación de los envases y su gestión, así como también registros necesarios y sanciones a aplicar, entre otros asuntos referidos al tema.

- *Decreto 373/003: Baterías usadas.*

Establece la responsabilidad extendida al fabricante/importador y la necesidad de contar con planes de gestión para las baterías Plomo-Ácido. (Año 2003).

- *Decreto 541/007 Gestión Sanitaria de Residuos Sólidos de Puertos, Aeropuertos, Terminales Internacionales de Carga de Pasajeros y Puntos de Frontera del MERCOSUR.*

Aprueba la resolución 30/02 del Grupo Mercado Común del Sur/ Mercosur respecto a los Criterios para la Gestión Sanitaria de Residuos Sólidos de Puertos, Aeropuertos, Terminales Internacionales de Carga de Pasajeros y Puntos de Frontera del MERCOSUR. (Año 2007).

- *Ley 16.466/94 Ley de Evaluación de Impacto Ambiental.*

Define el régimen de evaluación de impacto ambiental que regirá para nuevos emprendimientos de determinada tipología. (Año 1994).

- *Decreto 349/005 Reglamento de Ley 16.466 de Evaluación de Impacto Ambiental.*

Reglamenta el régimen de evaluación de impacto ambiental y determina que

emprendimientos deberán contar con la Autorización Ambiental Previa. Quedan incluidos emprendimientos asociados a la instalación de plantas de tratamiento de residuos sólidos, y la apertura de nuevos sitios de disposición final de residuos o la ampliación de los existentes. (Año 2005).

- *Decreto 586/009 (Referido a la gestión de los Residuos Sólidos Sanitarios).* (Año 2009)
- *Decreto 315/2010 (Referido al decreto 260/007).* (Año 2010)

Establece que en los pliegos de condiciones generales o particulares relativos a las compras que realice el Estado de productos comprendidos en el artículo 1° del Decreto 260/007, se debe incluir la exigencia a los proveedores de estar inscriptos en el registro que lleva la DINAMA y contar o adherir a un plan de gestión de residuos de envases aprobado por el MVOTMA.

- *Ley 9.515/935. Digesto Municipal: residuos domiciliarios y residuos urbanos.*

Le otorga a los Gobiernos Departamentales la potestad de la gestión de los residuos urbanos. (Año 1935).

2.3. Trabajos referidos a la realidad local

De un tiempo a esta parte se han elaborado trabajos y experiencias que buscan desarrollar y mejorar las distintas etapas que comprenden la gestión de los residuos sólidos. Se recorren los objetivos y experiencias resultantes de algunas de ellas con el fin de enmarcar el trabajo realizado aprovechando las mismas. También se analiza la situación actual, a nivel muy general, de la gestión de los residuos sólidos.

Resultan de interés, por ejemplo, los elementos que se desarrollaron en el proyecto del PNUD/URU/91/008 (*Úselo y tírelo... para que otros lo reciclen*). Allí se evalúa la situación de la gestión de los residuos sólidos en la Intendencia de Montevideo, se realiza un estudio de composición de los RSD y se pone un detalle especial en las actividades de clasificación y reciclaje existentes entonces.

También resultaron útiles y prácticos los puntos desarrollados en una edición adaptada por Compromiso Empresarial para el Reciclaje (CEMPRE), para un *Manual de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. En este caso se trata de un manual, en el cual se describen los distintos elementos a considerar para la gestión integral de residuos sólidos, considerando también datos reales que se pueden tomar como referencia para el pre-diseño de diversas componentes. También se describen en buena forma, los distintos tipos de residuos

que se generan, así como también instalaciones de reciclaje y valorización para los mismos.

Se tomaron en consideración las diversas dimensiones que se trabajan en la *Agenda Ambiental de Montevideo 2008-2012*, en particular las distintas líneas estratégicas, las cuales se enumeran a continuación:

- ➔ *Línea estratégica 1:* Promover las acciones necesarias que disminuyan la cantidad de residuos a disponer en el Servicio de Disposición Final de Residuos.
- ➔ *Línea estratégica 2:* Promover, con los sectores productivos y de servicios, la disminución de la generación de residuos, por unidad productiva o de servicio.
- ➔ *Línea estratégica 3:* Gestionar en forma segura y ambientalmente aceptable todos los residuos que deban disponerse o eliminarse.
- ➔ *Línea estratégica 4:* Impulsar el desarrollo de circuitos limpios de residuos y de cadenas de reutilización y reciclaje de los mismos.
- ➔ *Línea estratégica 5:* Promover las reglamentaciones necesarias para el cumplimiento del objetivo general.

Otro trabajo que brinda muchos elementos valiosos y que se destaca por la proximidad temporal de su elaboración es el *Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana* (PDRS). El mismo cuenta con una variedad de datos relevados, los cuales sirven como elementos comparativos y de referencia, así como también una descripción exhaustiva de la situación existente. Se realizan propuestas y lineamientos para la futura gestión en el tema. Con la elaboración del Plan Director, se busca fundamentalmente lograr una adecuada gestión de residuos sólidos en el Área Metropolitana de Montevideo, a través de los siguientes objetivos:

- Minimizar los impactos ambientales y a la salud, generados por el manejo de los residuos sólidos.
- Establecer una gestión eficaz, eficiente y ambientalmente sustentable, desde la generación de los residuos hasta su disposición final, priorizando las actividades de acuerdo con los principios establecidos.
- Lograr la sostenibilidad de los sistemas propuestos en el PDRS, a través de la aceptación de la gestión por parte de la comunidad, el sustento económico-financiero y la periódica readecuación del PDRS a largo plazo.
- Integrar en forma armónica la gestión de los residuos sólidos con las demás actividades de desarrollo ambiental, de salud, de educación, y productivas del país, promoviendo valores individuales y colectivos de respeto por el medio ambiente.

También es de interés presentar las principales propuestas que fueron realizadas en el marco del *Plan Director de Limpieza* y su *Plan de Acción* (los que fueron presentados en

Diciembre 2011), en particular las referidas a las fases de Valorización, Tratamiento y Disposición Final. Por un lado se presentan los flujos de residuos que propone el Plan, tanto para pequeños y grandes generadores como para obras civiles (Figuras 1, 2 y 3), y por otro se presentan las consideraciones referidas a los temas mencionados en cuanto al Plan de Acción (Tabla 1).

Gestión de Residuos Domiciliarios y de Pequeños Generadores

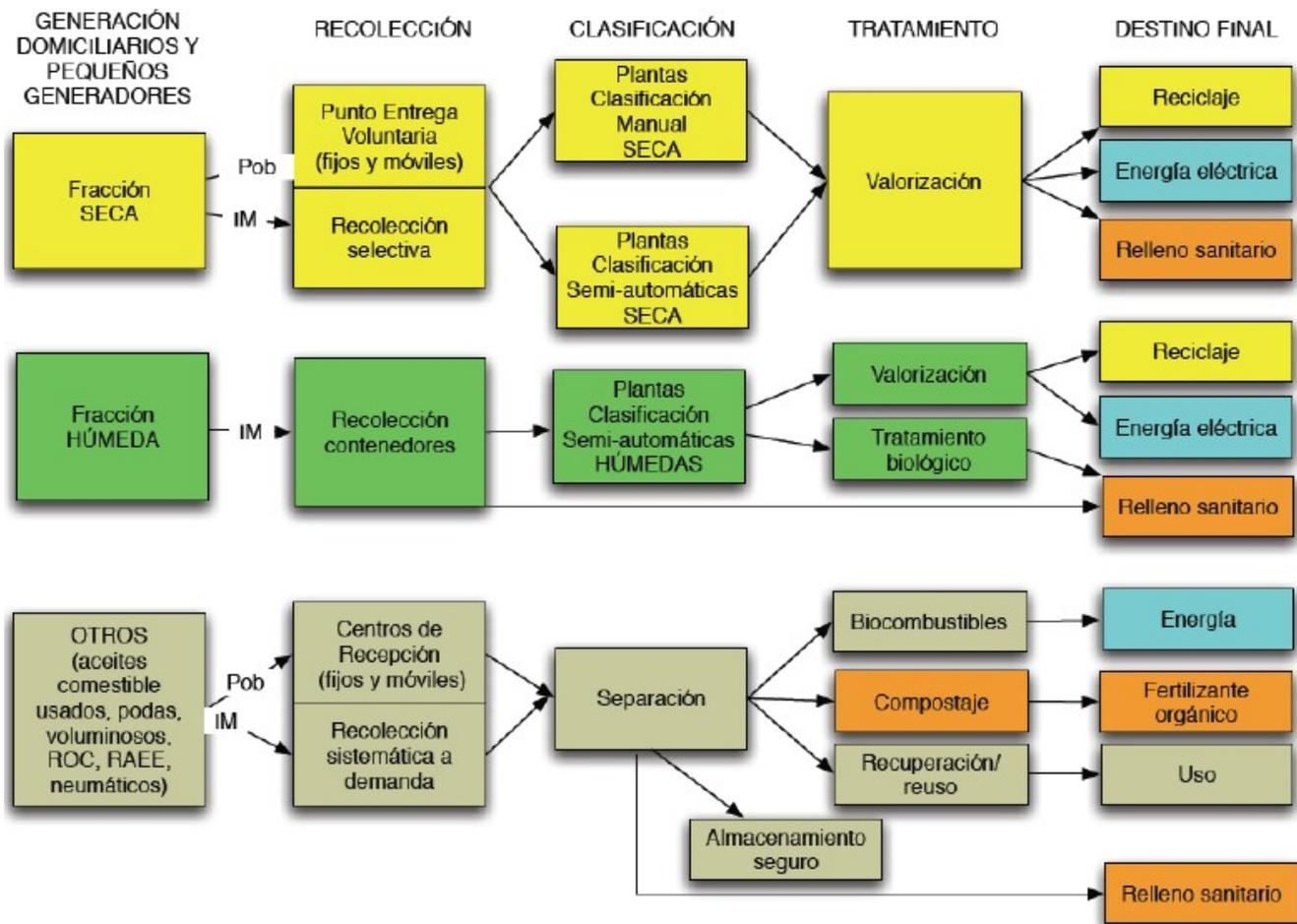


Figura 1: Diagrama de flujo para RSD de pequeños generadores.

Gestión de Residuos de Grandes Generadores

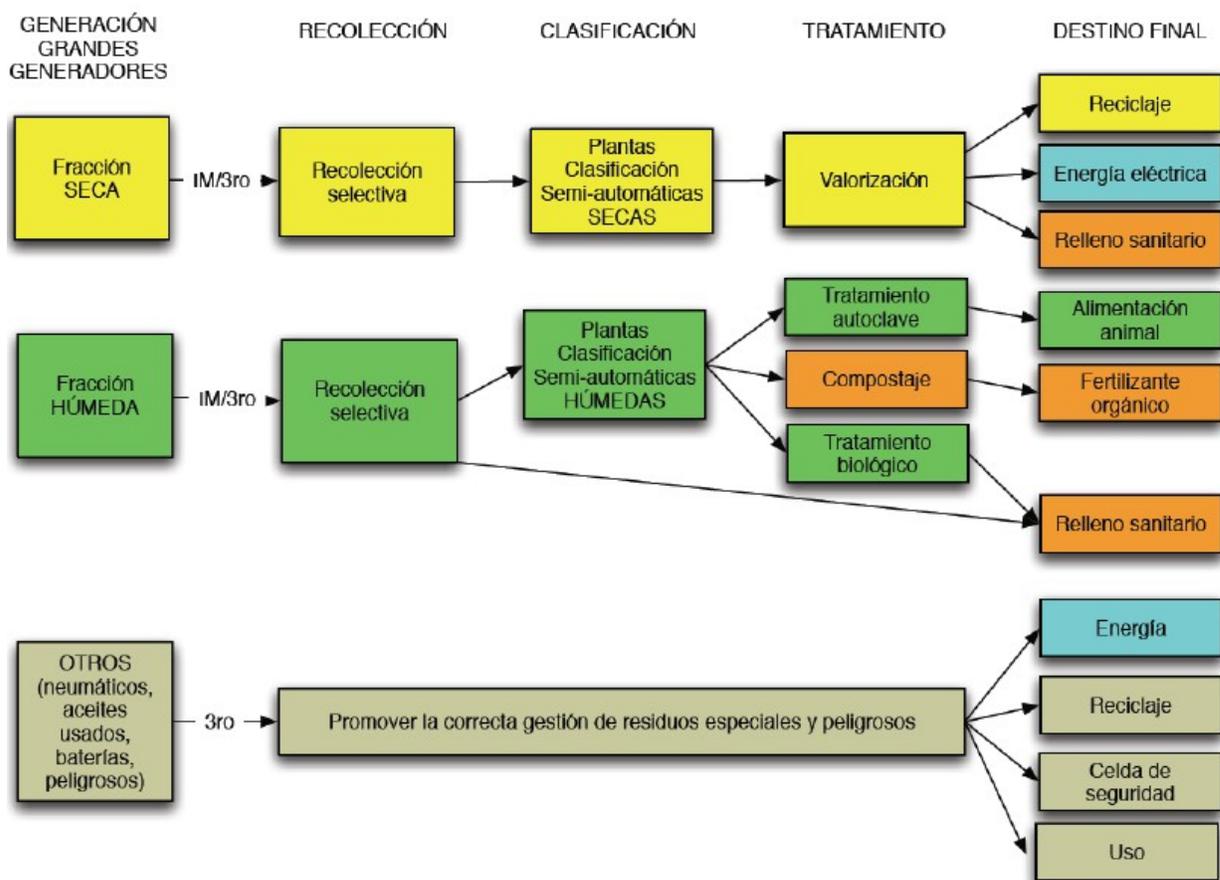


Figura 2: Diagrama de flujo para RS de grandes generadores.

Gestión de Residuos de Obras Civiles

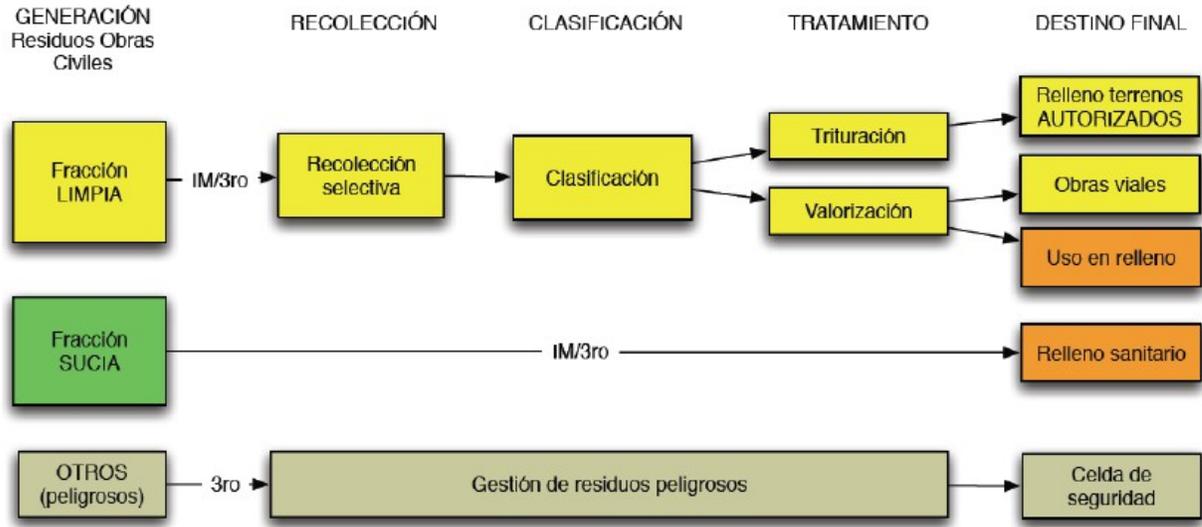


Figura 3: Diagrama de flujo para ROC.

Valorización, Tratamiento y Disposición Final	V1	Plantas de clasificación manuales
	V2	Plantas de clasificación semiautomáticas
	V3	Ampliación de TRESOR
	V4	Planta de Tratamiento Biológico de Fracción Húmeda
	V5	Planta de transferencia Región Oeste
	V6	Definición de alternativa a disposición final
	V7	Tratamiento de ROCs
	V8	Tratamiento de podas
	V9	Planta de tratamiento lixiviados
	V10	Captura y quema de biogás
	V11	Ampliación de captura de biogás y generación de energía

Tabla 1: Plan de acción del Plan Director de Limpieza.

Por último, se presentan las principales características que tiene el plan piloto que se desarrolla en el Municipio CH, con el fin de realizar clasificación de residuos en los edificios del barrio Pocitos. Con este plan se busca reducir el volumen de residuos y la limpieza de la vía pública en la zona de los contenedores, así como también dirigir los residuos reciclables que se obtengan a un sitio donde algunos clasificadores puedan recuperar parte del material en condiciones de higiene adecuadas.

Los edificios comienzan con una práctica de separar los residuos en secos y húmedos. La Intendencia entrega a cada edificio un contenedor para que los vecinos depositen allí los residuos secos. Un camión pasará dos veces por semana (en horario a determinar en cada lugar) a recolectar lo acumulado. El contenedor no estará en la calle, sino dentro del edificio.

A su vez se propone realizar dicha práctica en escuelas, clubes y oficinas de la zona.

También se brinda información a la población de cómo debe ser realizada la separación de residuos, a partir de listados que indican: una descripción del residuo a disponer en cada fracción y los residuos típicos que se deben disponer en cada fracción. A su vez se detallan categorías especiales para los escombros podas y voluminosos, pilas y baterías de autos.

2.4. Situación actual de formas de valorización

Si se consideran las formas de valorización a gran escala existentes en la ciudad de Montevideo, las mismas se refieren a procesos de reciclaje. Para algunos materiales específicos como plásticos, papel y cartón, metales y vidrio, existen emprendimientos privados que trabajan en el tema. Por otro lado, existe un emprendimiento municipal para la valorización de residuos orgánicos a través de compostaje.

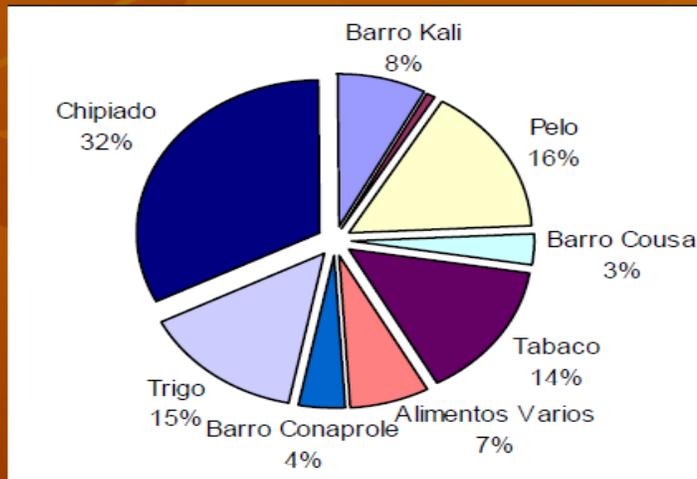
En el rubro reciclaje, se relevaron 26 emprendimientos, que realizan total o parcialmente los procesos:

- 18 emprendimientos de reciclaje de plástico
- 2 emprendimientos de reciclaje de metales
- 5 emprendimientos de reciclaje de papel y cartón
- 1 emprendimiento de reciclaje de vidrio

Para el caso de compostaje de residuos orgánicos, la Intendencia de Montevideo cuenta con una planta llamada T.RES.OR.. La misma pertenece a la División Limpieza, Departamento de Desarrollo Ambiental, I.M.. Ocupa un predio de 20 hectáreas, se encuentra en Camino Toledo Chico 5852, próximo a Puntas de Manga. Surge en 1997 a través de la iniciativa de técnicos de la comuna y del interés de la Dirección del Departamento de Descentralización. En el año 1998 se seleccionó y adquirió el predio. Entre los años 1998 y 1999 se adecuó la infraestructura existente. Entre los años 1998 y 2000 se llevó a cabo una experiencia piloto ingresando a la planta los siguientes residuos: chipeado de podas del ornato público, barrido de calles y áreas verdes, frutas y verduras del mercado modelo y ferias, decomisos de aduana.

Camellon 118

ENSAYO	RESULTADO
pH	7,9
% Materia Organica	30,10%
% Humedad	28,80%
C/N	10
NO ₃ ⁻	368 ppm
K ⁺	0,42%
Densidad	805 Kgr/m3
Nitrogeno total	1,49%
Carbono total	14,30%
N-NO ₂ -	0,92 ppm
P total	0,23%
Ca total	2,66%
Mg total	0,27%
Na total	0,15%
Zn total	134 ppm
Cr total	41 ppm
Pb total	91 ppm
Conductividad	3,22 mmhos/cm



- Fecha de inicio: 27/2/06
- Ubicación : degradación.
- Metros cúbicos asignados 403 m³

Figura 4. Características del compost producido.

Entre los años 2002 y 2008 se fueron incorporando residuos industriales al sistema. Además, se desarrolló en este período el compostaje de lodos provenientes del tratamiento aerobio y anaerobio de efluentes industriales.

3. Estudio de la composición de los RSD de Montevideo.

3.1. Introducción.

Con el objetivo de estudiar distintas formas de valorización de los RSD, el conocimiento de la composición de dichos residuos aparece como un tema prioritario a analizar. Además, sabiendo que aproximadamente el 40 % de los residuos sólidos generados son recolectados por el sector informal¹, se descartó la posibilidad de estudiar la composición de los RSD de los contenedores o en el sitio de disposición final ya que se dejaría de considerar una fracción muy importante de los mismos que no es recolectada por el sistema Municipal. Por lo tanto se optó por realizar una caracterización (estudio de la composición, determinación de tasas de generación) de los RSD a partir de una muestra tomada en origen (hogares).

3.2. Diseño del muestreo.

Se estudiaron diversos procedimientos estadísticos con el fin de determinar el número de muestras a tomar. En particular, se recurrió a la Norma ASTM D5231-92 (2008) referida al diseño del tamaño muestral de residuos sólidos municipales con el fin de determinar las características de los mismos. En su procedimiento de cálculo, esta Norma utiliza datos de medias y desviaciones estándar de los distintos componentes de los residuos. Si bien la Norma proporciona valores de estos parámetros para Estados Unidos, no se consideró apropiado utilizarlos debido principalmente a las diferencias culturales y de consumo presumibles entre nuestro país y Estados Unidos. Al no contar con valores locales de estos parámetros, se decidió no aplicar esta Norma para el diseño del muestreo y reservarla para verificar el trabajo realizado una vez concluido el mismo.

Por otro lado, se analizó la posibilidad de diseñar el muestreo agrupando a la población de Montevideo en estratos homogéneos según su nivel socioeconómico, y luego calcular, para cada estrato, el número de muestras a tomar necesario para representar el comportamiento de dicha fracción de la población total respecto a la generación y composición de RSD.

Éste fue el procedimiento utilizado en el diseño del muestreo. Para el mismo se obtuvieron, a partir de dividir la población en 2 estratos homogéneos, los siguientes números de muestras necesarios. $n_{H1}=35; n_{H2}=24$

¹ PDRS, 2005.

Una vez obtenida la cantidad de muestras a tomar, se evalúa durante qué período de tiempo realizar el muestreo. Se consideraron recomendaciones realizadas en Normas para este tipo de muestreo y luego se tomó la opción de realizarlo durante 10 días. De este modo se obtiene un período que cubre la variación semanal en la generación de residuos sólidos y también se tiene por duplicado algunos de los días, en particular los primeros que usualmente son días en los cuales puede haber algún error en la clasificación.

3.3. Muestreo realizado.

Para conseguir la cantidad de muestras necesarias en cada estrato homogéneo considerado se decidió realizar una convocatoria a estudiantes universitarios en el marco de un Ciclo Taller de Extensión: “Valorando tu basura”. Esta actividad se llevó a cabo gracias a la aprobación y el apoyo de la Unidad de Extensión. La finalidad de la realización de este taller fue la obtención de la muestra necesaria para el estudio de la composición de los RSD en origen además de la formación básica de los participantes en temas vinculados a la gestión, valorización y disposición final de residuos sólidos. Inicialmente puede observarse que los estudiantes que concurrieron al Ciclo Taller lo hicieron de forma voluntaria. Puede interpretarse entonces que se trata de un grupo de personas con cierto interés en la materia y, por lo tanto, predispuesta a realizar actividades vinculadas a la valorización de residuos. Se puede esperar entonces un buen nivel de comprensión y desempeño en las actividades propuestas, entendiéndose que quizás éste no sea el comportamiento del común de la sociedad ante una propuesta de este tipo. El ciclo se realizó en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República y constó de cuatro talleres temáticos:

1er Taller: Introducción a la gestión y disposición de los residuos sólidos.

2do Taller: Justificación y descripción de la actividad de campo a realizar.

3er Taller: Presentación y discusión de los resultados obtenidos.

4to Taller: Análisis de las posibles formas de valorización de los RSD.

En el primer taller se realizaron actividades integradoras entre los asistentes a partir de una descripción general del proceso de gestión de los residuos sólidos de la ciudad de Montevideo. La misma consistió en una descripción de cada etapa del proceso de gestión (generación, recolección y disposición final) además de la presentación de diversos materiales gráficos y audiovisuales ilustrativos de la situación local actual. Se generaron ámbitos de discusión respecto a la gestión actual de los RSD y sus problemáticas. La discusión generada fue por momentos polémica, presentándose diversas inquietudes por parte de los asistentes al taller. Esto permitió constatar la importancia de esta temática en la comunidad.

En el segundo taller, se presentó la actividad de campo a ser realizada: la recolección diaria durante un período de diez días de los residuos clasificados en origen generados en los hogares participantes. Con el fin de concientizar a los participantes, se presentaron diversas ventajas de la clasificación de residuos en origen. Además, como forma de entrenamiento, se dividió en grupos a los asistentes al taller, entregándose a cada grupo una bolsa de residuos sólidos domiciliarios (previamente preparada en función del objetivo de la actividad) a clasificar.

Con esta actividad se buscó generar un ámbito de discusión acerca de cuáles residuos eran posiblemente aprovechables y cuáles no, llegando a un criterio común de clasificación.

En el tercer taller se presentaron los resultados y conclusiones preliminares de la actividad de campo realizada. A su vez, se comentaron las actividades de valorización de residuos orgánicos y plásticos que se realizan actualmente en la ciudad de Montevideo. También se relacionó el muestreo realizado con el que había sido teóricamente propuesto.

En el cuarto taller se presentaron y discutieron las posibles formas de valorización de RSD. A su vez, las tres alternativas de valorización y disposición final de RSD que se estudian en este trabajo fueron discutidas por los participantes. Esta discusión generó un intercambio de ideas y opiniones altamente valioso.

La actividad de campo propuesta consistió en la clasificación, por parte de los asistentes al taller de los residuos sólidos generados en sus respectivos hogares por un período de diez días en dos categorías: reciclables y no reciclables.

Se eligieron estas categorías con el fin de facilitar la clasificación de los distintos componentes de interés dentro de los RSD, recordando que la finalidad de esta experiencia no fue valorizar los RSD sino determinar su composición. Se definieron como “no reciclables” a *aquellos residuos que, colocados junto con los reciclables, provocaran que éstos dejaran de serlo.*

Los residuos clasificados de esta manera por los participantes del taller fueron recolectados diariamente y se determinó, para cada día del muestreo, la composición en peso y en volumen de los RSD así como la producción en peso y en volumen per cápita de los mismos. A su vez, muestras de 1 kg de residuos no reciclables y residuos reciclables y no reciclables mezclados fueron extraídas con el fin de determinar en laboratorio poder calorífico y contenido de humedad respectivamente.

La muestra compuesta se formó por cantidades de residuos reciclables y no reciclables acordes al porcentaje presente de cada tipo en el peso total del día en cuestión.

3.4. Metodología de caracterización.

La caracterización de los RSD se realizó entre el 17/10/11 y el 26/10/11, comprendiendo un período de diez días consecutivos. Se muestrearon 30 hogares aunque diariamente se contó con los RSD provenientes de 27 hogares en promedio. La tarea de recolección y clasificación tuvo una duración de 6 horas diarias. Se procesaron en total 322 kg de residuos correspondientes a 65 kg de residuos reciclables y 257 kg de no reciclables. En volumen, estas cantidades fueron 3853 L divididos en 2346 L de residuos reciclables y 1507 L de no reciclables.

Para la realización de la tarea se utilizó el siguiente equipamiento:

- Vehículo recolector.
- Balanza digital.
- Tarrinas calibradas.
- Lonas.
- Equipamiento de protección personal.
- Bolsas plásticas.
- Cámara fotográfica.
- Planillas de registro.
- Artículos de limpieza.

En la Figura 5 se muestra la ubicación de los hogares participantes de la actividad.



Figura 5: Hogares participantes del muestreo.

En la Tabla 2 se presenta, en detalle el número de personas de cada hogar participante. Cabe destacar que no se muestrearon la totalidad de los hogares de las personas asistentes al taller. En primer lugar, a partir del trazado de un circuito preliminar, se descartaron aquellos hogares que se apartaran demasiado del mismo. En segundo lugar, se trabajó únicamente con las personas asistentes al segundo taller ya que resultaron suficientes para el alcance previsto por el presente trabajo. Por último, existieron algunos participantes que se declararon no disponibles para la realización de la experiencia.

N° de hogar	N° personas
1	2
2	3
3	6
4	4
5	3
6	2
7	3
8	1
9	4
10	3
11	7
12	4
13	4
14	4
15	2
16	4
17	2
18	3
19	2
20	2
21	3
22	1
23	3
24	2
25	3
26	2
27	3
28	3
29	3
30	4

Tabla 2: Hogares participantes del muestreo.

Para la realización de la actividad, fue entregado a cada participante un instructivo para facilitar la clasificación de los residuos así como bolsas plásticas celestes (residuos reciclables) y negras (residuos no reciclables) suficientes para toda la actividad. Puede observarse el instructivo entregado a los hogares en la Figura 6.

clasificación de residuos

**DEPOSITA EN LA BOLSA NEGRA
TODOS LOS RESIDUOS NO RECICLABLES**

estos son:

- papel, nylon y plástico **SUCIOS**
- restos de comida
- botella de aceite
- yerba
- cáscaras de frutas y verduras
- cáscaras de huevo
- residuos de jardín
- pañuelos descartables
- servilletas usadas
- algodón usado
- pañales
- papel higiénico
- toallitas femeninas
- tampones
- preservativos
- cotonetes



**DEPOSITA EN LA BOLSA CELESTE
TODOS LOS RESIDUOS RECICLABLES**

estos son:

- papel, nylon y plástico **LIMPIOS**
- envoltorios de remedios
- envases de productos de limpieza
- envases de shampoo
- latas
- vidrios
- pilas
- bolsas de leche
- metales
- cartón
- papel de diario
- loza cerámica
- papeles metálicos
- botellas de plástico
- desodorantes



agradecemos su colaboración
 POR CONSULTAS: residuosproyecto@gmail.com
 Mauro D'Angelo - Pablo Kok
 099 199 572 098 722 014

Figura 6: Instructivo de clasificación.

3.5. Recolección de los RSD.

Cada día, los RSD fueron recolectados puerta a puerta desde los hogares participantes de la actividad. Cabe destacar que ésta fue la etapa de mayor duración del proceso de caracterización de residuos.

En la Tabla 3 pueden observarse, para cada día del muestreo, la duración y horario correspondientes al proceso de recolección de residuos.

	Fecha	Día	Tiempo recolección	Recolección (hs)
lunes	17/10/11	1	19:45-00:30	5,75
martes	18/10/11	2	18:40-22:45	4,08
miércoles	19/10/11	3	18:50-22:30	3,67
jueves	20/10/11	4	18:45-22:15	3,5
viernes	21/10/11	5	18:40-22:00	3,33
sábado	22/10/11	6	17:15-21:00	3,75
domingo	23/10/11	7	17:30-20:30	3,00
lunes	24/10/11	8	19:10-22:20	3,17
martes	25/10/11	9	18:50-22:00	3,17
miércoles	26/10/11	10	18:45-21:30	2,75

Tabla 3: Duración de la recolección de RSD.

En la Figura 7 puede observarse el vehículo utilizado en la recolección y el lugar donde se iban ubicando los residuos recolectados.



Figura 7: Vehículo utilizado en la recolección.

3.6. Clasificación de los RSD.

Se clasificaron los residuos sólidos domiciliarios recolectados en los siguientes componentes:

Componente	Elemento
Residuos Alimenticios	X
Papel	Papel blanco
	Papel blanco de obra (virgen)
	Papel color
	Papel de tercera
	Papel de diario
	Otros
Cartón	Corrugado
	Liso
Plásticos	PET
	PEAD
	PVC
	PEBD
	PP
	PS
	Otros
Vidrio	Color
	Transparente
Metales	Ferrosos
	No ferrosos
Pañales y sanitarios	X
Residuos de Jardín	X
Residuos Electrónicos (incluye pilas)	X
Otros	Madera
	Trapos
	Algodón
	Loza Cerámica
Categoría Incorrecta	Residuos mal clasificados

Los componentes estudiados se eligieron según cómo se comercializan actualmente en el mercado de materiales reciclados.

Cada día, una vez recolectados los RSD, estos se transferían al lugar acondicionado para la clasificación. Este sitio se muestra en la Figura 8.



Figura 8: Sitio acondicionado para la clasificación.

Seguidamente, para cada día de clasificación se midió el peso de residuos reciclables y no reciclables producido por cada hogar efectuando de esta manera un estudio de trazabilidad de los residuos procesados. En la Figura 9 pueden observarse el peso de residuos reciclables y no reciclables producidos por los hogares el 19/10/11. Cabe destacar que no todos los hogares están constituidos por la misma cantidad de personas, por lo tanto, las diferencias en los hogares puede deberse simplemente a una mayor cantidad de habitantes productores de residuos y no a una diferencia en el consumo de productos y producción de residuos.

Taller de extensión 2011

19/10

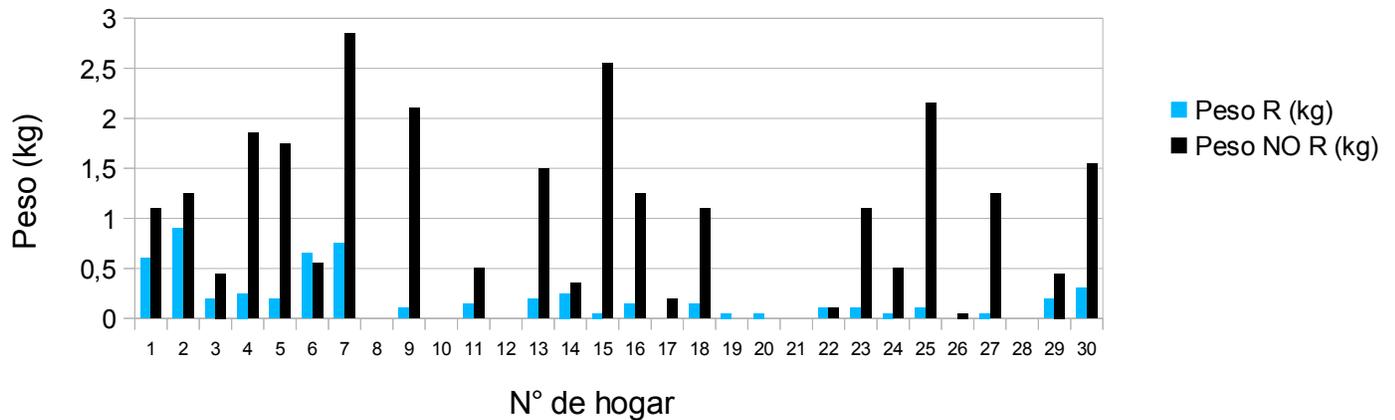


Figura 9: Producción de residuos en cada hogar el 19/10/11.

Luego se determinaron y computaron los pesos y volúmenes aparentes con bolsas plásticas de la totalidad de las fracciones reciclable y no reciclable para cada día de muestreo. Para conseguirlo, las bolsas con residuos se fueron colocando dentro de tarrinas con peso y volumen calibrados y, una vez llena una tarrina, se pesó la misma obteniéndose el peso de los residuos restándole al peso total el peso de la tarrina. Finalmente se obtuvo el peso y volumen total sumando los pesos y volúmenes de la cantidad de tarrinas con residuos. Cabe destacar que, dada la geometría de las tarrinas empleadas, su volumen fue aproximado como el de un cono truncado, de forma tal de obtener analíticamente, y de forma aproximada, el volumen de residuos dentro de cada tarrina estuviera ésta llena totalmente de residuos o no. Este proceso puede observarse en las Figuras 10 y 11.



Figura 10: Cómputo de pesos y volúmenes.



Figura 11: Tarrinas con residuos.

A continuación se clasificaron los RSD recolectados en los componentes anteriormente mencionados, calculando peso y volumen de cada uno de ellos. En la Figura 12 pueden observarse los residuos reciclables clasificados para un día del período de recolección.



Figura 12: Residuos reciclables clasificados.

De esta manera se obtienen, diariamente, composiciones resultantes en peso y volumen de los RSD. La Figura 13 muestra el gráfico correspondiente a la composición en peso obtenida el 22/10/11.

Composición resultante en peso

22/10

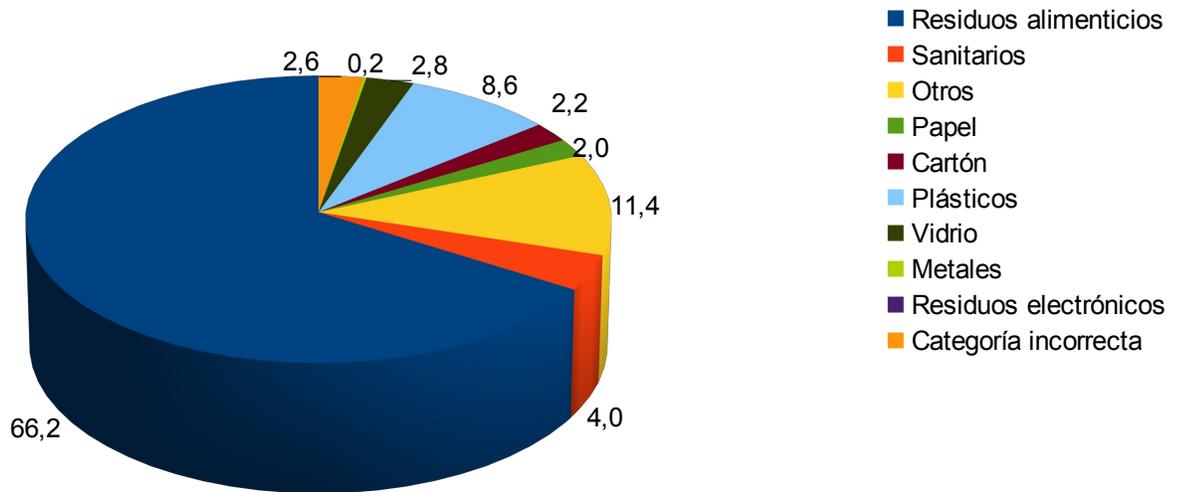


Figura 13: *Composición resultante en peso para el 22/10/11.*

Finalmente, para cada día de clasificación se tomaron las muestras para ensayos de laboratorio según se describió anteriormente. Además, se desecharon los residuos clasificados cada día y se reacondicionó el lugar de trabajo para la siguiente jornada. El proceso de descarte de residuos se ilustra en la Figura 14.



Figura 14: *Descarte diario de residuos clasificados.*

En la Tabla 4 se indica para cada día y horario la duración del proceso de clasificación. Puede observarse que esta etapa fue siempre más breve que la recolección.

Fecha	Día	Tiempo clasificación	Clasificación (hs)
17/10/11	1	01:00-05:30	4,37
18/10/11	2	22:45-01:30	2,75
19/10/11	3	22:30-01:00	2,33
20/10/11	4	22:15-00:15	2
21/10/11	5	22:00-00:15	2,25
22/10/11	6	21:00-23:30	3
23/10/11	7	22:00-23:40	1,67
24/10/11	8	22:20-00:15	1,91
25/10/11	9	22:00-00:00	2
26/10/11	10	21:30-23:45	2,25

Tabla 4: Duración de la clasificación de RSD.

Puede observarse que el tiempo necesario para la clasificación de los residuos cambió drásticamente del primer día al segundo y luego se mantuvo dentro de un margen acotado. Esto se debe a que el primer día se volcó la totalidad de los residuos en las lonas plásticas y luego se procedió a clasificarlos. En cambio, en el resto de los días de muestreo, los residuos recolectados se fueron clasificando a medida que fueron siendo retirados de las bolsas plásticas. Este cambio de procedimiento redujo notoriamente el tiempo de clasificación de los RSD.

De esta forma se obtuvieron, para cada día, las composiciones resultantes en peso y en volumen de los RSD, así como las tasas diarias, en peso y en volumen, producidas por cada habitante durante el período de trabajo.

3.7. Resultados, comparaciones y comentarios.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos mediante el procedimiento de recolección y clasificación descrito en las secciones anteriores. A su vez, se compara el muestreo efectuado con el que había sido diseñado anteriormente dividiendo a la población de Montevideo en dos estratos homogéneos. También se aplican diversas normas técnicas referidas a la materia, de forma de recalculer el número de muestras necesarias para lograr determinada representatividad en los resultados y de modo de estimar el error cometido en la determinación de la producción diaria de residuos per cápita. Esto último servirá como forma de validar el trabajo realizado. Por último, se comparan los resultados obtenidos con los presentados en estudios similares realizados en el pasado.

3.7.1. Resultados.

Primeramente se presentan gráficamente, en las Figuras 15 y 16, las composiciones medias obtenidas en peso y volumen.

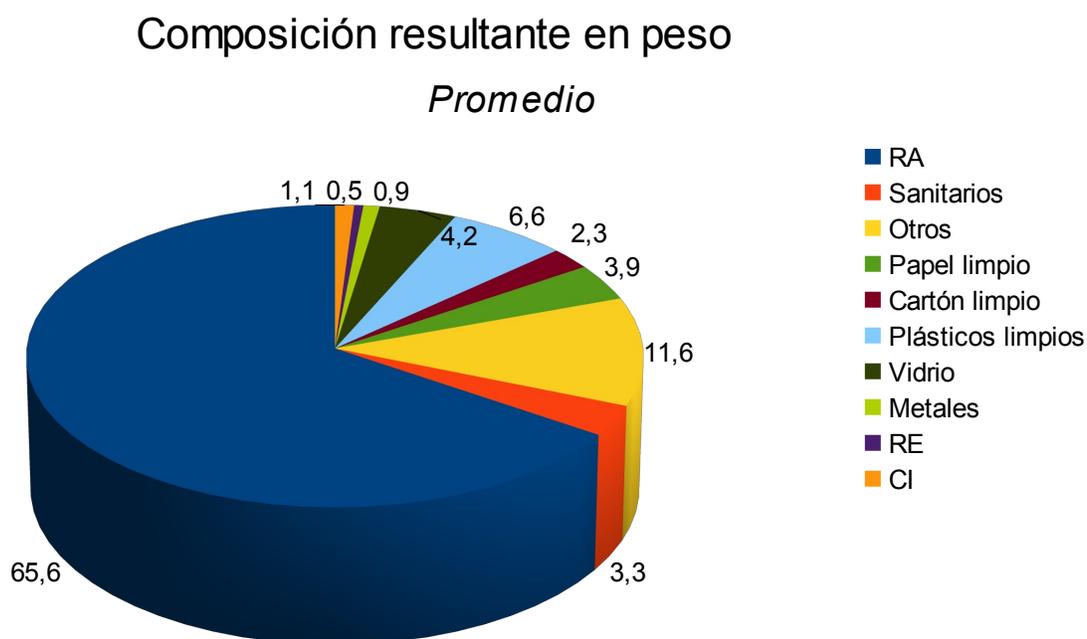


Figura 15: Composición media de los RSD en peso.

Composición resultante en volumen

Promedio

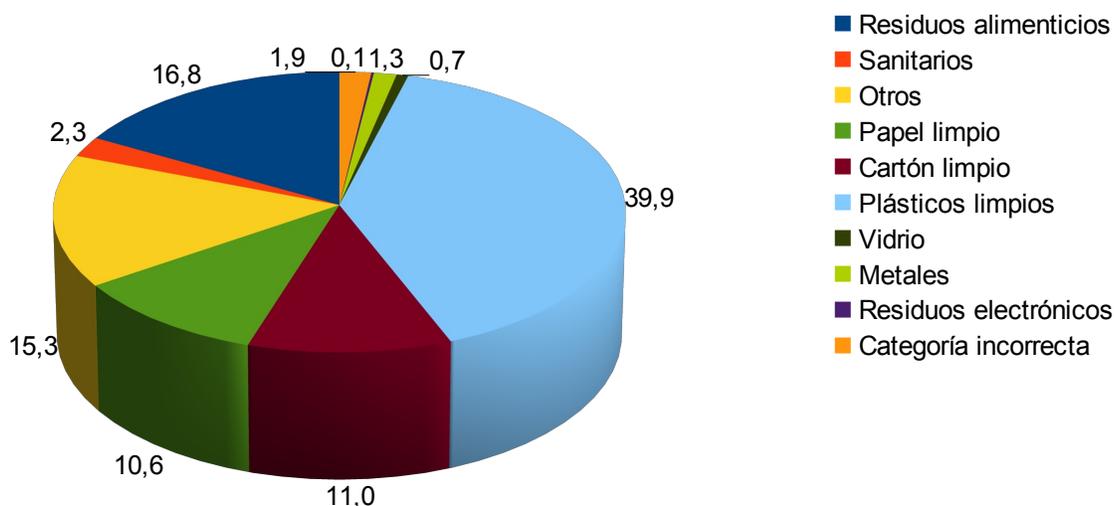


Figura 16: *Composición media de los RSD en volumen.*

En los gráficos anteriores la información acerca de la composición resultante se presenta de manera compacta. Por ejemplo, más allá que los residuos plásticos fueron clasificados en siete componentes distintos, se los presenta agrupados en una única categoría con el fin de lograr gráficos más amigables. De todas maneras se cuenta con la información de la composición resultante en peso y en volumen de todos los componentes identificados en los RSD.

Seguidamente se presentan, en las Figuras 17 y 18, la variación diaria de la producción de residuos por habitante en peso y volumen (PPC y VPC respectivamente).

Evolución de la PPC

17/10/11-26/10/11

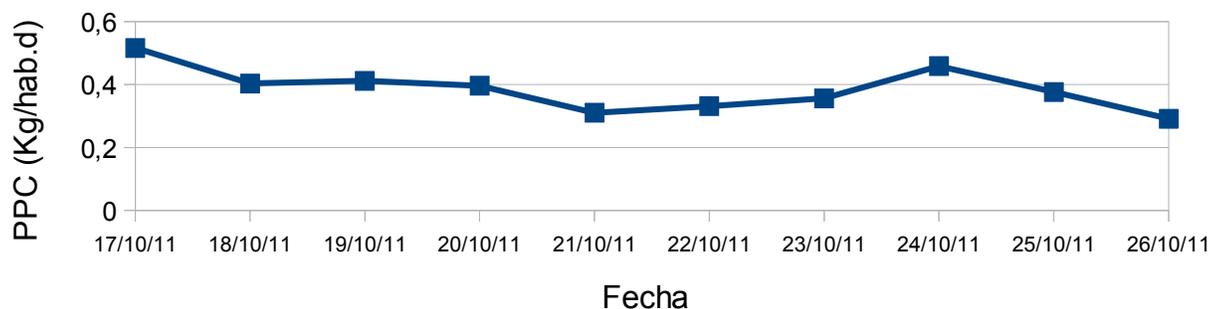


Figura 17: *Evolución de la producción diaria de residuos por habitante en peso.*

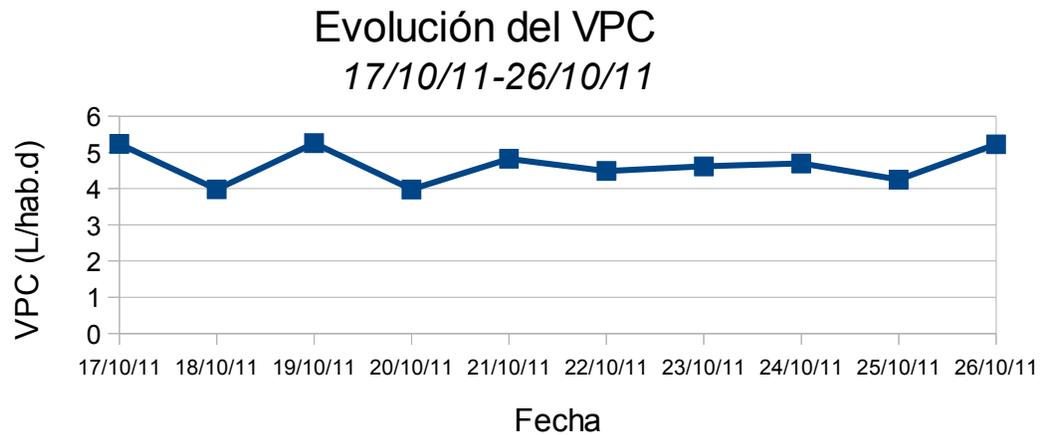


Figura 18: Evolución de la producción diaria de residuos por habitante en volumen.

Gráficamente puede observarse que la PPC varía aproximadamente entre 0,3 kg/hab.d y 0,5 kg/hab.d y la VPC entre 4 L/hab.d y 5 L/hab.d. También resultó interesante estudiar cuán variable fue el porcentaje de cada componente de los RSD estudiado en las composiciones diarias obtenidas en peso y en volumen. A tal efecto se presentan los siguientes resultados gráficos en las Figuras 19 y 20.

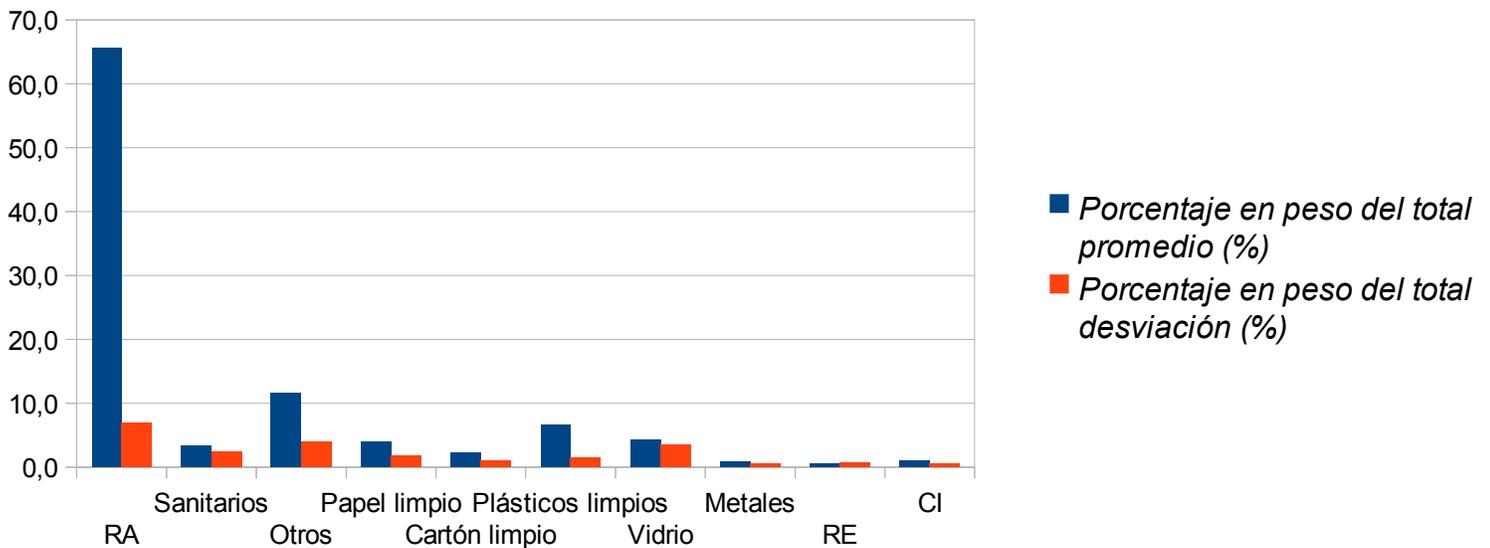


Figura 19: Valores medios y desviaciones para cada tipo de residuo considerado en peso.

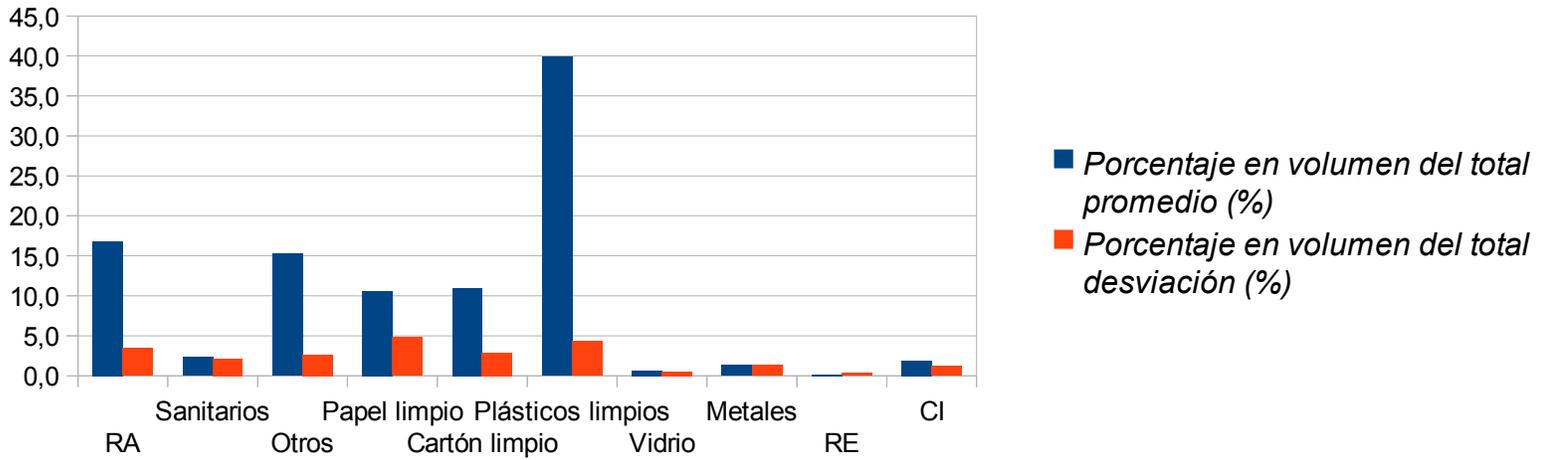


Figura 20: Valores medios y desviaciones para cada tipo de residuo considerado en volumen.

Profundizando en este sentido, los siguientes gráficos (Figuras 21 y 22) muestran la evolución de las composiciones en peso y en volumen de los RSD a lo largo del período temporal estudiado.

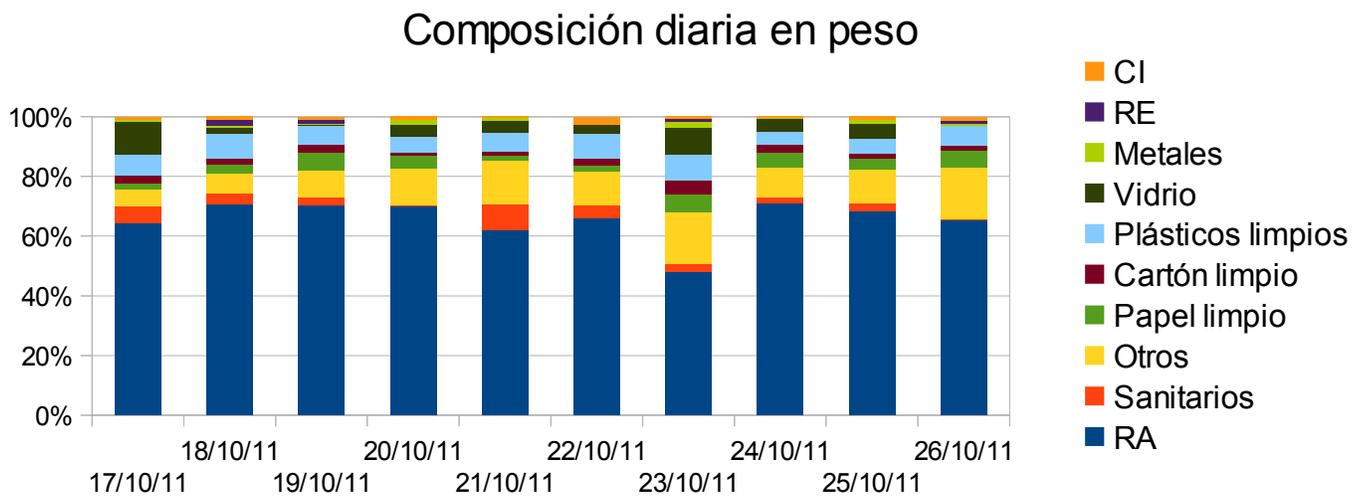


Figura 21: Evolución de la composición diaria en peso.

Composición diaria en volumen

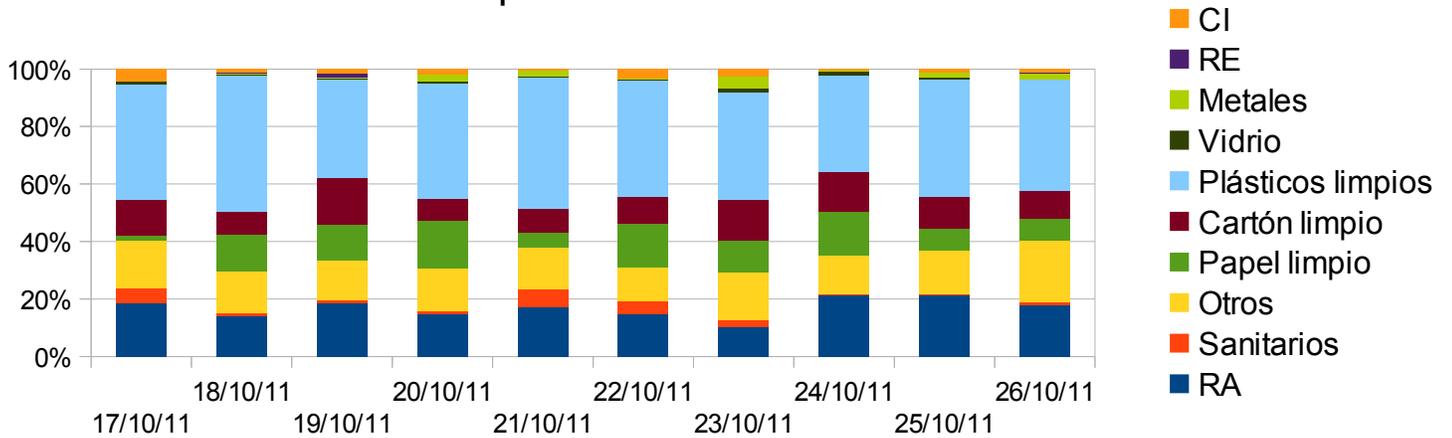


Figura 22: Evolución de la composición diaria en volumen.

Observando la información gráfica presentada puede decirse que los residuos alimenticios son los de mayor proporción en peso con una desviación porcentual baja (6,9 %) en relación a su media porcentual (65,6 %). Mientras tanto se observa que en volumen predominan los residuos plásticos con una media de 39,9 % y una desviación porcentual igual a 4,3 %. Dado que los residuos plásticos son los de mayor proporción en volumen, se entendió pertinente desglosar su composición en peso y en volumen en los distintos elementos clasificados dentro de los residuos plásticos (Figuras 23 y 24).

Composición resultante en peso (Plásticos limpios)

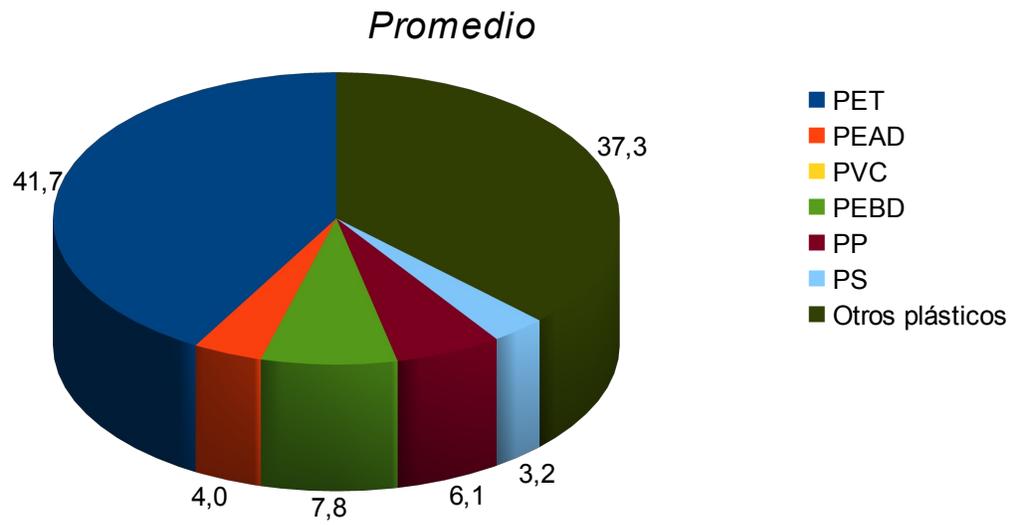


Figura 23: Composición media en peso de residuos plásticos.

Composición resultante en volumen (Plásticos limpios)

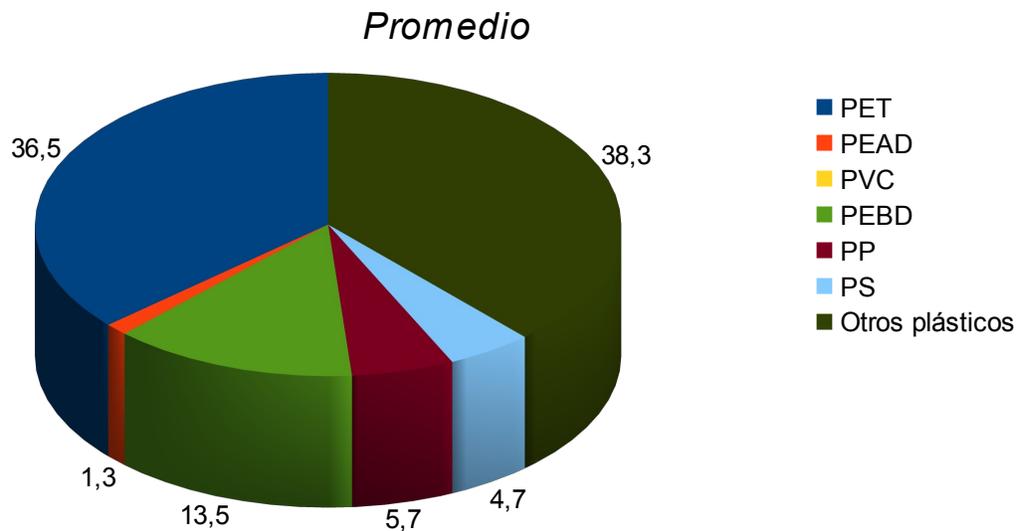


Figura 24: Composición media en volumen de residuos plásticos.

En términos medios, la PPC de residuos fue 0,4 kg/hab.d y la VPC 4,7 L/hab.d. Además, la densidad media de residuos reciclables y no reciclables combinados fue 88,4 kg/m³.

A continuación se profundizó en el análisis de la tasa de generación per cápita diaria de RSD reciclables y no reciclables. En el siguiente gráfico (Figura 25) se muestra la dependencia observada de la PPC con la cantidad de habitantes del hogar.

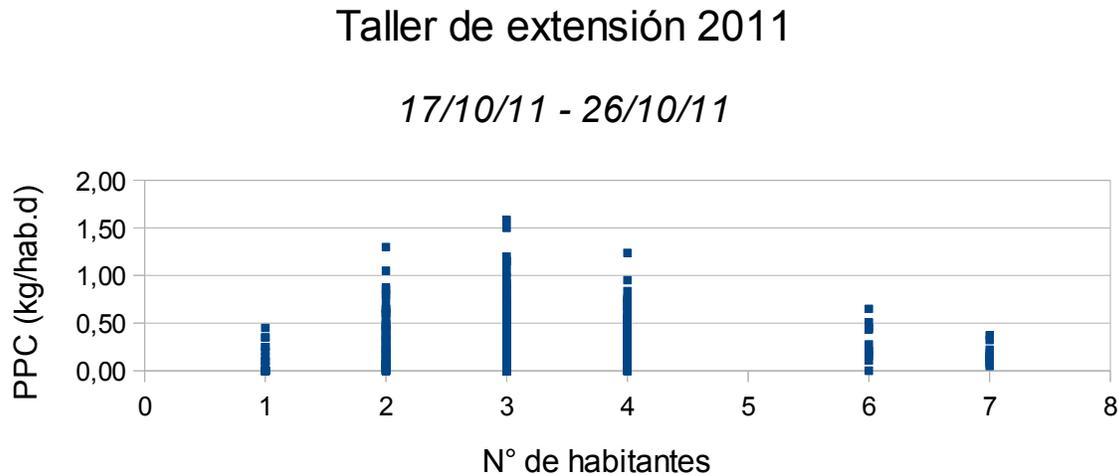


Figura 25: PPC para cada número de habitantes del hogar.

Se observa que las mayores PPC se obtuvieron para los hogares con tres habitantes alcanzando valores de aproximadamente 1,50 kg/hab.d. Cabe recordar que, en promedio, la PPC resultó ser 0,4 kg/hab.d.

Utilizando las muestras obtenidas en cada día de recolección y clasificación de RSD, se realizaron ensayos de contenido de humedad y poder calorífico.

- Ensayo de contenido de humedad:

En el ensayo de contenido de humedad se utilizaron muestras compuestas de residuos reciclables y no reciclables mezclados correspondientes a siete días, además de una muestra de residuos no reciclables, correspondiente al último día de muestreo.

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio del Departamento de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería, y para los mismos se utilizaron:

- Horno de mufla
- Balanza digital (precisión 0,01 g)
- Pizarra de registro
- Heladera para conservar muestras
- Pinza de madera

El procedimiento consiste en introducir la muestra en el horno de mufla a 105 °C y dejarla secar hasta que se llegue a un peso constante. Esto corresponde a un ensayo tipo de determinación del contenido de humedad. Los detalles de las sucesivas pesadas realizadas para cada día, se resumen a continuación:

<i>Día</i>	<i>Fecha</i>	<i>Hora</i>	<i>Peso Húm (g)</i>	<i>Peso (g)</i>	<i>Contenido de humedad (%)</i>
1 (Jueves)	21/10/11	15:00:00	1017,7		0,0
	22/10/11	11:50:00		732,1	28,1
	22/10/11	12:30:00		741,1	27,2
	22/10/11	13:00:00		711,1	30,1
2 (Viernes)	22/10/11	13:00:00	1154,4		0,0
	24/10/11	09:15:00		484,8	58,0
3 (Sábado)	24/10/11	09:15:00	1058,5		0,0
	25/10/11			578,8	45,3
	25/10/11			594,1	43,9
	25/10/11	15:15:00		579,9	45,2
	25/10/11			571,1	46,0
4 (Domingo)	24/10/11	09:30:00	1072,7		0,0
	25/10/11			558,5	47,9
	25/10/11	15:15:00		558,2	48,0
	25/10/11			572,9	46,6
5 (Lunes)	25/10/11	16:36:00	1004		0,0
	26/10/11	15:50:00		669,8	33,3
	26/10/11	18:50:00		624,4	37,8
	27/10/11	09:10:00		478,2	52,4
	27/10/11	10:00:00		473,4	52,8
	6 (Martes)	27/10/11	14:45:00	1179	
27/10/11		14:20:00		1119,6	5,0
27/10/11		17:50:00		1064,2	9,7
28/10/11		12:40:00		730	38,1
28/10/11		15:25:00		693	41,2
28/10/11		17:40:00		668,13	43,3
29/10/11		10:20:00		512,6	56,5
29/10/11		10:50:00		507,9	56,9
29/10/11		11:20:00		503,9	57,3
7 (Miércoles)		29/10/11	11:20:00	1032,1	
	31/10/11	10:00:00		425,7	58,8
	31/10/11	10:30:00		421	59,2
	31/10/11	11:00:00		413,8	59,9
	31/10/11	12:00:00		400,4	61,2
	31/10/11	13:30:00		385,6	62,6
	31/10/11	15:00:00		366	64,5

Tabla 5: Ensayos de contenido de humedad RSD.

Día	Fecha	Hora	Peso Húm (g)	Peso (g)	Contenido de humedad (%)
(Miércoles) (NO-R)	31/10/11	19:30:00	999,6		
	01/11/11	11:00:00		784,4	21,5
	01/10/11	15:00:00		736,2	26,4
	01/11/11	18:40:00		663,6	33,6
	03/11/11	13:30:00		334,9	66,5
	03/11/11	13:55:00		332,1	66,8
	03/11/11	19:55:00		301,5	69,8
	04/11/11	09:30:00		290,5	70,9
	04/11/11	13:30:00		289,6	71,0
	04/11/11	15:30:00		289,3	71,1

Tabla 6: Ensayo de contenido de humedad Residuos No-Reciclables.

Se observa que, como era de esperar, el contenido de humedad de las muestras compuestas es siempre menor al de la muestra de residuos no reciclables analizada. Este resultado es lógico ya que los residuos no reciclables están compuestos en su mayoría por residuos alimenticios y sanitarios los cuales presentan gran contenido de humedad. Cabe destacar que los ensayos de contenido de humedad fueron llevados a cabo sin contar con un método estandarizado para su realización.

- Ensayo de poder calorífico:

Para los ensayos de poder calorífico se utilizaron muestras diarias conformadas solamente por residuos no reciclables para un período de siete días. Se ensayaron este tipo de muestras ya que el poder calorífico de los residuos reciclables puede ser relevado a partir de bibliografía considerando que este tipo de materiales son similares en los distintos países.

El procedimiento consiste en secar la muestra (a $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ – $105\text{ }^{\circ}\text{C}$), homogeneizarla, y luego tomar 5 submuestras de 1 g cada una, de este modo se evalúa la reproducibilidad del ensayo al contar con cinco resultados diarios. Dichas muestras deben permanecer con un contenido de humedad del 10 % para una adecuada combustión. Luego se debe colocar la muestra en un crisol de cuarzo al cual se le coloca un algodón que conecta los electrodos de ignición con la muestra. Se introduce en una cápsula de descomposición (totalmente hermética) que se presuriza a 30 atm. La cápsula de descomposición se introduce en la bomba calorimétrica que posee un contenedor lleno con agua. Luego se realiza la combustión de la muestra y la bomba calorimétrica determina el poder calorífico de la muestra a partir de la variación de temperatura que tiene el agua. La bomba calorimétrica utilizada se muestra en la Figura 26.



Figura 26: Bomba calorimétrica utilizada (LATU).

3.7.2. Comentarios en relación a los resultados.

De forma preliminar podría decirse que, si se consideran como residuos reciclables al grupo conformado por el papel y cartón limpios, los metales, los vidrios y los residuos plásticos limpios, éstos representan, en términos medios, un 17,9 % en peso del total de los RSD. Según información relevada en el PDRS, el sector informal se encarga de la comercialización del 12 % de los residuos dispuestos por la población. Por lo tanto, podría aventurarse que la eficiencia de la recolección, clasificación y valorización de residuos realizada por los clasificadores es alta ya que se comercializan aproximadamente el 67 % de los residuos disponibles en teoría para dicho fin. Lógicamente, no es considerado en este razonamiento el hecho de que los clasificadores reciben el aporte de residuos comerciales potencialmente reciclables que no se incluyen en este estudio. Sin embargo, dado que actualmente no se realiza una clasificación en origen de forma organizada en los hogares montevideanos, buena parte de los residuos encontrados como reciclables en este estudio no lo son en la realidad por estar en contacto con residuos no reciclables que los vuelven no comercializables. Si estos dos hechos comentados brevemente se equilibran, el razonamiento anterior podría tener cierta validez.

Este grupo de residuos representa el 63,5 % de los RSD en volumen. Por lo tanto queda claro, que si existiera una política clara de desviación de este tipo de residuos del circuito actual de recolección y disposición, se disminuiría en más de la mitad el volumen de residuos a disponer en el sitio de disposición final. A su vez, para los residuos alimenticios, que representan el 65,6 % en peso del total de los RSD, sería posible llevar a cabo metodologías de tratamiento que logren reducir los volúmenes a disponer de este tipo de residuos.

En cuanto al muestreo diseñado en secciones anteriores de este capítulo, es pertinente decir que todos los hogares muestreados se encuentran en el estrato homogéneo 1 y lo representan con un 5,5 % de incertidumbre. De este resultado se desprende que se logra una muy buena representación del estrato homogéneo 1 mientras que el estrato homogéneo 2 no es representado. En este sentido, quizás este trabajo pueda servir de experiencia piloto para implementar otro que logre representar el comportamiento con respecto a la generación de residuos de todos los hogares montevideanos.

Referido a la eficiencia de clasificación según las dos categorías propuestas alcanzada por los hogares participantes, debe decirse que fue muy alta. Cuantitativamente hablando, los errores de clasificación representaron el 1,1 % en peso y el 1,9 % en volumen del total de los RSD clasificados. Esto significa que la población participante se comprometió de gran manera con la actividad propuesta y pudo realizarla correctamente sin grandes dificultades. Este hecho es visto como muy positivo pensando en el futuro desarrollo de actividades de este tipo en la ciudad de Montevideo.

3.7.3. Comparación con estudios anteriores.

A continuación se presentan datos publicados en trabajos anteriores, de modo de tener información de referencia para analizar los resultados obtenidos.

Comparación de la composición de RSD del AMM con composiciones en otros países

	ARGENTINA 1996	PARAGUAY 1995	CHILE 1992	ESPAÑA 1996	ALEMANIA 1995	AMM 2004
Cartón y Papel	20,3%	10,2%	18,8%	21,2%	12,0%	13,2%
Metal	3,9%	1,3%	2,3%	4,1%	5,0%	1,4%
Vidrio	8,1%	3,5%	1,6%	6,1%	5,0%	3,4%
Textiles	5,5%	1,2%	4,3%	---	8,0%	1,7%
Plásticos	8,2%	4,2%	10,3%	10,6%	9,0%	12,6%
Orgánicos	53,2%	56,6%	49,3%	44,1%	36,0%	55,4%
Otros	0,8%	23,0%	13,4%	13,9%	25,0%	12,3%

PDRS

Variación de los residuos sólidos en Montevideo ^{32,33}				
Tipos de material	Banco Mundial 1986	% en peso Facultad de Ingeniería* 1994	Intendencia Municipal de Montevideo 1995	Proyecto IMM PNUD/URU/91/008 2a. Etapa 1996
Materia orgánica	49.3	42.9	56	63
Plásticos	10.8	18.4	13	11
Chatarra	4.7	3.0	7	2
Vidrio	4.3	3.8	4	3
Papel y cartón	8.4	27.6	8	10
Otros	22.2	2.0	12	11

* Datos extraídos en una base húmeda.

CEMPRE

Respecto a la información presentada, es importante destacar que la misma refiere a la totalidad de los residuos generados, y no sólo a los RSD. Se observan interesantes coincidencias, sobre todo en referencia a valores de Residuos Alimenticios y Plásticos, materiales predominantes en peso y volumen respectivamente. Lo más relevante de la información de referencia radica en tener datos orientadores y confirmar coincidencias en los órdenes de las cantidades de cada componente. Si bien se complejiza el análisis debido, entre otras cosas, a distintos criterios de clasificación, resulta útil tenerlos presentes como forma de validar desde otra perspectiva los resultados obtenidos en el muestreo. Cabe destacar que en el último trabajo que presenta el cuadro extraído desde el CEMPRE² se realizó un cálculo de la PPC resultando igual a 0,4 kg/hab.d en promedio, valor que coincide exactamente con el reportado en este trabajo.

²Proyecto IMM PNUD/URU/91/008 2a. Etapa 1996

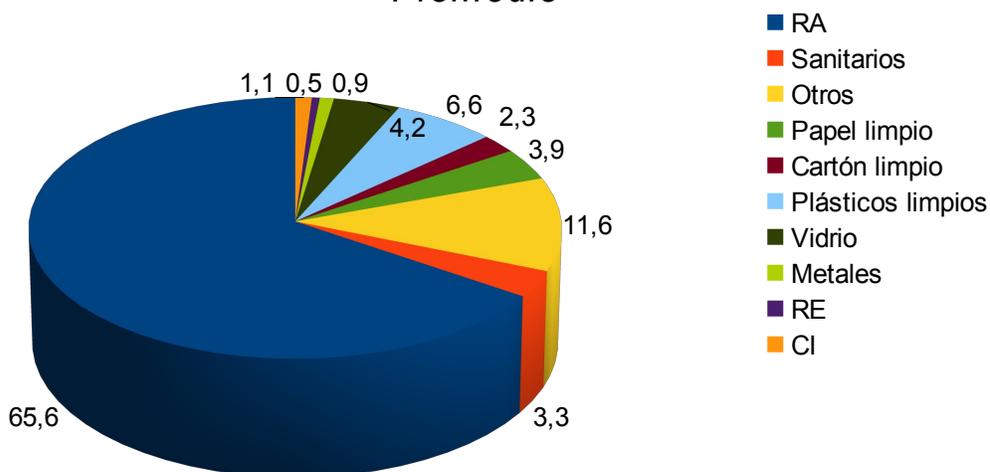
3.8. Conclusiones.

Los resultados obtenidos a partir de la recolección y clasificación de los residuos sólidos domiciliarios en los hogares muestreados serán tomados como válidos a la hora de extrapolarlos para toda la ciudad de Montevideo. Se hará esto con el fin de obtener, de forma aproximada, las cantidades en peso y en volumen producidas diariamente por la población montevideana.

Los principales resultados obtenidos se resumen a continuación.

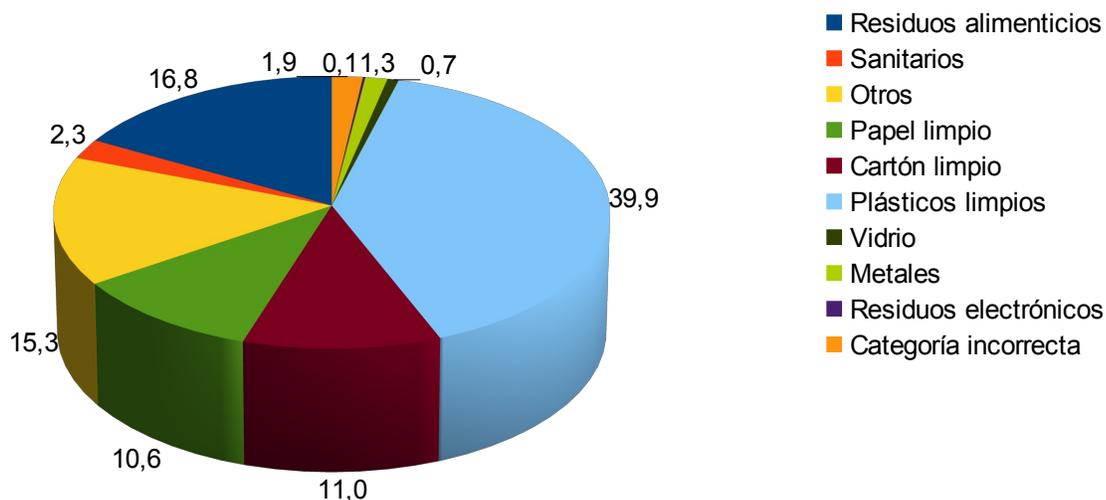
Composición resultante en peso

Promedio



Composición resultante en volumen

Promedio



- PPC media = 0,4 kg/hab.d.
- VPC medio = 4,7 L/hab.d.
- ρ media = 88,4 kg/m³.

Más allá de que estos resultados serán extrapolados para toda la población montevideana, se destacan, a continuación, algunas limitaciones que los mismos presentan.

En primer lugar, debe recalcar el hecho de que se trabajó con una **población dispuesta a colaborar**, ya que concurrió al Ciclo Taller de forma voluntaria sabiendo que a partir del mismo se llevaría a cabo una actividad de campo. Por lo tanto los excelentes resultados obtenidos en cuanto a eficiencia de clasificación por parte de la población deben observarse con cuidado, ya que se trabajó con un subconjunto especial de la población montevideana.

En segundo lugar se recuerda que, según la división realizada de la población montevideana en dos estratos homogéneos, la muestra tomada representa de muy buena forma (5,5 % de incertidumbre) al estrato homogéneo 1 pero **no representa al estrato homogéneo 2**, por lo tanto al extrapolar los resultados obtenidos a toda la población de la ciudad debe tenerse en cuenta este hecho. De todas formas, en este trabajo se utilizarán los resultados obtenidos para representar el comportamiento en cuanto a la producción de residuos de toda la población montevideana.

En tercer lugar, debe destacarse que **los residuos muestreados corresponden a aquellos producidos por los habitantes en sus hogares**. Esto significa que todos los residuos que las personas participantes produjeron fuera de sus hogares durante el período de muestreo no fueron tenidos en cuenta. Esto quiere decir que seguramente la PPC en kg/hab.d y el VPC en L/hab.d en realidad tengan valores un poco superiores a los calculados en este trabajo.

En cuarto lugar, **la densidad calculada en este trabajo corresponde a residuos sin compactar**. Por lo tanto, ésta será menor a la que pueda calcularse tomando una muestra de residuos en un contenedor o en el sitio de disposición final.

En quinto lugar, cabe destacar que **la categoría “otros” dentro de los residuos plásticos está constituida o bien por residuos plásticos que indicaban pertenecer a la categoría número 7 o bien por aquellos que no pudieron identificarse como pertenecientes a ninguna de las otras seis categorías identificadas**. Esto quizás explica el gran porcentaje que representa la categoría “otros” dentro de los plásticos tanto en peso como en volumen. De todas maneras, se destaca que cada residuo plástico fue cuidadosamente inspeccionado antes de ser incluido en alguna de las siete categorías identificadas y que sólo aquellos que no pudieron ser clasificados fueron incluidos en la categoría “otros”.

Además, cabe destacar que la categoría “otros” que aparece en los gráficos generales de composición media en peso y en volumen corresponde a:

- Envases de tetra-brick.
- Blisters de medicamentos.
- Trapos.
- Cerámica.
- Madera.
- Plástico sucio.
- Papel sucio.

Por último, cabe mencionar que ***los residuos mal clasificados (“categoría incorrecta”) no fueron reclasificados***. Como consecuencia, diariamente se dejaron sin clasificar residuos sólidos domiciliarios que fueron recolectados (dichos residuos no llegan al 5 % tanto en peso como en volumen).

4. Formas de valorización de residuos sólidos.

En este capítulo se describen brevemente los principales componentes que pueden encontrarse en los residuos sólidos domiciliarios. Estos son: residuos alimenticios, plásticos, papel, cartón, vidrio y metales. A su vez, por considerarlo un componente que está experimentando un gran crecimiento en la composición de los RSD, también se describirán brevemente los residuos electrónicos.

Luego, serán descritas las principales formas de valorización existentes para los RSD.

4.1. Principales componentes de los RSD

Residuos alimenticios:

Como se vio en el capítulo 3, los residuos alimenticios representan el componente más importante en peso de los residuos sólidos domiciliarios (65,4 %). Los residuos alimenticios son los que se producen como resultado de la preparación de alimentos en el hogar y los restos de su consumo. Un ejemplo típico de desechos de este tipo se observa en la Figura 27.



Figura 27: Residuos alimenticios.

Residuos plásticos:

Los plásticos son materiales realizados con resinas (polímeros) sintéticas que proceden de recursos naturales, principalmente petróleo. Un 4 % del petróleo utilizado en el planeta se destina a la producción de plásticos. Los monómeros, como el etileno, son las piezas

fundamentales de la estructura de los plásticos. Están formadas básicamente por carbono e hidrógeno. La unión de muchos monómeros forma un polímero, por ejemplo el polietileno. Un ejemplo de producto de este material puede observarse en la Figura 28.



Figura 28: Polietileno.

Los polímeros son cadenas de longitud variada, unidas entre sí por enlaces químicos. La reacción química que les da origen se conoce como polimerización. Los dos grandes tipos de plásticos, los termoplásticos y los termofijos, se diferencian en sus características pues los primeros no presentan uniones químicas entre cadenas, mientras que los segundos sí.

Los plásticos no son fácilmente degradables, esta propiedad los hace muy atractivos para su utilización con propósitos varios. Sin embargo, esta misma propiedad los vuelve un residuo muy difícil de tratar. Se recuerda que en la composición de los RSD descritas en el capítulo anterior, los residuos plásticos resultaron ser los más importantes en volumen con un 37 % del total.

Dentro de la gran variedad de resinas termoplásticas, apenas seis representan cerca del 90 % del consumo: Polietileno de baja densidad (PEBD), Polietileno de alta densidad (PEAD), Cloruro de Polivinilo (PVC), Poliestireno (PS), Polipropileno (PP) y Polietilenotereftalato (PET). Con el fin de identificar de qué tipo de plástico está hecho cierto material, existe un sistema internacional de codificación que representa los seis tipos de plásticos mencionados anteriormente. Esta codificación aparece en diversos productos plásticos y puede observarse en la Figura 29.

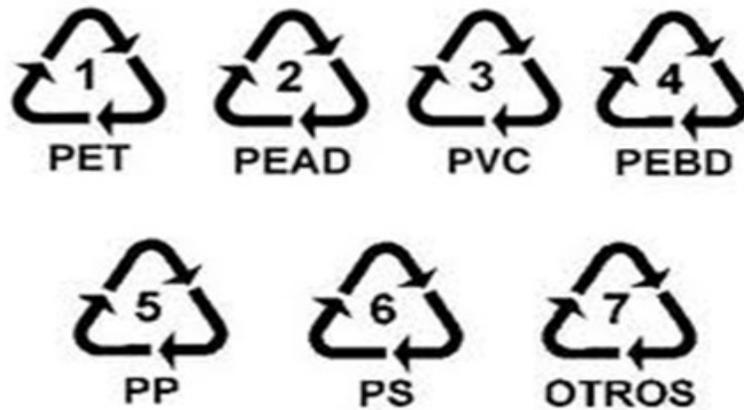


Figura 29: Codificación de materiales plásticos.

Papel y cartón:

El papel es una hoja delgada hecha con pasta celulósica. Esta pasta está compuesta básicamente de fibras de celulosa. Estas fibras en general proceden de la madera, pero se pueden utilizar otras materias primas fibrosas (bagazo de caña de azúcar, bambú, paja de arroz, esparto, cáñamo, etc).

El cartón es un material compuesto de varias hojas superpuestas de papel, que se adhieren unas a otras por compresión y se secan luego por evaporación.

De acuerdo con su finalidad, las diferentes clases de papel se clasifican en:

- Para impresión;
- Para escribir;
- Para embalaje;
- Para fines sanitarios;
- Cartones y cartulinas;
- Especiales.

Una propiedad muy importante del papel es su gramaje, es decir, el peso en gramos de un área de un metro cuadrado de papel (g/m^2). Esta característica es la que determina que el material pueda considerarse cartón o cartulina.

Vidrio:

El vidrio es un material obtenido por la fusión de compuestos inorgánicos a altas temperaturas, y el enfriamiento de la masa resultante hasta un estado rígido, no cristalino. El

principal componente del vidrio es la sílice (SiO_2). La sílice, sola, sería un vidrio ideal para muchas aplicaciones, pero las altas temperaturas necesarias para su fusión y las dificultades para darle forma limitan su uso a algunas aplicaciones especiales solamente. Para reducir la temperatura de fusión de la sílice, es necesario utilizar un fundente, y para ello sirve el óxido de sodio (Na_2O).

Como el conjunto $\text{SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ es soluble en agua, se añade un tercer elemento, el óxido de calcio (CaO), que le confiere al vidrio la estabilidad química necesaria. Este vidrio se denomina vidrio soda-cal. El vidrio soda-cal, también llamado “vidrio común”, representa el 90 % de todo el vidrio fabricado en el mundo. Este tipo de vidrio, además de SiO_2 , Na_2O y CaO (90 % de su composición) posee otros elementos, algunos provenientes de la propia materia prima usada, como el óxido de hierro (Fe_2O_3), y otros agregados para brindarle al vidrio características deseables, como es el caso del óxido de aluminio (Al_2O_3).

Vidrios transparentes de alta calidad utilizan arenas con niveles de Fe_2O_3 inferiores a 0,01 %.

En la actualidad, la industria del vidrio utiliza procesos de fabricación específicos de acuerdo con el tipo de producto final que se desea. Una primera clasificación divide esos procesos en Primarios (automáticos y manuales) y Secundarios.

Los Procesos Primarios se caracterizan por la producción de vidrio a partir de la fusión de materias primas a altas temperaturas, mientras los Procesos Secundarios son los que transforman el vidrio en otros productos, es decir, cualquier proceso en el que la materia prima para la fabricación sea el propio vidrio, tales como: espejos, vidrios templados, vidrios laminados, entre otros.

Metales:

Los metales, en cuanto a su composición, se clasifican en dos grandes grupos: ferrosos (aquellos compuestos básicamente de hierro), y no ferrosos. Esta división se justifica por la gran predominancia de uso de los materiales a base de hierro, principalmente el acero. El acero es hierro combinado con carbono, existiendo aceros especiales que contienen otros metales en pequeña proporción. Los metales son materiales de larga durabilidad, resistencia mecánica y facilidad de moldeo, siendo muy usados en equipos, estructuras y envases en general.

Entre los materiales no ferrosos se destacan: el aluminio, el cobre y sus aleaciones, el plomo, el níquel y el zinc.

Los procesos de fabricación del metal se dividen en: Primario y Secundario. En el proceso Primario, el metal se obtiene a través de la reducción del mineral al estado metálico por medio de reductores, como el carbón. Este proceso se realiza a altas temperaturas, con un elevado consumo de energía. El metal obtenido se denomina primario. En el proceso Secundario, el metal es obtenido básicamente a través de la fusión de metal ya usado, denominado chatarra. El consumo de energía es menor, y el metal obtenido se denomina secundario.

La mayor parte de los metales presentes en los RSD proviene de envases, principalmente de alimentos (latas). En menor cantidad, pueden encontrarse en los residuos metales provenientes de utensilios y equipos desechados (ollas, piezas de electrodomésticos, etc.).

Residuos electrónicos (e-waste):

Estos residuos corresponden a equipos eléctricos o electrónicos que han sido descartados, tales como: computadoras, teléfonos celulares, electrodomésticos, etc.. Este tipo de residuo está experimentando un rápido crecimiento debido a la pronta obsolescencia que caracteriza a este tipo de productos combinada con la creciente demanda generada en torno a estos dispositivos. Se calcula que se producen alrededor de 50 millones de toneladas de estos residuos en el mundo anualmente (ONU). El tratamiento inadecuado de este tipo de residuos puede causar graves afectaciones al ambiente y a la salud humana.

Un ejemplo de este tipo de residuos puede observarse en la Figura 30.



Figura 30: Desechos electrónicos.

Al día de hoy se sabe de la existencia de grandes vertederos donde los países occidentales vierten su basura electrónica. El mayor vertedero del mundo de este tipo se encuentra en China, concretamente en la ciudad de Guiyu, información que el propio gobierno chino ha confirmado. Se calcula que en esa ciudad trabajan 150.000 personas para tratar la basura que llega, principalmente, de EEUU, Canadá, Japón y Corea del Sur.

Actualmente, la vida útil de las computadoras es de aproximadamente 2 años (en 1995 este tiempo era de 6 años) y, en general, los teléfonos celulares son reemplazados por nuevos ejemplares cada menos de un año³. Estos datos ejemplifican la gran generación de este tipo de residuos que se viene experimentando.

4.2. Formas de valorización de residuos sólidos domiciliarios

4.2.1. Compostaje

Definición:

Se da el nombre de compostaje al proceso biológico de descomposición de la materia orgánica contenida en los restos de origen animal o vegetal. El resultado final de este proceso es un producto que se puede aplicar al suelo para mejorar sus características, sin causar riesgos al ambiente. Un ejemplo del resultado de este proceso se observa en la Figura 31.



Figura 31: Compost maduro.

Es posible compostar la fracción orgánica de los RSD, en forma controlada, en instalaciones industriales llamadas plantas de clasificación y compostaje. Este proceso merece ser estudiado ya que, como se vio en el capítulo 3, los residuos alimenticios representan el 65,4 % en peso de los RSD.

Ventajas:

- Economía de espacio en el relleno sanitario.
- Aprovechamiento agrícola de la materia orgánica.

3 elmundo.es

- Reciclaje de nutrientes para el suelo.
- Eliminación de patógenos.

Descripción del proceso:

Este proceso puede darse por dos métodos distintos:

- *Método natural:* La fracción orgánica de los residuos sólidos se coloca en pilas de forma variada. La aireación necesaria en el proceso de descomposición biológica aerobia se obtiene por volteo periódico con la ayuda de equipamiento apropiado. El proceso dura entre tres y cuatro meses.
- *Método acelerado:* La aireación se produce a través de tuberías perforadas, sobre las cuales se colocan las pilas de residuos sólidos, o en reactores rotatorios, dentro de los cuales los residuos avanzan en sentido contrario al de la corriente de aire; luego se apilan como en el método natural. El tiempo de permanencia en el reactor es aproximadamente cuatro días, y el tiempo total del proceso es de dos a tres meses.

El aspecto del material indica el grado de avance del proceso. Así, el color final de la masa es oscuro (casi negro), el olor inicialmente rancio pasa a ser el de tierra mojada (olor agradable), la humedad se reduce.

Para fines prácticos, son dos los principales grados de descomposición del material sometido al proceso: *Semicurado o Técnicamente bioestabilizado* y *Curado o humificado*. El primero indica que el compost ya puede ser utilizado como mejorador de suelo sin causar daños a las plantas, el segundo indica que el compost está completamente degradado y estabilizado, con la calidad apropiada como para poder ser utilizado.

Durante el proceso, deben controlarse los siguientes factores:

- *Aireación:* Es necesaria para la actividad biológica y, en niveles adecuados, posibilita la descomposición de la materia orgánica de una forma más rápida, sin malos olores.
- *Contenido de humedad:* Para un buen compostaje, debe mantenerse alrededor de un 50 %. Si fuese muy baja, se reduciría la actividad biológica. Si fuese muy alta, se perjudicaría la aireación y se podría producir anaerobiosis. En tales condiciones, se forma lixiviado, líquido de color oscuro y nauseabundo, que sale de las pilas del material en descomposición, y también ocurre que parte del material queda como desaprovechable. Al final del proceso, la humedad del compost para uso agrícola no debe superar el 40 %.
- *Temperatura:* El proceso comienza a temperatura ambiente, pero a medida que la acción microbiana se intensifica, con la aereación apropiada, la temperatura se eleva hasta valores superiores a 55-60 °C, en los que se mantiene por un período que depende de las características de los residuos y de la operación de la planta. Esa fase, denominada

termófila, es importante para la eliminación de patógenos. Le sigue una fase con disminución de la temperatura hasta niveles de 30-35 °C a 45-50 °C, donde se da la bioestabilización de la materia orgánica (relación C/N próxima a 18) y, finalmente, la humificación en la cual la relación C/N puede bajar a niveles inferiores a 12, con temperaturas mesófilas.

- *Nutrientes*: La relación C/N deseable para el inicio del proceso es del orden de 30/1, y el nivel de nitrógeno debe estar entre 1,2 y 1,5 %. Relaciones C/N elevadas (60/1) exigen mayor tiempo de compostaje. Si la relación C/N fuese muy baja, se debe incorporar al material otro residuo rico en carbono (por ejemplo restos vegetales o restos de podas), para que el compostaje sea adecuado. La relación C/N apropiada, para la aplicación del compost en agricultura debe ser como máximo de 18/1.
- *pH*: Los RSD son ácidos, con pH inicial del orden de 4,5 a 5,5. El compost curado humificado tiene un pH cercano a la neutralidad.

En la Figura 32 puede apreciarse la evolución de la temperatura del material en descomposición a lo largo del proceso de compostaje.

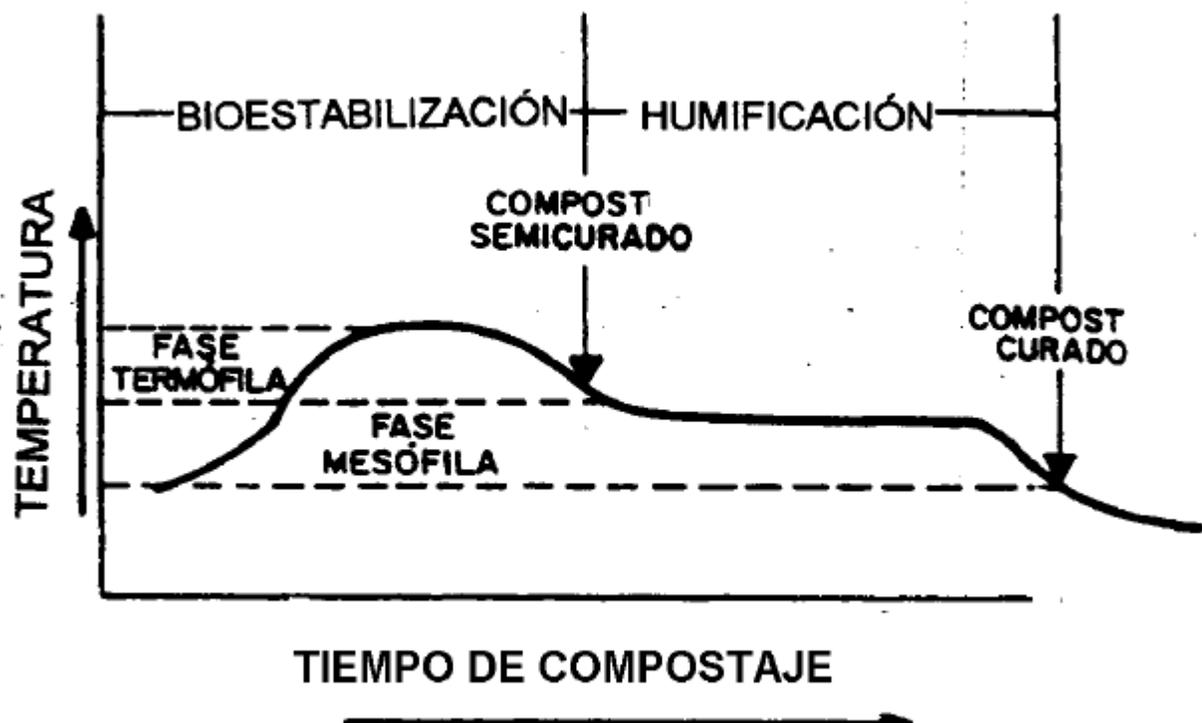


Figura 32: Evolución de la temperatura durante el compostaje.

Aplicación del compost orgánico:

Su aplicación contribuye a mejorar las propiedades físicas del suelo como ser la agregación, la porosidad, la capacidad de retención de agua (que reduce la erosión) y de retención de cationes.

Presenta nutrientes minerales (N, P, K, Ca, Mg, S y micronutrientes) que pueden ser usados por los vegetales.

4.2.2. Incineración

La incineración es una de las tecnologías existentes para el tratamiento de residuos. Consiste en la quema de materiales a alta temperatura (generalmente superior a 900 °C), mezclados con una cantidad apropiada de aire (generalmente en exceso de acuerdo al valor estequiométrico teórico) durante un tiempo predeterminado. En el caso de la incineración de residuos sólidos, los compuestos orgánicos son reducidos a sus constituyentes minerales, principalmente dióxido de carbono gaseoso, vapor de agua, y sólidos inorgánicos (cenizas). Esta combustión se realiza en una instalación llamada *planta de incineración*, proyectada y construida para tal fin.

Ventajas:

- *Reducción drástica del volumen a ser descartado:* El proceso produce cenizas, que generalmente son inertes. De esta forma, reduce la necesidad de espacio en el relleno sanitario.
- *Tratamiento térmico:* La incineración destruye bacterias, virus y compuestos orgánicos, como el tetracloruro de carbono, el aceite contaminado, e inclusive, dioxinas. Durante el proceso, la dificultad de destrucción no depende de la peligrosidad del residuo, sino de su resistencia al calor. La incineración también puede usarse para descontaminar el suelo que contiene residuos tóxicos. Éste, después de incinerado, es devuelto a su lugar de origen.
- *Recuperación de energía:* Parte de la energía liberada durante la incineración puede recuperarse para la generación de vapor o electricidad.

Desventajas:

- *Costo elevado:* La incineración presenta altos costos iniciales y de operación. Por éste y otros motivos más importantes, debe incinerarse sólo lo que no puede ser reciclado.
- *Exige mano de obra calificada.*

- *Problemas operacionales:* La variabilidad en la cantidad de residuos entrantes puede causar problemas de manejo y de operación del incinerador, e inclusive exigir un mayor mantenimiento.

Dimensiones de la usina:

Éstas dependen de un gran número de factores:

- *Capacidad de la usina/suministro de residuos sólidos:* Las dimensiones necesarias para el horno dependen fundamentalmente del suministro de residuos sólidos. La capacidad instalada no sólo tomará en cuenta el poder calorífico de los residuos sólidos, sino también el suministro constante de los mismos próximo a la capacidad del proyecto, lo cual constituye la uno de los puntos que garanticen una operación correcta del horno.
- *Programas alternativos para residuos sólidos:* Las reducciones en la generación de residuos sólidos, los programas de reciclaje y la valorización de la fracción orgánica de los RSD están ligados al proyecto de la usina. Luego de la implantación de algunos o de todos estos programas, el volumen de residuos a incinerar será menor, con la consecuente reducción del tamaño del horno necesario y por ende del costo del emprendimiento.
- *Características de los residuos sólidos a ser incinerados:* Una buena incineración radica en un preciso conocimiento de las características de los residuos sólidos a incinerar. Por eso, las intendencias que planean tener un horno incinerador de residuos sólidos deben hacer su propia caracterización, con miras a obtener un cuadro preciso de la cantidad y composición de los residuos sólidos locales. Los recursos invertidos en esta fase pueden evitar errores muy costosos durante las sucesivas fases del proyecto.
- *Planificación de las interrupciones de la planta:* La mayoría de las plantas son proyectadas para operar en forma continua (24 horas al día), pero existirán tanto paradas programadas (para mantenimiento), como imprevistas (fallas). Es necesario contar con el espacio necesario para almacenar los residuos sólidos que continúen llegando durante las paradas de la planta (y se debe prever unidades en stand by).
- *Duración del proyecto:* Se considera que 5-8 años es el tiempo mínimo necesario para llevar un horno incinerador desde los estudios iniciales hasta su puesta en marcha.
- *Ubicación de la planta:* Varias variables influyen en la ubicación de la planta de incineración. Las más destacadas son: posibles efectos sobre los habitantes cercanos, impacto ambiental negativo, planes de desarrollo existentes en la zona, proximidad a la fuente generadora de residuos sólidos, proximidad de los mercados para la energía generada (cuando corresponda), aspectos logísticos, disposición de las cenizas generadas, tecnología de incineración utilizada.

Tecnologías térmicas:

- *Aire controlado:* El flujo del aire de combustión es reducido, con el propósito de minimizar la turbulencia y la generación de partículas volátiles.
- *Horno rotativo:* Incinerador con tambor rotativo, para que el residuo gire y quede expuesto al aire de combustión.
- *Cámaras múltiples:* Incinerador con compartimientos en serie donde se dan diferentes fases de la incineración. De esta manera se facilita la separación de partículas.
- *Parrillas móviles:* Dispositivo típico para residuos sólidos municipales, provisto de parrillas, cuyo movimiento permite la distribución gradual del residuo a lo largo de la unidad.
- *Inyección de líquido:* Incinerador con tubos atomizadores para la incineración del residuo líquido que se encuentra en suspensión.
- *Lecho fluidizado:* Lecho cilíndrico vertical con arena mantenida en alta turbulencia por flujo de aire recirculante. Especialmente indicado para residuos en forma de lodo.
- *Hornos de cemento:* Grandes hornos utilizados para la producción de cemento, y que debido a la alta temperatura de operación y a la gran masa de materia prima procesada, permiten la incineración de varios tipos de residuos.
- *Quemadores de gas:* Dispositivos para la quema de gases combustibles residuales, provenientes de procesos de fabricación.
- *Incineración catalítica:* Proceso de destrucción de residuos gaseosos, en que el catalizador permite el uso de temperaturas menores.
- *Régimen de operación:* Continuo o en tandas.
- *Pirólisis:* Semejante a la incineración, pero realizada con admisión estricta de aire de combustión, así provoca la descomposición térmica de los residuos sólidos a temperaturas bajas.
- *Esterilización a vapor:* Calentamiento en un recipiente sellado presurizado con vapor.
- *Plasma:* Calentamiento del residuo a altísimas temperaturas utilizando corriente eléctrica.
- *Inactivación térmica:* Calentamiento en seco, sin adición de vapor, agua ni llama.
- *Sal fundida:* Oxidación a alta temperatura por contacto con una sal fundida (ejemplo: cloruro de sodio).

Etapas del proceso de incineración de residuos sólidos:

Pre-tratamiento/alimentación:

Los residuos que llegan a la planta, en primer lugar son colocados en fosos de almacenamiento por los camiones recolectores. Luego estos son transferidos para la incineración (por ejemplo a través de la utilización de un cucharón de cuatro gajos).

Incineración:

Para cumplir con condiciones adecuadas de emisiones atmosféricas, la incineración debe constar de dos fases: combustión primaria y combustión secundaria.

La combustión primaria tiene un tiempo de duración de entre 30 y 120 minutos. Se desarrolla a una temperatura de entre 500 °C y 800 °C. En esta fase ocurren el secado, el calentamiento, la liberación de sustancias volátiles y la transformación del residuo remanente en cenizas. Allí se genera el material particulado (las partículas menores son las más perjudiciales para el ser humano). En esta etapa es importante suministrar aire de combustión en cantidad suficiente (usualmente, en exceso) y de manera homogénea de manera de exponer todo el residuo al calor. Al final la masa de cenizas ya no se reduce, quedando carbono no quemado, compuestos minerales de alto punto de vaporización y la mayoría de los metales. Los gases, vapores y material particulado, liberados en la combustión primaria, son soplados o succionados hacia la cámara de combustión secundaria, donde permanecen alrededor de dos segundos expuestos a 1000 °C. Aquí ocurre la destrucción de las sustancias volátiles y parte de las partículas.

Control de las emisiones:

El proyecto, construcción, operación y mantenimiento adecuados son un aspecto fundamental en el control de las emisiones. Condiciones adecuadas de combustión limitan la formación de dioxinas y furanos. Las dioxinas y furanos también se forman después de la salida de la cámara de combustión. El enfriamiento brusco de los gases de combustión es el método de control que limita con éxito esta formación secundaria.

Para controlar la emisión de material particulado pueden utilizarse diversas tecnologías (filtros manga, precipitadores electrostáticos, lavadores Venturi, entre otros).

La separación de ciertos materiales antes de la combustión puede contribuir a la disminución de las emisiones generadas durante la incineración. A modo de ejemplo, algunos de los principales que pueden producir emisiones perjudiciales son:

- Piezas soldadas con plomo, como recipientes de hojalata.
- Pilas domésticas o de uso médico (contienen metales pesados como mercurio y cadmio).
- Baterías de plomo-ácido (usadas en vehículos).
- Ciertos plásticos, como por ejemplo el PVC que pueden ser precursores de la formación de dioxinas.
- Residuos de jardines, que pueden perjudicar la combustión debido a su humedad variable.

Lo anterior refleja claramente la conveniencia de combinar procesos como la incineración de residuos sólidos con programas de separación de RSD en origen y actividades de reciclaje.

Ceniza de incineración:

La ceniza generada durante el proceso de incineración de residuos sólidos esta constituida por la porción inorgánica no combustible de los residuos sólidos (latas, frascos, polvo, etc.) y la materia orgánica no combustible (hollín). Durante la incineración se generan dos tipos de ceniza: la ceniza de fondo y la ceniza suspendida en el gas de combustión. La ceniza de fondo (75 a 90 % de toda la ceniza generada) está compuesta por el material no combustible que pasa por la cámara de combustión. La ceniza suspendida en el gas de combustión es un material más ligero recolectado por el equipo de control de contaminación. La presencia de metales pesados en la ceniza generada constituye un aspecto preocupante. El mayor peligro es la lixiviación que pueda producirse en los rellenos (los metales solubles pueden contaminar el nivel freático).

Principales críticas a la incineración de residuos sólidos:

Desde diferentes organizaciones la implementación de un sistema de incineración para tratar los residuos sólidos generados en determinada localidad no es vista con buenos ojos.

Las principales críticas se concentran en los siguientes puntos:

- Problemas ambientales generados durante el proceso.
- La incineración de residuos sólidos desincentiva la minimización en la generación de residuos sólidos.
- Incompatibilidad con programas de recuperación, reciclaje y compostaje.

De lo anterior se desprende que, de implementarse un sistema para la incineración de todos o una parte de los residuos sólidos generados en una cierta localidad, se debe tener seguridad de que se cuenta con todos los mecanismos de control y monitoreo necesarios para garantizar el correcto funcionamiento de la instalación. A su vez, políticas de separación de residuos en origen, con el consiguiente reciclado de los materiales aptos para su reuso, constituyen medidas prioritarias a tomar. Con esto, además de producirse el reuso de materiales potencialmente reciclables, se evita que ingresen a la planta incineradora los residuos capaces de producir los efectos adversos más severos en el ambiente. De todas maneras, el reciclaje de materiales parece ser contradictorio con la posibilidad de generar energía en la planta incineradora ya que se evita la quema de materiales con alto poder calorífico (por ejemplo los materiales plásticos).

Sin embargo, el reciclado y reuso de materiales conduce a generar conciencia acerca de la capacidad de reutilización que presentan diversos productos descartados, además de producir materias primas para la fabricación de nuevas unidades lo que tiende a preservar los recursos naturales utilizados en la producción de materias primas vírgenes, obteniendo además un ahorro económico en el proceso productivo.

4.2.3. Biodigestión anaerobia

Introducción

Las tecnologías de digestión anaerobia se han desarrollado sobre todo en los países europeos, a partir de legislaciones que lo fomentan. Los países europeos tienen la intención de limitar la disposición de residuos sólidos municipales en rellenos sanitarios a un 5 %, aumentando los impuestos correspondientes a esta modalidad de disposición final.

Una de las mejores opciones desde el punto de vista ambiental es la generación de energía a partir de los residuos. Las tecnologías de recuperación de energía a partir de residuos sólidos se dividen en combustión de los residuos y digestión anaerobia. Sin embargo, la incineración de la fracción húmeda de residuos sólidos municipales no brinda una recuperación de energía eficiente. Por lo tanto, las ventajas que ofrece la digestión anaerobia, apuntan a desarrollar buenas soluciones para la recuperación de energía a partir de los residuos sólidos municipales húmedos.

Definición

La digestión anaerobia es la degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno. En dicho proceso se produce aproximadamente un 55 % de metano y un 45 % de dióxido de carbono así como también un producto asimilable a un mejorador de suelos. Es la consecuencia de una serie de interacciones entre varios grupos de microorganismos y ocurre en 4 etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.



Figura 33: Biodigestor Anaerobio-Holanda.

Hidrólisis:

El primer grupo de microorganismos segrega enzimas que hidrolizan compuestos orgánicos complejos (proteínas, lípidos, etc.), y los transforman en compuestos orgánicos simples (aminoácidos, glucosa, etc.). El proceso de hidrólisis es de gran importancia y puede aparecer como una limitante en la tasa de digestión anaerobia, por lo que en muchos procesos industriales, se utilizan agentes químicos que favorezcan esta primera etapa, obteniéndose tiempos de digestión más cortos.

Acidogénesis:

Luego, un segundo grupo de microorganismos compuesto por bacterias acidogénicas, transforman los compuestos orgánicos simples en ácidos orgánicos (acetato, ácidos grasos volátiles, ácido acético), así como también liberan H_2 , H_2S y CO_2 .

Acetogénesis:

En tercer lugar, las bacterias acetogénicas, transforman los ácidos orgánicos en acetato, así como también liberan H_2 , H_2S y CO_2 . A continuación se presenta una reacción de acetogénesis: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$.

Metanogénesis:

Por último, las bacterias metanogénicas, convierten el H_2 , CO_2 y acetato, liberando CH_4 y CO_2 .

Descripción del proceso

El proceso de biodigestión puede ser dividido en 4 etapas: pretratamiento, digestión de los residuos, recuperación de biogás y tratamiento de residuos. La etapa de pretratamiento consiste en obtener una materia prima homogénea y adecuada para introducir en el reactor. Esto implica apartar materiales no aptos para la biodigestión así como también procesos de trituración en caso de ser necesarios. Dentro del reactor, el material ingresado debe ser diluido de modo de obtener el contenido de sólidos requerido y permanecer durante el tiempo de retención diseñado. Para la dilución se puede utilizar líquido recirculado en el proceso. Además, en algunos casos es necesario mantener la temperatura deseada a partir de un intercambiador de calor. El biogás obtenido debe ser capturado desde el reactor y conducido hasta su punto de almacenaje o utilización directa. Los lodos generados pueden ser recirculados, en parte, en algunos casos y al momento de eliminarlos se procede de dos formas distintas. Una de ellas es realizar un proceso de secado del lodo ya estabilizado, de modo de utilizarlo como un

mejorador de suelo con distintos destinos posibles. Otra acción consiste en bombear directamente el lodo y utilizarlo para riego; esto se realiza en caso de pequeña escala y con un sistema de ingreso al reactor muy controlado.

Tipos de Biodigestores Anaerobios

Los procesos de biodigestión anaerobia se clasifican según distintos criterios. Uno de los criterios utilizados considera el contenido de sólidos totales a la salida del reactor. De esta forma se distinguen:

- Contenido de sólidos bajo (<10 %)
- Contenido de sólidos medio (15 - 20 %)
- Contenido de sólidos alto (22 - 40 %)

También se utiliza como criterio, la cantidad de etapas en las cuales se realiza la degradación anaerobia. En este caso se distinguen:

- Sistemas continuos de una etapa
- Sistemas continuos de dos etapas
- Sistemas discontinuos

El sistema continuo de una etapa es el más sencillo de diseñar, construir y operar. Por lo general resulta ser el más económico. Sin embargo, la carga orgánica con la cual opera el biodigestor está limitada por la capacidad de las bacterias metanogénicas de tolerar los descensos de pH que se producen por la rápida acidificación del medio que ocurre durante la hidrólisis y la acidogénesis. El sistema continuo de dos etapas separa la etapa de hidrólisis y no permite que se acidifique el medio en el cual se encuentran las bacterias metanogénicas. Requiere un reactor adicional, así como también sistemas de conexión y operación extras. El sistema discontinuo es cargado en una instancia y luego que finaliza el proceso de biodigestión se vacía y se vuelve a cargar. En Europa, cerca del 90 % de los biodigestores anaerobios instalados son del tipo sistema continuo de una etapa, y el 10 % restante corresponde a sistemas continuos de dos etapas.

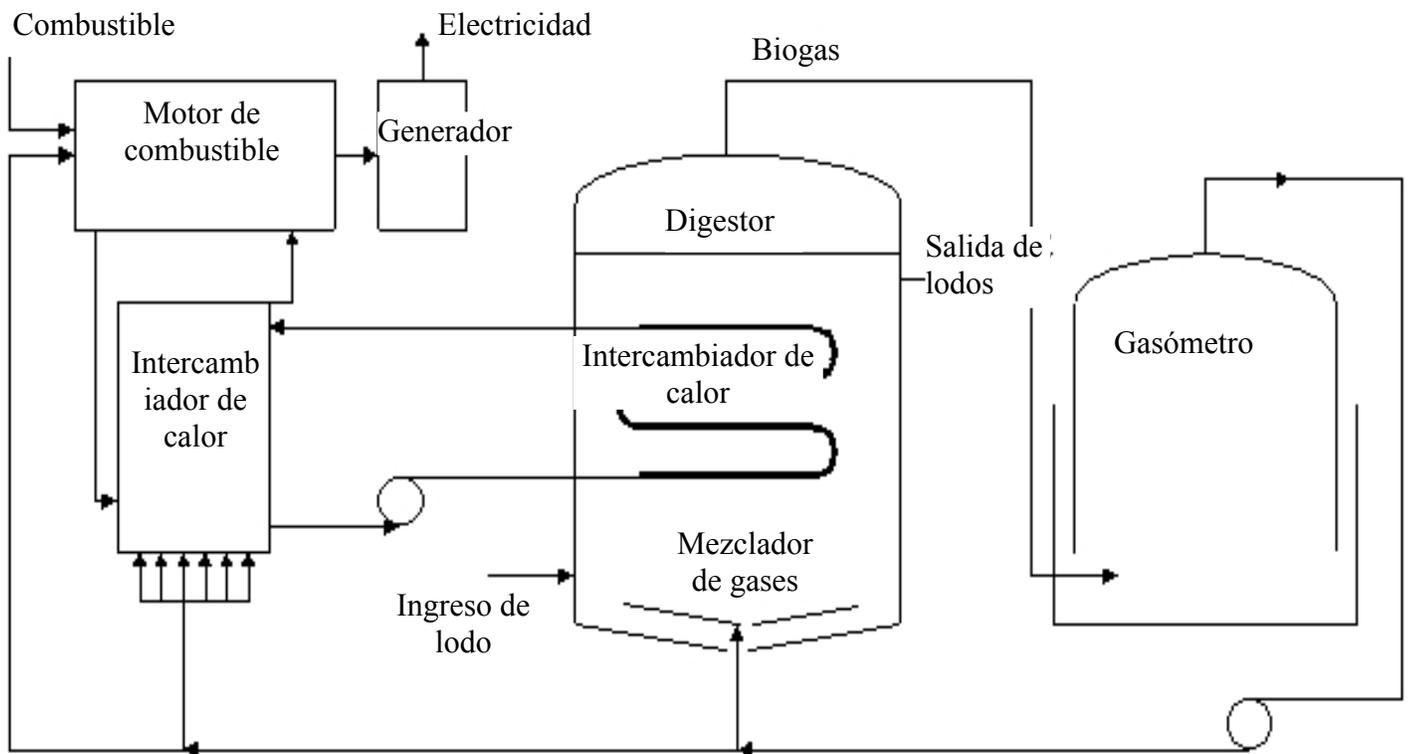


Figura 34: Diagrama de flujo de Biodigestor Anaerobio con bajo contenido de sólidos

Parámetros de operación más importantes

La velocidad de crecimiento de los microorganismos es de vital importancia en la biodigestión anaerobia. Los parámetros de operación de un digestor deben estar controlados para estimular y asegurar la actividad microbiana de modo de aumentar la eficiencia de degradación anaerobia del sistema. Se presentan los más importantes y sus características.

- Relación residuos/sólidos volátiles

Los sólidos volátiles en los residuos orgánicos, corresponden a los sólidos totales menos las cenizas que permanecen luego de calcinar la muestra (horno mufla, 550 °C). A partir de este valor se puede estimar la biodegradabilidad de los residuos, la generación de biogás y la relación C/N que se obtendrá.

- pH

Las bacterias anaeróbicas, en particular las metanogénicas, son muy sensibles a la concentración de ácidos dentro del reactor, por lo que su crecimiento puede ser inhibido por

condiciones de acidificación, llegando a eliminar la totalidad de la población de bacterias metanogénicas. El pH puede ser controlado con la adición de productos que lo modifiquen, o también en algunos casos, mediante la recirculación.

- Temperatura

Existen dos rangos de temperatura en los cuales se obtienen condiciones adecuadas para la biodigestión y producción de metano, rangos mesófilos (20 - 40 °C) o termófilos (50 - 65 °C). Se ha observado que los rangos de temperatura termófilos más altos, reducen el tiempo de retención requerido.

- Relación Carbono/Nitrógeno

La relación óptima en digestores anaerobios está entre 20 y 40. Una relación muy alta indica un rápido consumo del nitrógeno por parte de las bacterias metanogénicas y una menor producción de biogás. Por otro lado, una relación muy baja indica una acumulación de amonio, que provoca valores de pH superiores a 8,5, lo cual es tóxico para las bacterias metanogénicas.

- Relación sólidos totales/tasa de aplicación

A partir de la clasificación presentada en función del contenido de sólidos, se desprende que cuanto mayor sea el mismo, menor es el volumen que queda en el reactor. La tasa de aplicación indica la capacidad de conversión que tiene el sistema de digestión anaerobia. Por lo tanto, si se aplica por encima de lo diseñado, ocurre que existirá una mayor cantidad de sustancias inhibidoras, tales como ácidos grasos, que provocan bajo rendimiento en la producción de biogás.

- Tiempo de retención

El tiempo de retención tiene grandes variaciones según cuales sean las condiciones de temperatura, la tecnología aplicada y la composición de residuos. Para residuos tratados en condiciones mesófilas varían entre 10 y 40 días.

4.2.4. Reciclaje

Definición

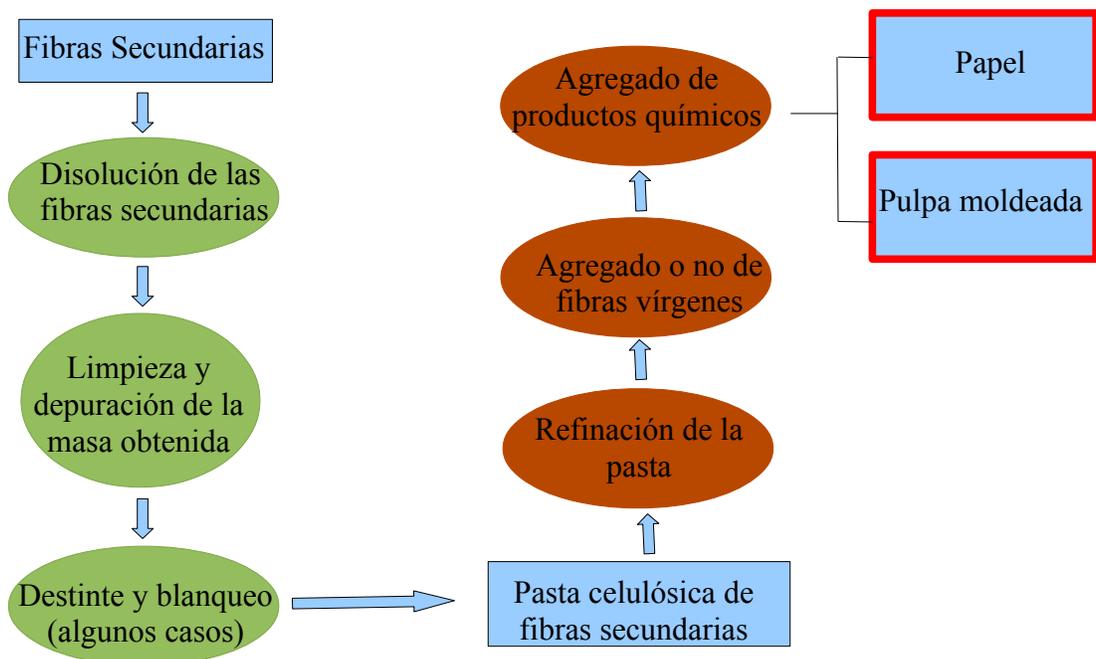
El reciclaje es el proceso, simple o complejo, a que son sometidos los materiales o productos de desecho, para ser reincorporados a un ciclo de elaboración de nuevos productos de consumo, ya sea del mismo tipo por el que fue generado u otro diferente.

A continuación se presentan las principales etapas que se deben considerar en los distintos procedimientos de reciclaje para algunos componentes.

Reciclaje de Papel y Cartón

Para la fabricación del papel se utiliza como materia prima virgen la fibra celulósica proveniente de cultivos forestales. En el caso del papel reciclado, se busca obtener un producto similar, pero que proviene de recortes de papel, cartones y cartulinas generados durante el proceso de fabricación de estos materiales, o que fueron descartados luego de ser utilizados por su destinatario final. El producto que se obtiene a partir de estos materiales y que resulta ser una de las materias primas para la producción de papel reciclado se denomina fibra reciclable o fibra secundaria. En particular, se considera que el papel reciclado para la impresión u escritura debe contener como mínimo, 90 % en peso de fibras secundarias, para poder ser denominado como tal. A su vez, estas fibras secundarias se dividen en 3 categorías según su posible uso: primera (blanco sin imprimir), mixto (color, blanco impreso, cartón limpio), tercera (papel y cartón sucios y cartón gris).

Una vez obtenida la fibra secundaria, el proceso a nivel general sigue las siguientes etapas:



Ventajas:

- Reducción de los residuos generados
- Economía de recursos naturales (materia prima, energía, agua)

Desventajas:

- Sensible a la homogeneidad de los descartes
- Requieren descarte y tratamiento de los desechos generados
- Fluctuación del mercado
- Tipos de papel cada vez más sofisticados que complejiza o imposibilita su reciclaje
- Variabilidad de la demanda del producto obtenido

Reciclaje de plásticos

Para el reciclaje de plásticos se pueden analizar dos tipos de procedimientos distintos. Uno considera realizar separación de las distintas resinas, obteniendo menores volúmenes de materiales por separado y de un sólo tipo, y otro plantea realizar el proceso sin separación de resinas, procesando los distintos tipos de plástico mezclados.

La primera secuencia de procesamiento exige altas inversiones en equipamiento y limita la producción a productos de espesor medianamente grande. A continuación se puntúa cómo es el proceso de funcionamiento de este tipo de instalaciones:

- Trituración de cada grupo de plástico
- Lavado con agua con o sin detergentes
- Secado
- Almacenamiento
- Aglutinación
- Transformación en nuevos productos (procesos de extrusión y enfriamiento)



Figura 35: Máquina de reciclaje de plástico.

En el caso que se realice separación de resinas, se puede implementar para cada tipo de plástico, las alternativas para las cuales presenta mejores características como materia prima. En este caso, se puede describir cuáles serían las etapas a nivel general, siendo los procesos particulares más específicos para cada caso.

- Separación en las distintas categorías y descarte
- Trituración lavado y secado
- Aglutinación
- Extrusión
- Granulación
- Transformación en nuevos productos

Reciclaje de Vidrio

La situación del vidrio respecto al reciclaje presenta la singularidad de ser 100 % reciclable manteniendo el 100 % de sus cualidades. De todas formas se destaca también la situación de que en muchos de sus casos de uso, el mismo puede ser reutilizado, ahorrando costos energéticos que no se justifican para determinadas situaciones. Sin embargo también hay que tener en cuenta que para ser reutilizado, debe ser adecuadamente lavado y esterilizado, sin lo cual se transforma en un riesgo potencial para la salud de la población.



Figura 36: Vidrio molido en fábrica de vidrio.

El proceso de reciclado consiste básicamente en fundir vidrio para producir vidrio nuevo. Este proceso se consigue a temperaturas mucho más bajas que las de fusión de minerales y por lo tanto, se ahorra energía. Para su utilización como materia prima para el reciclaje, se separan los vidrios según su color. También usualmente se trabaja con el vidrio ya molido para que su manejo sea más sencillo y sus condiciones para la fusión sean más favorables.

Reciclaje de metales

A partir de sus características resistentes y de la condición de que muchos metales se conforman a partir de aleaciones con metales ya existentes, el reciclaje, en el caso de los metales, resulta en un proceso de fabricación muy similar a lo que es su proceso de fabricación estándar. Cuando se trata de un producto obtenido a partir de la reducción de un mineral al estado metálico, éste se denomina primario, mientras que si en el proceso de fabricación se utilizaron metales ya usados (chatarra), el producto se denomina secundario.

En ambos casos se debe atravesar una etapa de fusión y otra de moldeo, siendo el consumo de energía para el caso del metal secundario, considerablemente inferior. Un punto a destacar respecto al reciclaje de metales es que (al igual que ocurre con el vidrio), a partir de 1 kg de chatarra, se obtiene 1 kg de metal reciclado, lo cual debería estimular la práctica de reciclaje para este material.

Al momento de realizar la selección de los materiales en una planta de clasificación, resulta muy práctica la utilización de un imán de modo de separar los metales ferrosos. La posibilidad de aplicar este procedimiento resulta muy ventajosa desde el punto de vista operativo.

5. Alternativas de gestión consideradas

5.1. Proyección de la generación de residuos para la ciudad de Montevideo.

A partir del muestreo realizado, se determinó la producción de residuos per cápita para cada hogar participante y para cada día de recolección. Se propone extender estos resultados para estimar la generación diaria de residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Montevideo.

A partir de la metodología utilizada se obtienen los siguientes valores de producción:

- PP: 550 Ton/d.
- PV: 6235 m³/d.

El peso de RSD producido diariamente estimado se asemeja al informado en el PDRS⁴.

Estos resultados serán utilizados en el dimensionado de las unidades de valorización y disposición final de RSD en la ciudad de Montevideo.

5.2. Descripciones generales

La selección de propuestas a comparar y analizar requiere considerar diversos elementos que permitan justificar tanto cuantitativa como cualitativamente las mismas. Se describen a continuación las distintas dimensiones y aspectos que se toman en cuenta.

- Relevamiento de la situación actual de gestión de residuos sólidos por parte de la institución competente, así como también las distintas actividades que se desarrollan en otros sectores y están referidas al tema.
- Propuestas técnicas existentes por parte de la institución competente, así como también las propuestas presentadas a corto y mediano plazo. En particular en este caso, se consideran las propuestas planteadas en el “Plan Director de Limpieza” presentado por la Intendencia de Montevideo, Noviembre 2011.
- Legislación y normativas actuales y perspectivas de las mismas. Esto se refiere a que puede ocurrir que ante ciertos requerimientos que se puedan imponer en referencia a los residuos sólidos generados, determinados patrones tanto de producción como de gestión de residuos sólidos, hagan necesario considerar con mayor o menor énfasis una determinada propuesta.
- Caracterización realizada de modo de trabajar con datos que permitan comparar las

4 El PDRS informa una producción de RSD igual a 685 ton/d. Este estudio data del año 2005.

- distintas propuestas con elementos confiables y específicos de la realidad nacional.
- Consideraciones referidas al ambiente y los impactos sobre el mismo a nivel general, para luego realizar las comparaciones entre propuestas.

A partir de las consideraciones realizadas se presentan las propuestas a analizar. Se trabaja con 3 alternativas:

- ✓ Alternativa 1: Reciclaje, Incineración y Relleno Sanitario.
- ✓ Alternativa 2: Reciclaje y Relleno Sanitario.
- ✓ Alternativa 3: Reciclaje, Biodigestión anaerobia y Relleno Sanitario.

En las alternativas anteriormente mencionadas se presenta el reciclaje como una práctica que hoy en día resulta natural al momento de estudiar cómo gestionar los residuos sólidos generados. A nivel general se puede considerar igual de útil que el vertido o la incineración, y ambientalmente, más deseable. El mismo se produce por tres razones básicas: razones altruistas, imperativos económicos y consideraciones legales. En la primera de ellas es evidente a los intereses generales que se pueden analizar. En la segunda, el costo evitado para una disposición final de residuos ambientalmente aceptables se ha incrementado tanto que, cuando se combina con otros costos asociados al reciclaje, adquiere sentido, desde el punto de vista económico, el reciclaje de muchos materiales. En la tercera ocurre que en respuesta a las exigencias del público, a los tipos de residuos generados y a la creciente falta de métodos alternativos para la disposición final, los responsables de la gestión deben generar las mejores posibilidades para el reciclaje por medio de incentivos que lo estimulen así como penalizaciones que obliguen a ejecutarlo.

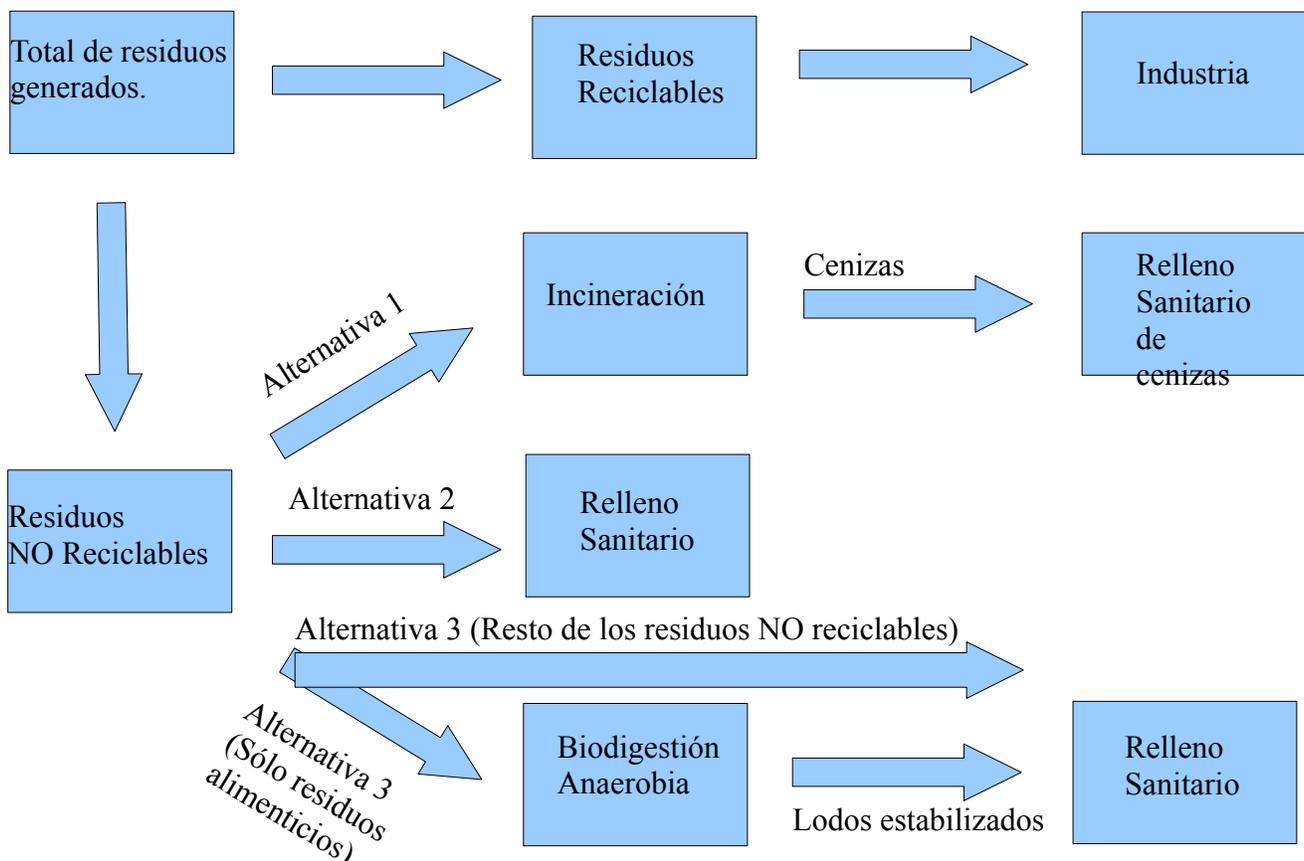
Por lo tanto, en referencia al reciclaje, se considera que teniendo en cuenta que ya existen prácticas de reciclaje de distintos tipos de residuos, las mismas podrían ser mejoradas y ampliadas con una gestión que considere este punto. En la instancia de estudio de la alternativa seleccionada, se describe con detalle cuáles son las acciones a realizar de modo de obtener una situación que permita lograr mejores resultados en este sentido.

5.3. Comparación de alternativas

El método de comparación de las alternativas se centra en estudiar para cada caso, las ventajas y desventajas que presenta cada una respecto a un tema puntual. Para esto se consideran los siguientes aspectos:

- Área necesaria
- Complejidad operativa
- Accesibilidad
- Inversión inicial
- Costos operativos
- Emisiones
- Control y Monitoreo
- Riesgos Ambientales
- Flexibilidad en la recepción de residuos
- Mano de obra necesaria

Para cada alternativa considerada, el flujo de los residuos totales generados será diferente. A continuación se presenta un esquema que ilustra el flujo de residuos para cada caso.



5.3.1. Área necesaria

A partir de la cantidad de residuos producidos, en peso y en volumen, estimados para la ciudad de Montevideo, se analizan las áreas necesarias para cada una de las 3 alternativas consideradas.

- Peso total generado: 550 ton/día
- Volumen total generado: 6235 m³/día
- Densidad: 88,4 kg/m³
- Peso NO reciclable: P residuos alimenticios + P categoría incorrecta + P residuos sanitarios + P otros = 450 ton/día (81,6 %)
- Peso reciclable: P papel + P cartón + P plásticos + P vidrio + P metales + P residuos electrónicos = 100 ton/día (18,4 %)
- Volumen NO reciclable: 2263 m³/día (36,3 %)
- Volumen reciclable: 3972 m³/día (63,7 %)

Alternativa 1:

A la planta de reciclaje llegarán los residuos reciclables. Como primera aproximación se supone que todos los residuos procesados por esta planta son comercializados, es decir, no se producen descartes a disponer en un sitio de disposición final.

La planta de incineración tratará entonces los residuos no reciclables. Según los cálculos realizados, el área total necesaria para la Alternativa 1 a los efectos de esta comparación es de 13,9 Ha.

Alternativa 2:

A la planta de reciclaje llegarán los residuos reciclables. Como primera aproximación se supone que todos los residuos procesados por esta planta son comercializados, es decir, no se producen descartes a disponer en un sitio de disposición final.

El resto de los residuos se disponen en un relleno sanitario con una vida útil estimada en 20 años. Según los cálculos realizados, el área total necesaria para la Alternativa 2 a los efectos de esta comparación es de 170 Ha.

Alternativa 3:

A la planta de reciclaje llegarán los residuos reciclables. Como primera aproximación se supone que todos los residuos procesados por esta planta son comercializados, es decir, no se producen descartes a disponer en un sitio de disposición final.

El biodigestor anaerobio trata solamente los residuos alimenticios. Si el residuo del proceso de biodigestión es utilizado como mejorador de suelo, el área total necesaria para la Alternativa 3 a los efectos de esta comparación es de 93,6 Ha. De lo contrario es de 103,6 Ha.

5.3.2. Complejidad Operativa

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Necesita mano de obra calificada. Requiere de servicios que no siempre se encuentran en el mercado local.	Requiere disponer de maquinaria exclusiva y de operarios calificados para manejarla.	A pequeña escala, no necesita mano de obra calificada.

Respecto a los rellenos sanitarios, usualmente se consideran como de poca complejidad, sin embargo requieren de rigor en cada una de las operaciones. Subestimar su dificultad operativa puede conducir a profundas afectaciones al ambiente y a la salud humana.

5.3.3. Accesibilidad

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Bien operada, puede estar en zonas urbanas, sin producir mayores afectaciones.	Zonas excluidas de desarrollo urbano.	Zonas industriales, debe considerarse como una industria.

5.3.4. Inversión inicial

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Se requiere una inversión de 638 USD/ton/año ⁵ .	Según datos correspondientes a Chile: USD 40.000.000 para 45.000 ton/mes de residuos dispuestos.	Según un trabajo realizado para el estado de California en los Estados Unidos, para una disposición de 76.000 ton/año de residuos se necesita una inversión inicial de

⁵ Waste Incineration (Agosto,2006)

		USD 17.000.000.
--	--	-----------------

5.3.5. Costos operativos

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Se estima un costo operativo de USD 20/ton de residuos procesada ⁶ .	Chile: USD 6/ton hasta US\$ 8/ton. EEUU: USD 29,94/ton (datos correspondientes al año 1997).	Según un trabajo realizado para el estado de California en los Estados Unidos, se estima un costo operativo de USD 10,11/ton procesada.

5.3.6. Emisiones

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<ul style="list-style-type: none"> • Dioxinas y furanos. • Material particulado. • Otros gases. • Cenizas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Lixiviado. • Metano. 	<ul style="list-style-type: none"> • Metano. • Efluente semi-líquido.

5.3.7. Control y Monitoreo

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<ul style="list-style-type: none"> • Temperatura en la cámara de combustión. • Composición del gas en la chimenea. • Control de la calidad del aire. 	<ul style="list-style-type: none"> • Control de desplazamientos del terreno. • Control del nivel y de la descarga del lixiviado. • Control de la presión en el interior de la masa de residuos. • Calidad de las aguas subterráneas y superficiales. • Control de la calidad del 	<ul style="list-style-type: none"> • Relación C/N. • Control de pH. • Temperatura en el reactor. • Tasa de alimentación debe ser consistente.

6 CEMPRE 1998

	aire. <ul style="list-style-type: none"> • Control de la contaminación del suelo. • Control de vectores. 	
--	---	--

5.3.8. Riesgos ambientales

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
<ul style="list-style-type: none"> • Emisiones al aire y al agua. • Producción de residuos en el proceso. • Generación de ruido, olores y vibraciones. • Consumo y producción de energía. • Emisiones fugitivas desde los almacenamientos de residuos. • Incremento del tráfico vehicular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento del tráfico vehicular. • Generación de olores y ruidos. • Emisiones de metano. • Emisiones de lixiviado. • Alteración del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ruido y olores. • Generación de residuos semi-líquidos. • Emisiones de metano.

5.3.9. Flexibilidad en la recepción de residuos

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Muy flexible.	Operado correctamente, presenta una flexibilidad media.	Baja flexibilidad, solo puede recibir una fracción de los residuos sólidos domiciliarios no reciclables.

5.3.10. Mano de obra necesaria

Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
La necesidad de operación continua requiere cubrir tres turnos de trabajo diario.	Muy variable dependiendo de la cantidad de residuos que se reciben.	Depende fuertemente del nivel tecnológico de la instalación.

Finalmente, como resultado de comparar las tres alternativas propuestas en función de las características descritas anteriormente, se obtiene como resultado un cuadro comparativo donde, para cada característica considerada, se indica con un 1 a la alternativa más favorable, con un 2 a la alternativa intermedia y con un 3 a la alternativa menos recomendable. Por último, sumando las calificaciones obtenidas por cada alternativa a lo largo de todas las características tenidas en cuenta, se considera adecuada la alternativa cuya suma represente el menor valor calculado.

Característica	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Área necesaria	1	3	2
Complejidad operativa	1	2	3
Accesibilidad	1	3	2
Inversión inicial	3	1	2
Costos operativos	3	1	2
Emisiones	3	2	1
Control y Monitoreo	1	2	3
Riesgos Ambientales	3	2	1
Flexibilidad en la recepción de residuos	1	2	3
Mano de obra necesaria	1	3	2
Suma	18	21	21

En función del procedimiento seguido en este capítulo, la opción más recomendable para el tratamiento de la totalidad de los RSD producidos diariamente en la ciudad de Montevideo es la incineración. Vale aclarar que las diferentes características analizadas fueron evaluadas por igual, sin darle a una de ellas mayor importancia que a las restantes.

Por otro lado, se observa que las tres alternativas analizadas obtuvieron valoraciones similares, de aquí se desprende que ninguna de ellas resulta aplicable de manera obvia, presentando todas ventajas y desventajas considerables. De lo anterior surge que ninguna de las alternativas consideradas sería descartable a priori, requiriéndose evaluaciones más profundas para poder concluir algo semejante.

A su vez, se observa que la alternativa seleccionada recibe, para los diferentes aspectos considerados, calificaciones o muy buenas o muy malas entre las que se destacan los riesgos ambientales que implican su aplicación. Esto determina que los aspectos a resolver deben ser estudiados de forma profunda.

Si bien las distintas características comparadas no fueron ponderadas al momento de la evaluación, algunas de ellas resultan determinantes al momento de seleccionar la alternativa más adecuada. Este es el ejemplo del área necesaria, en donde la incineración es la única alternativa que presenta un valor razonable si se piensa en el tratamiento de la totalidad de los residuos sólidos domiciliarios generados en la ciudad de Montevideo. En este sentido, se propone estudiar, a modo de experiencia piloto, la implementación de un sistema de biodigestión anaerobia enfocado al tratamiento de los RSD generados por una población objetivo a definir que sea, lógicamente, mucho menor a la población de la ciudad de Montevideo, de modo que esta opción de tratamiento y valorización de RSD sea viable.

A modo de resumen, se propone desarrollar, en base a los resultados obtenidos en capítulos anteriores, la alternativa 1 presentada en este capítulo, con el fin de brindar tratamiento y disposición final a la totalidad de los RSD generados diariamente en la ciudad de Montevideo.

A su vez, se propone desarrollar, en el marco de una experiencia piloto, la alternativa 3 presentada en este capítulo, con el fin de tratar y disponer los RSD generados por una población objetivo a definir que sea mucho menor a la población de la ciudad de Montevideo. Con esta experiencia se busca atacar el problema de tratamiento y disposición de RSD generados por pequeñas comunidades.

6. Anteproyecto de la alternativa preseleccionada

6.1 Estudio de localización de la alternativa 1

Al momento de realizar un análisis en referencia a la localización de la alternativa en su conjunto, resulta de interés centrarse en el subproyecto que corresponde al relleno sanitario para cenizas de incineración. Esto se debe a que los otros dos subproyectos (planta de clasificación y planta de incineración), se pueden analizar de forma similar a un emprendimiento industrial, con los resguardos que esto implica.

Por lo tanto se estudia para el caso del relleno sanitario de cenizas de incineración, los distintos puntos a evaluar y discutir.

6.1.1. Criterios de localización

Los criterios de localización que se utilizan para el relleno de cenizas de incineración, se sugieren similares a los propuestos en el documento de “Gestión Integral de residuos sólidos industriales, agroindustriales y de servicios” propuesto por la DINAMA, MVOTMA. En el mismo se proponen Criterios de Exclusión de carácter general y Criterios Guía de Aptitud para la selección de predios. En función de los mismos, se realiza un análisis aproximado para el departamento de Montevideo.

Sin embargo, a la hora de realizar una propuesta específica para el tipo de relleno sanitario que demandarían las cenizas de incineración, la misma deberá realizarse con las observaciones necesarias, ya que los requerimientos serán distintos a los propuestos por el documento. A nivel general, un relleno para cenizas de incineración requerirá de criterios menos estrictos en la mayoría de los aspectos.

Los criterios propuestos hacen referencia a franjas de exclusión respecto a zonas urbanizadas y con proyecto de urbanización, distancias mínimas respecto a cuerpos de agua superficial y zonas inundables, presencia de edificios públicos y centros de enseñanza en la zona, entre otros. Por otro lado es importante hacer hincapié en que los tipos de residuos a los que hace referencia el documento, los cuales clasifica en tres categorías, tienen distintas características que las cenizas de incineración que se disponen en el relleno. Por lo tanto a los efectos de una aproximación de mapeo, se toman en cuenta algunos de los criterios que se identifican como aplicables para este tipo de material.

A continuación se presentan los criterios de exclusión y aptitud del documento mencionado que fueron considerados para el caso de estudio:

Aspecto	Criterio de exclusión
Zonas urbanizadas o con proyecto de urbanización	Franja de exclusión de 4 km del límite de los principales centros urbanos incluyendo el crecimiento proyectado para los próximos 10 años. Las zonas urbanas o con proyecto de urbanización a considerar serán aquellas que estén contempladas en los Planes de Ordenamiento Territorial o de desarrollo urbano formulados por las Intendencias respectivas
Cuerpos de agua superficial y zonas potencialmente inundables	<p>El relleno deberá ubicarse a una distancia superior a 800 m de cursos de agua permanentes medidos en condiciones de estiaje.</p> <p>Deberá ubicarse a una distancia superior a 100 m de la línea de costa correspondiente a una creciente cuyo período de recurrencia sea mayor a 100 años.</p> <p>El proyecto deberá desarrollarse sobre una cota 2 m por encima del nivel máximo correspondiente a la creciente indicada anteriormente.</p> <p>Distancia mínima a toma superficial para captación de agua con destino a potabilización = 5 km</p>
Reservas ecológicas o áreas de especial protección declaradas por las autoridades competentes	Excluir zonas de reserva ecológicas y zonas determinadas de alta sensibilidad por su ecosistema.
Edificios públicos	Excluir predios que se encuentren a menos de 3 km de escuelas rurales u otros edificios públicos que involucren la presencia de menores

Tabla 7: Criterios de exclusión, DINAMA.

Aspecto	Criterio aptitud	Aplicación
Uso del suelo	Densidad de población	Baja densidad de población y escasa tasa de crecimiento poblacional mejoran aptitud del predio
	Tasa de crecimiento poblacional	
Presencia de viviendas en el entorno	Cantidad de viviendas en el área de influencia del emprendimiento Distancia del predio y del área destinada a las operaciones con las viviendas	A menor cantidad de viviendas en el área de influencia mejor aptitud. Se recomienda mantener una distancia mínima de 400 m a la vivienda más cercana
Presencia de edificios públicos	Existencia de edificios públicos en el área de influencia Distancia del predio y del área destinada a las operaciones con los edificios públicos más cercanos	Disminuye la aptitud la existencia de edificios públicos y la cercanía a los mismos
Aeródromos	Presencia de aeródromos en el área de influencia Distancia del predio y del área destinada a las operaciones con el aeródromo	Disminuye la aptitud la existencia de aeródromos en el área de influencia; en caso de que existan serán más aptos aquellos predios que se encuentren más lejanos al aeródromo
Accesibilidad	Vías de circulación	Mejor aptitud si el predio cuenta con vías de circulación adecuadas para el tránsito de camiones
Zonas de interés turístico y cultural		Disminuye la aptitud del predio si el mismo se encuentra cercano a centros de interés social
Proximidad	Distancia del predio a los principales centros de generación	Mejora la aptitud cuanto más próximo sea el predio a los centros de generación

Tabla 8: Criterios de aptitud, DINAMA.

De modo de utilizar los criterios mencionados para lograr definir las posibles zonas de localización, se utilizaron mapas de distintos tipos que permitían identificar las zonas a delimitar. Las fuentes utilizadas para obtener los mapas fueron la Intendencia de Montevideo, el Servicio Geográfico Militar del Uruguay, entre otros.

Los temas que describen los mapas utilizados para el estudio se detallan a continuación:

- Área Metropolitana
- Áreas ecológicas significativas
- Factor de ocupación del suelo
- Jerarquización vial
- Sistema de espacios verdes
- Transporte de cargas
- Usos del suelo
- Zonificación Primaria
- Zonificación Secundaria
- Zonificación Terciaria
- Hidrografía

6.1.2. Mapeo según criterios de localización

Se realiza un mapeo para el Departamento de Montevideo en el cual se utilizan varios de los criterios de localización descriptos. Es importante observar, que algunos de los criterios son notoriamente abarcativos en cuanto a la zona que restringen, por lo que otros criterios quedan cubiertos dentro de las áreas de exclusión que éstos definen.

Para la realización del sondeo se utilizan diversos planos, así como también documentos de planificación elaborados por la Intendencia de Montevideo donde se describen planes de ordenamiento territorial, por ejemplo. Entre los planos utilizados se tienen en cuenta: Zonificación Primaria, Zonificación Secundaria, Zonificación Terciaria, Usos del Suelo, Transporte de Cargas, Sistema de espacios verdes, Centros de enseñanza (Primaria, Secundaria, Terciaria, INAU), Centros de salud, Jerarquización Vial, Factor de Ocupación del Suelo, Áreas ecológicas significativas, Área metropolitana e Hidrografía.

Inicialmente se aplican los criterios de exclusión para este tipo de emprendimientos, a partir de los cuales se restringen parcialmente las posibles localizaciones en el Departamento de Montevideo. En la Figura 37 se observa una primera aproximación a los criterios evaluados, en los cuales se toman en cuenta las distancias mínimas a cursos de agua superficiales, así como también otras áreas significativas.

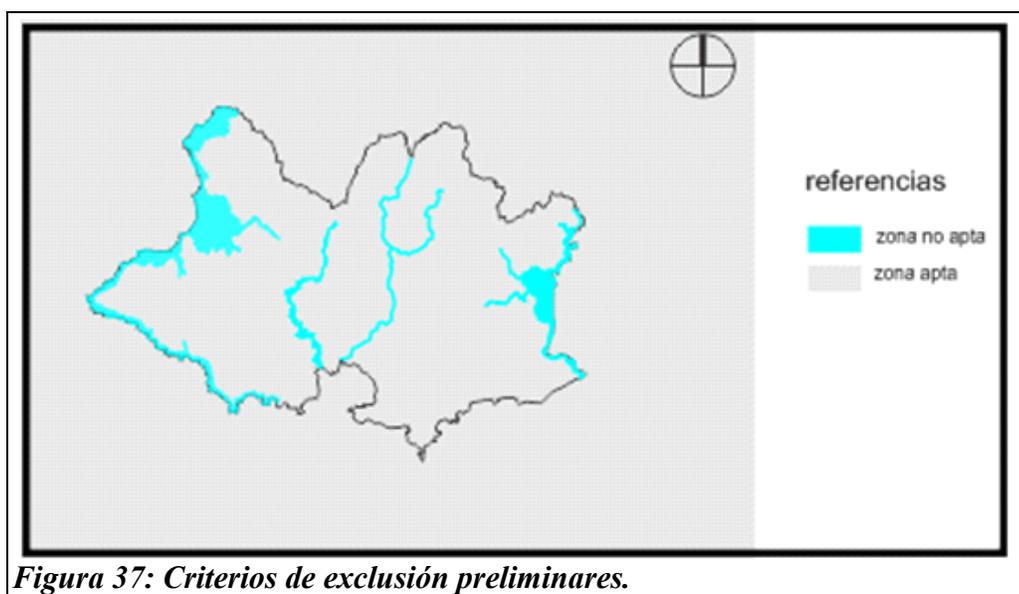


Figura 37: Criterios de exclusión preliminares.

A partir de estos criterios se pueden considerar definiciones preliminares. A continuación se muestra en la Figura 38, se muestran las restricciones que surgen de aplicar los criterios de exclusión relativos a las zonas urbanizadas y con planificación de urbanización.

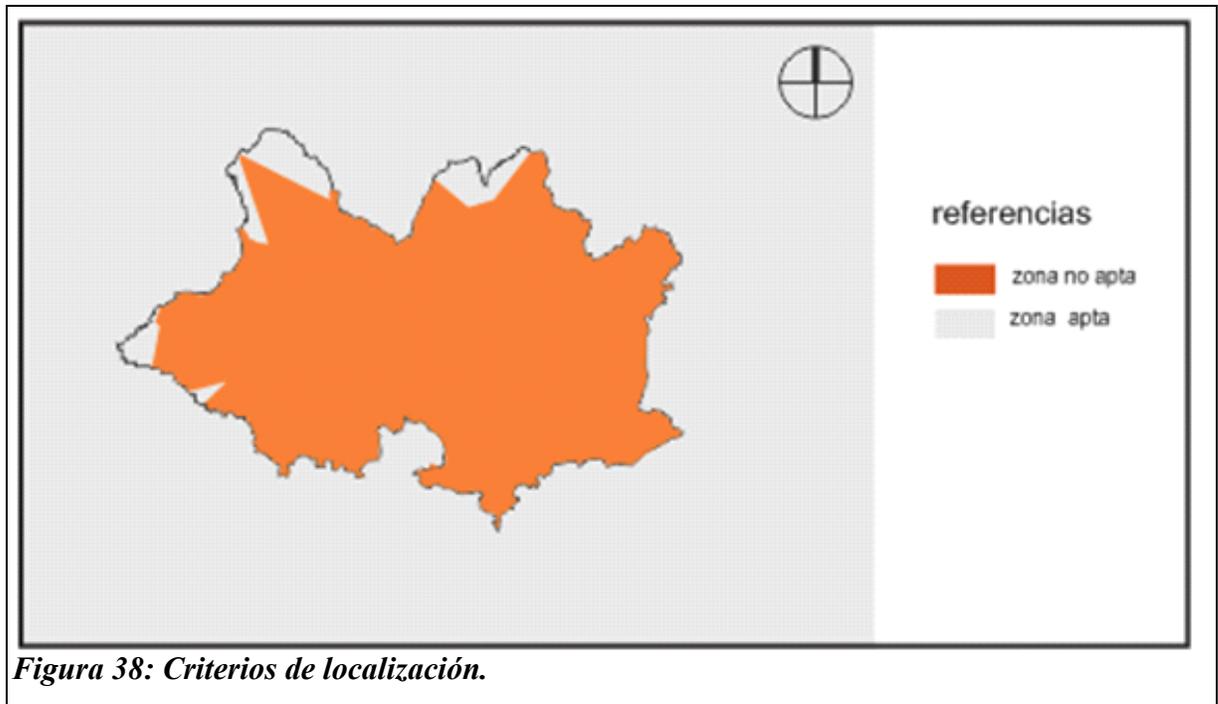


Figura 38: Criterios de localización.

Como se puede apreciar, se trata de una situación compleja. Ocurre que por un lado los criterios aparecen como muy restrictivos, pero también las zonas de urbanización y crecimientos de la ciudad no se ajustan a una planificación. En consecuencia, las zonas aptas según los criterios existentes se acotan a un área muy reducida del Departamento. A su vez, como se puede observar, se trata de zonas ubicadas en los límites del Departamento, las cuales naturalmente suponen mayores costos de transporte, por ejemplo.

Finalmente, aplicando la totalidad de los criterios que se estiman adecuados para el tipo de relleno propuesto, se obtienen las posibles localizaciones. A su vez en la Figura 39, se agregan las principales rutas de acceso del Departamento de modo de poder visualizar algunos aspectos logísticos de la localización.

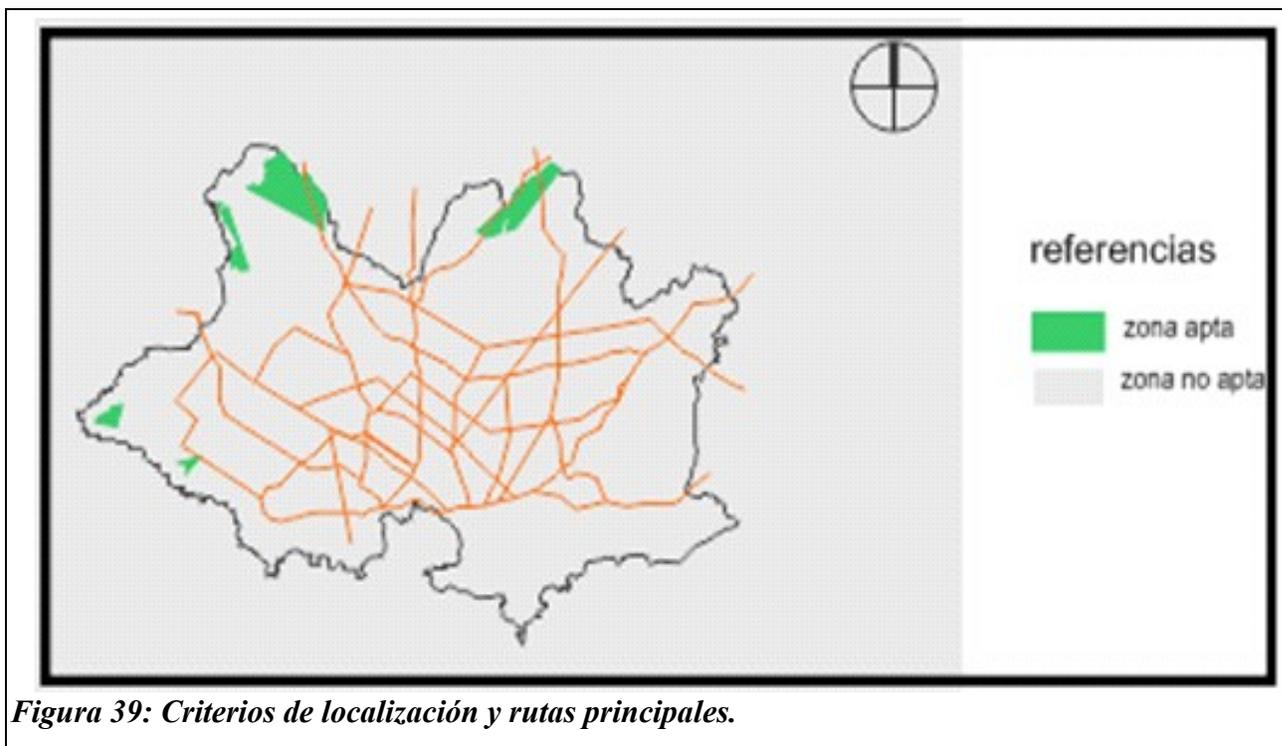


Figura 39: Criterios de localización y rutas principales.

Para las zonas ubicadas, se observa un mejor acceso y más centralizado para la zona norte del Departamento. Por otro lado una localización cercana al Río Santa Lucía implica condiciones menos favorables y riesgosas ambientalmente. De todos modos, las rutas de acceso para un emprendimiento de este tipo, deberían ser modificadas y mejoradas, para cualquiera de las ubicaciones obtenidas.

En conclusión se observa que, de aplicarse los criterios de exclusión y localización propuestos por DINAMA para rellenos sanitarios de RSU, las posibilidades de ubicación de un emprendimiento de este tipo en el Departamento son muy restringidas. Si bien no se aborda en este trabajo la etapa de recolección y transporte, resulta recomendable que se incluyan estaciones de transferencia, entre otros elementos.

También deberían ser objeto de estudio y discusión detallada los criterios de localización para un relleno de cenizas de incineración. Los impactos producidos al ambiente por un relleno de este tipo deben ser analizados de forma diferenciada tanto por sus características como por la forma en que se opera. Dicho estudio se refiere a que se ampliaran las posibilidades de localización. A su vez se podría considerar la posibilidad de vincular la zona propuesta con el Área Metropolitana de Montevideo. Para esto deberían realizarse modificaciones en algunas reglamentaciones, pero podría ser otro punto a considerar al momento de obtener una solución adecuada.

6.2 Pre-diseño de la alternativa 1

Tal como fue descripto anteriormente, la alternativa 1 está compuesta por 3 subproyectos con características y componentes independientes. En el pre-diseño se propone que los subproyectos se ubiquen en 2 predios diferentes. Por un lado, se ubica la planta de clasificación de materiales reciclables junto a la planta de incineración, y en otro predio se ubica el relleno sanitario para cenizas de incineración.

Para fundamentar y describir cada uno de los subproyectos, se presentan los mismos de forma separada, vinculando los puntos que tienen en común cada uno de ellos.

6.2.1. Planta de clasificación de materiales reciclables

6.2.1.1. Introducción teórica

Hoy en día la gestión de los residuos sólidos está muy integrada en sus distintas etapas y presenta diversas opciones para cada una de ellas. En particular, un análisis completo de las distintas etapas integradas, debería considerar incrementar el reciclaje en la ciudad, disminuyendo las necesidades totales de disposición final. Al transformar residuos sólidos en materia prima, el reciclaje se presenta como una posibilidad de reducir la contaminación (como consecuencia de una disposición final inadecuada, si esta se produce), conservar energía, crear empleos y construir nuevas fábricas competitivas. Por otro lado, ocurre que usualmente surgen problemas de costos, participación y operación para estas prácticas. En este sentido, es razonable pensar en plantas de clasificación a escala de una ciudad, de modo de eliminar los altos costos de transporte asociados al traslado de materiales de forma poco eficaz. A su vez, la inclusión de tecnologías apropiadas para la separación de los residuos sólidos, podría bajar los costos de operación y mejorar la calidad del material procesado, disminuyendo los costos totales de gestión de los residuos sólidos de una ciudad.

Una planta de clasificación es un sitio hacia donde son transferidos los residuos sólidos para ser separados, procesados y almacenados. Su función principal es maximizar la cantidad de residuos sólidos reciclados, produciendo materiales que generen el mejor rédito en el mercado. A su vez, también se pueden utilizar para producir un material que se degrade biológicamente para su posterior uso en agricultura o que se utilice como combustible para generación de energía. Para este caso se describirán los elementos que componen una planta de clasificación para residuos sólidos reciclables.

6.2.1.2. Consideraciones generales

Sistema de recolección

La forma en que llegan los materiales reciclables a la planta de clasificación juega un rol importante en la determinación del diseño de ésta. La disposición edilicia y el equipamiento deben ser ajustados para que los movimientos y el almacenamiento de materiales permitan una circulación interna y externa segura. La forma en que los residuos sólidos son recolectados puede tener efectos considerables en la utilización de los recursos de la planta. Se presentan algunas formas de recolección:

- Recolección de residuos sólidos mezclados (vehículos con un compartimiento)
- Recolección de reciclables mezclados (vehículos con dos compartimientos)
- Recolección conjunta (vehículos con un compartimiento pero bolsas de distinto color)
- Recolección de residuos húmedos y secos (un vehículo para cada tipo de residuo sólido)

También se debe considerar si la recolección se realiza en forma diaria, semanal, etc. así como también si los vehículos compactan o no los residuos reciclables, ya que esto baja los costos de transporte (aumentando la densidad del material transportado), pero empeora las condiciones con las que llegan los residuos sólidos a la planta (por ejemplo, rotura de vidrio).

Por último, es importante considerar que usualmente la recolección de residuos sólidos representa el mayor costo en las distintas etapas de la gestión, por lo que la misma debe ser cuidadosamente estudiada. En particular, considerando el punto de la compactación en los vehículos mencionado anteriormente, es interesante resaltar que la recolección de residuos sólidos se basa en volumen de material mientras que los precios de mercado para el material reciclable se basan en su peso.

Especificaciones del mercado: qué se consume y cómo

Para que un programa de reciclaje funcione desde el punto de vista económico, se debe identificar cuidadosamente un mercado estable y seguro para el material producido. De lo contrario, el material que no sea comercializado deberá ser almacenado por períodos largos y posiblemente luego, ser dispuesto en otro sitio. El mercado de un material específico depende de comparar los costos de recuperar un material reciclable para utilizar en su proceso de producción comparado con los costos de utilizar materia prima virgen. Además, una vez que se identifica el material, se deben tener las características que debe cumplir el mismo. Un

problema común es el asociado a la rotura de vidrios, ya que el mismo se mezcla con distintos materiales, dificultando mucho su separación, redundando en productos de baja calidad y precio.

Operación mecánica o manual

Considerando las experiencias existentes, se puede constatar que la operación manual, además del consumo de tiempo que produce, representa uno de los mayores costos para una planta de clasificación. Usualmente, los análisis económicos actuales muestran que una operación mecánica es más costo efectiva que una manual. La clasificación manual produce material de mejor calidad pero resulta ineficiente en su tasa de procesamiento. Además, existen materiales que son rechazados por no tener elementos prácticos de clasificación para distinguirlos (por ejemplo, algunos plásticos). Por otro lado, la clasificación mecánica tiene menores costos de operación, mayor cantidad de material clasificado y mayor tasa de procesamiento. También tiene como ventaja reducir los riesgos a la salud y seguridad de los trabajadores que clasifican los residuos sólidos directamente. A su vez se pueden agregar materiales a ser clasificados utilizando nuevos sensores de modo de acompañar los cambios que surjan del mercado.

Material	Tasa de procesamiento (ton/hora/persona)	Eficiencia de recuperación (%)
Diario	0,75 – 5	60 – 95
Cartón corrugado	0,75 – 5	60 – 95
Vidrio (mezclado)	0,45 – 0,9	70 – 95
Vidrio (por color)	0,45 – 0,9	80 – 95
Plástico (PET, PEAD)	0,15 – 0,3	80 – 95
Aluminio (de plástico)	0,05 – 0,06	80 - 95

Tabla 9: Tasas y eficiencias de clasificación manual⁷.

⁷Peer Consulting and CalRecovery, Inc. 1991

Sistema	Material objetivo	Tasa de procesamiento (ton/hora)	Eficiencia de recuperación (%)
Separación de vidrio por color	Vidrio: 3/8" a 2" transparente, marrón, verde, azul, amarillo	5	> 95
Separación de plástico	PVC, PET blanco, PET color, PEAD natural, PEAD varios colores, PP, PS	2,5	99 – PVC 90 – otras resinas
Separación de papel	Papel de oficina mezclado	2,2	80
Separación de cartón	Cartones	01/05/03	90

Tabla 10: Tasas y eficiencias de clasificación automática⁸.

En nuestro caso, la planta proyectada será de operación mayoritariamente manual. Esto se debe en parte a la oportunidad de generación de fuentes laborales dignas que puedan ser ocupadas por clasificadores informales de residuos. A su vez, actualmente existe escaso desarrollo en el mercado local de las tecnologías necesarias para una planta automatizada. Esto podría tener como consecuencia altos costos de mantenimiento de los equipos adquiridos. De todas maneras, es posible incorporar, con el paso del tiempo, distintas unidades mecánicas en la planta con el fin de mejorar el desempeño de la misma.

Piso de descarga.

Es el área de la planta de clasificación donde los vehículos ingresan, descargan los residuos sólidos y salen. Debe ser diseñado para almacenar materiales extra para la siguiente etapa de operación de la planta y tener capacidad de acopio para por lo menos dos días del volumen de entrada diseñado. Debe tener capacidad de soportar grandes cargas y tener un drenaje adecuado. Luego usualmente se cargan los residuos sólidos en cintas transportadoras, debiendo ser elevados (Figura 40). Esto supone una forma ineficiente del manejo de los mismos, junto a la rotura de algunos materiales, en particular el vidrio⁹.

⁸*Magnetic Separation System, Inc. 1999. Systems for Separation and Sensing. Nashville, Tennessee*

⁹Como ejemplo, es interesante destacar que en el año 1998, el 96 % del vidrio recuperado en la ciudad de Nueva York no se lograba comercializar por las grandes roturas que se producían, sumando los inconvenientes que genera la incrustación del mismo en otros materiales (Design of a Materials Recovery Facility (MRF) For Processing the Recyclable Materials of New York City's Municipal Solid Waste, 2000).



Figura 40: Piso de descarga.

Existen formas de mejorar esta situación, como por ejemplo con cintas transportadoras sumergidas u otros. En el caso de las cintas, se agregan rampas para los camiones y estructuras que permitan descargar un vehículo de forma progresiva en una cinta. Por ejemplo, se pueden colocar paredes a los costados de las cintas.

6.2.1.3. Características de la planta

Los costos, la capacidad, la ubicación y el diseño de la planta de clasificación dependen de la cantidad de material procesado, de las rutas de recolección utilizadas y de la disponibilidad de transporte hacia sitios que consuman el producto obtenido.

La planta de clasificación debe contar con un área de descarga para los residuos que llegan a la misma, un área de pre acondicionamiento con suelo de descarga, un área para la ubicación de las unidades de separación, un área para almacenar los productos obtenidos, un área para el estacionamiento y maniobras de los vehículos de transporte y un área de pulmón. La zona de descarga debe tener capacidad de almacenar el volumen correspondiente a 2 días, en caso de producirse problemas en el funcionamiento de la planta.

Idealmente la ubicación debe contemplar una cercanía a la zona de generación de los residuos y la zona en la que se ubican las empresas que utilizan el producto, generando una importante reducción en los costos de transporte y minimizando distancias de recorrido. En caso de ser ubicada cerca de zonas residenciales debe contemplarse que se cumplan los requerimientos ambientales y estéticos. En este caso, una zona pulmón que contenga árboles y

arbustos, mejorará las condiciones estéticas y la generación de ruidos.

Unidades del proceso

El objetivo de las distintas unidades es el de aprovechar las características físicas o químicas de los materiales reciclables para separar cada uno de ellos. Una vez separado del flujo de materiales mezclados el material obtenido puede tener procesos de acondicionamiento posteriores o ser almacenado directamente. Esto depende de: el tipo y la calidad necesaria del material, el ingreso y la salida de cada proceso de selección del material, las distintas características que debe tener cada tipo de material.

Para la selección de los equipos necesarios en cada etapa del proceso se busca que los mismos sean robustos y tengan capacidad probada para trabajar con los tipos de residuos sólidos que se consideren. La utilización de equipos estandarizados reduce la cantidad de repuestos necesarios simplificando el mantenimiento de la planta.

Sistema de transporte.

Las líneas de transporte son utilizadas para transportar los materiales desde y hacia las distintas unidades. Las cintas transportadoras (Figura 41) son el método más común de transporte dentro de este tipo de plantas, ya que permite un acceso sencillo a los materiales, resultan muy versátiles y permiten tramos con pendientes altas.



Figura 41: Cintas transportadoras.

El funcionamiento de las cintas transportadoras consiste en una cinta en continuo movimiento con un cilindro a cada extremo. El cilindro que se encuentra a mayor altura contiene un motor y permite que el mismo permanezca lo más limpio posible. La cinta se mueve sobre una superficie firme, tiene estructuras a ambos lados de modo que los materiales no se caigan a los costados y en las partes que no las tiene cuenta con aleros de modo que no

caigan materiales. Usualmente se colocan elementos cortantes al comienzo de la línea de cintas de modo que se abran las bolsas de residuos sólidos.

La altura, ancho, y velocidad del sistema de transporte son parámetros que se ajustarán para cada unidad del proceso en busca de un funcionamiento general eficiente. Por lo tanto, el transporte de los residuos sólidos a la entrada del circuito tendrá distintos valores de los parámetros de diseño que el transporte de un residuo específico que ya fue apartado de la línea general. Mediante sensores y computadoras se puede controlar la velocidad de pasaje de los residuos sólidos y modificarlas cuando sea necesario. El sistema debe ser durable, de limpieza automática y diseñado para soportar altas cargas de modo de poder procesar distintas composiciones de residuos sólidos.

Separación de metales ferrosos.

La separación magnética de metales ferrosos resulta una solución muy sencilla de aplicar y conviene realizarse al comienzo de la separación de materiales. Es un sistema ampliamente probado y que resulta natural para cualquier formato de planta de clasificación de residuos sólidos. Es importante para ésta tecnología que la fuerza magnética tenga la capacidad de elevar los distintos metales ferrosos desde el flujo de residuos sólidos. A su vez se debe colocar un sistema de transporte junto al imán de forma que los metales ferrosos no choquen contra el mismo, sino que sean desviados por el mismo. La tasa de extracción determinará la velocidad óptima del sistema de transporte.

Cribado para separar materiales por tamaño.

El cribado se emplea para separar materiales de distinto tamaño en 2 o más tipos. Son útiles para separar materiales muy voluminosos del sistema de transporte. Se pueden utilizar discos en una cinta transportadora (Figura 42) así como también cilindros rotativos (Figura 43) entre otras técnicas.



Figura 42: Discos en una cinta transportadora.



Figura 43: Cilindro rotativo.

Clasificación con aire.

Es utilizado para separar materiales livianos de otros más pesados, mediante el uso de un flujo de aire lo suficientemente veloz como para apartar materiales más livianos. Un ejemplo de uso de esta técnica puede ser para separar aluminio, cartón y plástico del vidrio. Usualmente se utiliza un ciclón que permita separar mediante una acción centrífuga que resulta del flujo de aire y aparta los materiales más livianos hacia las paredes laterales.

Separación de metales no ferrosos.

Se puede producir la separación de estos materiales utilizando el fenómeno de la corriente de Foucault, basado en la conductividad, siendo éste un método probado para la clasificación de materiales. Existen distintas configuraciones de diseño para esta aplicación; una de ellas es utilizando discos de separación rotativos, entre otros. Esta tecnología puede ser aplicada para separar una gran variedad de metales que tienen valor, tales como plomo, cobre, plata, oro y titanio. Sin embargo el metal no ferroso más común en los residuos sólidos es el aluminio, que debería ser el primer material en ser separado.

Sistema de “selección y redirección”.

Este sistema es utilizado para separar vidrio, plástico y cartón. En el mismo, las propiedades de los materiales son identificadas mediante sensores. A partir de la identificación del objeto, su ubicación y la velocidad del sistema de transporte, el sistema aparta el objeto cuando el mismo llega a un punto de desvío para el material. El tipo de sensores utilizados depende de los tipos de materiales objetivo. Una computadora es necesaria para recibir la información de los sensores y analizarla. La misma compara la información recibida con tablas

de valores para identificar el tipo de material. El sistema debe operar a la máxima velocidad que no comprometa la performance del mismo. La computadora debe ser veloz y tener la capacidad de ser ampliada para más materiales. Para una correcta identificación, es necesario que los objetos pasen a través de los sensores en forma individual, por lo que es necesario dispersarlos y lograr un sistema que se adecue a esta condición. Los objetos contaminados disminuyen en gran forma los beneficios de este sistema, así como también los objetos compuestos por varios tipos de materiales. Por otro lado, este sistema tiene por lo general grandes costos de capital, siendo aplicables para instalaciones con grandes flujos de residuos sólidos.

Reducción del volumen.

Esta operación se realiza en forma mecánica e incluye la trituración y molienda, variando éstas para los distintos tipos de material. Por esta razón, la realización de esta etapa ocurre una vez que se finaliza con la separación de los materiales.

Compactación y embalaje.

Se utiliza para aumentar la densidad del material recuperado para que su almacenaje y transporte se realice de forma más eficiente. El nivel de compactación y la forma en que se realiza debe adecuarse a las exigencias del mercado, considerándose la forma de presentación tanto a granel como en empaques. Los costos que producen estas etapas deben ser analizados e implican diversos factores: costos de incrementar la compactación en función de los costos de energía requerida, costos de transporte, forma y grado de compactación en función de la capacidad de almacenaje.

Equipamiento y distribución.

Una vez que las unidades de proceso están seleccionadas, el equipamiento necesario para llevar adelante las mismas, debe ser elegido e instalado. Las capacidades, la certificación, el mantenimiento requerido, la flexibilidad, la seguridad, la eficiencia, los efectos ambientales, las especificaciones del mercado y los costos de las distintas alternativas, serán los aspectos que decidan la selección de equipos para la planta.

Además deben seguirse una serie de pautas en función del diseño general de la planta:

- Los pasajes deben ser lo más estrechos posibles.
- El sistema debe ser pensado para poder ser modificado en cuanto al ingreso de materiales.

- El transporte y la libertad de pasaje de los materiales en las cintas debe ser maximizada.
- La capacidad del sistema de ser modificado y ajustado debe maximizarse.
- La independencia de los equipos debe maximizarse.

6.2.1.4. Diseño de la planta

Dada la estimación realizada de la cantidad de RSD reciclables generada diariamente en la ciudad de Montevideo, a la planta de clasificación ingresarán las siguientes cantidades de residuos:

- Peso = 100 Ton/d
- Volumen = 3972 m³/d

Se diseña la planta bajo la suposición de que todos los residuos reciclables presentes en los RSD llegan a la misma (100 % de cobertura y 100% de eficiencia en la clasificación de los RSD). A su vez, se analizó la situación de que la proyección de población realizada por el INE para la población de Montevideo, indica que para el año 2025 la misma decrece. Por lo tanto la planta diseñada, cuenta con capacidad ociosa mientras no se alcance una clasificación en origen óptima, y suficiente para el fin de período de diseño cuando se estima que los porcentajes mencionados se alcancen.

Las dos unidades de valorización de RSD presentes en la alternativa 1 (Planta de clasificación y Planta de Incineración) serán proyectadas en el mismo predio de modo de centralizar el proceso de valorización de RSD y de poder transferir residuos de una unidad a otra cuando corresponda.

Entrada a la planta

En primer lugar, los camiones recolectores que llegan a la planta deberán pasar por un área de registro y pesaje de modo de controlar el ingreso de los mismos y de contabilizar la cantidad de residuos procesada. La descarga de residuos se efectuará directamente sobre la cinta de clasificación, la cual contará con las dimensiones necesarias para garantizar que esta operación sea realizada sin dificultades. Esta descarga deberá realizarse de la forma más cuidadosa posible de modo de evitar la rotura de los residuos de vidrio. Si la planta se encontrara fuera de servicio por mantenimiento u otras razones (conflictos, etc.) los camiones se dirigirán a la planta contigua de incineración y descargarán los residuos en el foso de la misma, es decir, los residuos reciclables serán incinerados en caso de que la planta de clasificación no esté en operación.

Cintas de clasificación

Dimensionado de las correas.

Se presentan las dimensiones y el número de cintas para las condiciones de trabajo

propuestas, junto con un croquis ilustrativo de las cintas.

- $u = 0,8 \text{ m}$
- $h = 0,20 \text{ m}$
- $v = 6 \text{ m/min}$
- $t = 18 \text{ hs}$ (tres turnos de 6 hs)

$$V_p = 0,96 \text{ m}^3/\text{min}$$

$$V_d = 1037 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\rightarrow N = 4$$

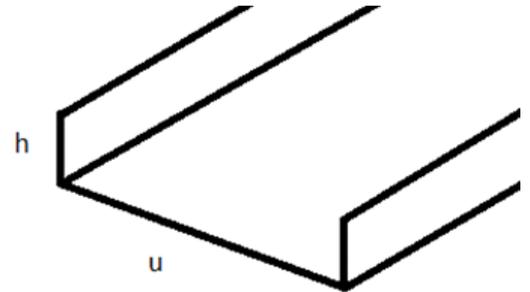


Figura 44: Detalle de las cintas.

Personal necesario.

En función de las eficiencias de clasificación propuestas para cada material, se define el personal asignado para cada tipo de residuo dependiendo de las mismas.

Material	Nº de personas asignadas
Papel	8
Cartón	8
Vidrio	8
Plástico	32
Metales	12

Tabla 11: Personal de clasificación.

Se consideran tres turnos diarios de 6 hs → **Personal de clasificación = 204 personas.**

Longitud de las cintas.

La longitud total de las cintas es de 102 m. Por lo que cada cinta tiene una longitud de 26 m.

Los camiones recolectores descargarán en una única cinta de 3 m de ancho que luego se dividirá para dar lugar a las cuatro cintas calculadas como necesarias en donde se dará la separación de los materiales reciclables.

Equipamiento necesario en la clasificación

A lo largo de la cinta inicial de 3 m de ancho se dispondrán los siguientes dispositivos en orden de aparición:

- Cuchillas para rotura de bolsas de residuos: Existen diversos dispositivos comerciales concebidos para este fin¹⁰.
- Imán para extracción de metales ferrosos: Este dispositivo permite separar los metales ferrosos de la corriente de RSD. La clasificación de estos materiales es la única que se realiza de forma automatizada en la planta¹¹.



Figura 45: Imanes permanentes colocados sobre las cintas (www.goudsmit-magnetics.nl).

¹⁰En particular se destaca el Filmgrabber (www.bollegraaf.com). El mismo consta de un cilindro rotativo integrado en la cinta y dotado de cuchillas que rompe las bolsas plásticas. Las mismas son retiradas de la línea mediante una aspiradora montada en la parte superior del cilindro.

¹¹Entre los modelos comerciales observados, se destacan los imanes permanentes colocados sobre la cinta (www.goudsmit-magnetics.nl).

- Separación de materiales finos: En esta etapa se busca separar de la corriente de RSD aquellos residuos demasiado pequeños como para ser clasificados, estos se trasladarán hacia la planta de incineración para su tratamiento.



Figura 46: Rotoscreen
(www.bollegraaf.com).

- Cintas para clasificación: Serán utilizadas para trasladar los RSD reciclables en la planta mientras ocurre su clasificación. Además, se utilizarán para transportar los residuos descartados hacia la planta de incineración para su tratamiento.



Figura 47: Cintas para clasificación
(www.bollegraaf.com).

Además de las cuatro cintas que se colocarán para la clasificación de los materiales, se dispondrá de una cinta para transportar los descartes del proceso de clasificación. Esta cinta de

descartes pasará por el final de cada una de las cintas de clasificación por debajo del piso del local para permitir la circulación entre las cintas. Si se supone que la cinta de descartes recibe el 25 % del material de cada cinta, entonces deberá tener las mismas dimensiones que las cintas de clasificación aunque su velocidad podrá ser mayor. La cinta de descartes conducirá los residuos desechados hacia el foso de almacenamiento de la planta de incineración para su tratamiento térmico.

En el comienzo de cada cinta de clasificación y antes del imán se colocarán compuertas de cierre que también sirven para regular la altura de residuos en las cintas.

Se supone una distancia de 4 m entre cada cinta de clasificación para permitir el correcto desempeño y la correcta circulación del personal.

- Recipientes para residuos clasificados: Según modelos comerciales observados, se eligen contenedores con ruedas de 360 L de capacidad (dimensiones: 0,62 m x 0,85 m x 1,10 m) para depositar los residuos clasificados manualmente.



Figura 48: Contenedores para residuos (www.essentlda.com.uy).

- Para el depósito de los metales ferrosos captados por el imán se elige un contenedor de 4 ruedas y 1100 L de capacidad (dimensiones: 1,38 m x 1,08 m x 1,38 m).



Figura 49: Contenedores para residuos
(www.essenltda.com.uy).

En función del número de vaciados diarios necesarios para los contenedores de cada tipo de residuo, se determina la cantidad de vaciados para cada persona en función del tipo de material.

Material	Por operario/turno
Papel	10
Cartón	10
Vidrio	<1
Plástico	3
Metales no ferrosos	<1
Metales ferrosos	21

Tabla 12: Número de vaciados por operario/turno.

Depósito

Área necesaria para residuos.

Se supone que los residuos se almacenan en el depósito durante una semana y que los residuos de papel, cartón y plástico se compactan hasta reducir su volumen un 90 %. Teniendo en cuenta las cantidades diarias estimadas de residuos entrantes a la planta se requiere, para el almacenamiento de los residuos, un volumen de 3605 m³.

Se supone además que los materiales compactados se acopian en pilas de 3 m de altura y que los materiales no compactados se almacenan en volquetas.

Las dimensiones de las volquetas ofrecidas por Volkemax son:

- Largo = 3,2 m
- Ancho = 2 m
- Altura = 1,2 m

Las capacidades ofrecidas son de 1,5 m³, 6 m³ y 10 m³. Para las cantidades entrantes de residuos reciclables que no son compactados, se define la cantidad de volquetas necesarias por tipo de material para almacenarlos durante una semana.

- Vidrio: 31 volquetas de 10 m³.
- Metales: 57 volquetas de 10 m³.
- Residuos electrónicos: 5 volquetas de 10 m³.

En base a las dimensiones de las volquetas consideradas y a la altura estimada de las pilas de residuos compactados, se estima el área necesaria. Esta resulta ser: $\dot{A}_{RES} = 1490 \text{ m}^2$.

Área necesaria para maquinaria y espacios adicionales.

- Compactadoras para residuos: 6 m².
- Elevadores: 21,6 m².
- Retiro de volquetas: 76 m².

A partir de lo anterior, se calcula el área necesaria de depósito. Esta resulta ser 1594 m². Se agrega un 25 % del área calculada para la circulación del personal. Por lo tanto, el área del depósito resulta ser **1993 m²**.

Personal adicional

- Personal de limpieza: 18 personas.
- Personal de depósito: 45 personas.
- Personal de oficiales, auxiliares y administrativos: 9 personas.

Considerando el personal para clasificación calculado anteriormente, se tiene que el personal total de la planta resulta ser 292 personas.

Áreas adicionales

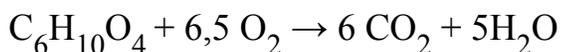
- Área baños: 26 m².
- Área vestuarios: 52 m².
- Área comedor: 146 m².
- Área oficina: 84 m².
- Área taller: 35 m².

Considerando el área de la planta de clasificación estimada anteriormente y las áreas adicionales calculadas en los párrafos anteriores, se calcula el área total a ocupar por la planta de clasificación de materiales reciclables. Ésta resulta ser: $\hat{A}_{\text{PLANTA}} = 3844 \text{ m}^2$.

6.2.2. Planta de incineración

6.2.2.1. Introducción teórica

Con el fin de cuantificar la energía almacenada en los residuos sólidos urbanos (RSU) se propone que la fórmula química $C_6H_{10}O_4$ representa razonablemente a la mezcla de compuestos orgánicos presentes en los mismos. La combustión completa de estos compuestos se representa según la siguiente fórmula:



Esta reacción es altamente exotérmica y a 1000 °C genera 2,7 MJ/mol de compuesto. Teniendo en cuenta que el peso molecular del $C_6H_{10}O_4$ 146 g/mol, el calor de reacción teórico resulta ser 18,5 MJ/kg. Se ha supuesto que el residuo está seco y no hay materiales no combustibles. Es posible comparar este resultado teórico con los ensayos de poder calorífico realizados sobre muestras de residuos no reciclables en el LATU. Si se promedian los resultados para las siete muestras ensayadas (una muestra diaria durante una semana) correspondientes a poder calorífico superior en base anhidra (residuo seco) se obtiene como resultado 19,1 MJ/kg. Este valor resulta muy similar al estimado teóricamente.

La humedad y los materiales no combustibles contenidos en los RSU reducen su poder calorífico. La pérdida de calor debida a la humedad del residuo se calcula como 2,6 MJ/kg de humedad en el residuo. Para los materiales no combustibles, la pérdida de calor se asume como:

- Vidrio y otros materiales silíceos: 0,63 MJ/kg de vidrio.
- Hierro y otros metales: 0,54 MJ/kg de metal.

Cabe destacar que, dentro de la alternativa propuesta, tanto los residuos de vidrio como los de metales serían dirigidos hacia la planta de clasificación de materiales reciclables, por lo que se evitaría la quema de estos materiales y, consecuentemente, la reducción del poder calorífico de la mezcla de residuos.

6.2.2.2. *Diseño de la planta*

A la planta de incineración llegarán, diariamente, los residuos no reciclables. Las cantidades estimadas, en peso y en volumen, de esta fracción de los residuos sólidos domiciliarios (RSD) se detallan a continuación:

- $P_{\text{NO-R}} = 450 \text{ Ton/d}$
- $V_{\text{NO-R}} = 2263 \text{ m}^3/\text{d}$

En función de las áreas asociadas para cada instalación que requiere la planta de incineración, se estima un área necesaria de 0,4 Has. También se incinerarán los descartes producidos en la planta de clasificación (25 % de los residuos reciclables). A su vez, se determina una producción diaria de cenizas a disponer en relleno sanitario en peso y en volumen de 170 ton/d y 105 m³/d respectivamente.

Componentes de la planta:

Admisión de residuos.

A la entrada de la planta debe preverse un área para control y pesaje de los camiones recolectores de RSD. Debe registrarse el peso del camión recolector antes y después de descargar los residuos de forma de cuantificar la cantidad de residuos que ingresan diariamente a la planta.

Foso de residuos.

Los camiones recolectores de RSD descargarán los residuos en un foso. El mismo deberá tener una capacidad suficiente para almacenar la totalidad de los residuos producidos durante tres días en la ciudad de Montevideo. Esto supone que se puede utilizar dicho foso como contingencia ante problemas de funcionamiento en la planta de clasificación. Sabiendo que la producción total diaria de residuos es de 550 ton/d y asumiendo una densidad de 0,35 ton/m³¹² de los residuos dentro del foso, se concluye que el mismo deberá tener un volumen de **4715 m³**.

Este foso deberá encontrarse en depresión para evitar la incidencia de malos olores provenientes de los RSD en la planta. Este aire es introducido hacia los hornos incineradores como aire primario.

12Waste Incineration, 2006

Alimentación de los residuos a los hornos incineradores.

La alimentación de los RSD a los hornos incineradores debe realizarse mediante un dispositivo dosificador el cual alimentará de forma volumétrica a los hornos siendo uno de los elementos más importantes para el desarrollo automático del proceso. Esta alimentación podrá realizarse por medio de puentes grúa instalándose uno para operar y uno de reserva. El operador de la grúa efectuará los siguientes trabajos:

- Alimentación de los RSD a los hornos.
- Mezcla y homogeneización de los RSD.
- Apilado de residuos.

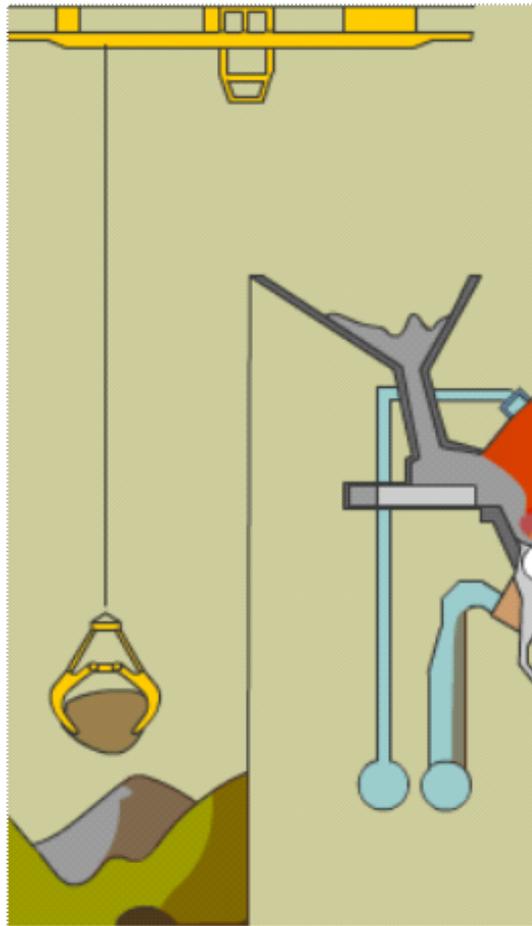


Figura 50: Puente grúa captando RSD del foso para luego depositarlos en la tolva de entrada del horno
(http://www.greenpeace.org.ar/img/GPU_K_incineration.swf).

Hornos incineradores de RSD.

La tecnología de los hornos a utilizar en la planta de incineración será la de parrilla. Esta es la tecnología de tratamiento térmico dominante. Las plantas de este tipo más eficientes recuperan, en promedio, 0,5 MWh de electricidad por tonelada procesada y más de 0,5 MWh de energía térmica en forma de vapor que puede ser empleada, por ejemplo, para brindar calefacción a las poblaciones cercanas. La tecnología de parrilla es una tecnología probada. Los RSD no requieren procesamiento previo para ingresar a una planta de este tipo. Es un proceso completamente automatizado, salvo en la operación de las grúas para la carga del sistema de alimentación al horno. El grado de desarrollo de esta tecnología ha llevado a que diversos proveedores garanticen más de 8000 horas de operación anual (333 días).

Una vez que los residuos son transportados desde el foso hasta la tolva de alimentación de los hornos por medio del puente grúa, estos ingresan a los hornos incineradores provistos con la tecnología de parrilla. Las parrillas constan de unas piezas móviles que mueven, atizan y hacen avanzar al residuo y a la vez distribuyen uniformemente el aire de combustión. En una parrilla existen tres etapas durante la combustión:

- Secado: El aire primario que se introduce en la parrilla acaba de secar el residuo en la primera zona de la misma. Cuando se procesan residuos con altos contenidos de humedad es necesario pre calentar este aire primario.
- Combustión principal: Se lleva a cabo en la zona intermedia de la parrilla, aquí los RSD efectúan la transformación del carbono sólido en carbono gaseoso y, al pasar por encima de los 750 °C, se produce la combustión. El gas desprendido en esta zona produce una gran cantidad de calor (alcanzando aproximadamente los 1000 °C), que se transmite rápidamente a los RSD circundantes.
- Combustión final: En esta zona se produce la combustión de los RSD que tienen una deficiente capacidad de transmisión de calor.

La parrilla está compuesta por barras longitudinales de forma escalonada que son, alternativamente, móviles y fijas. Las móviles poseen un movimiento de traslación inclinado con respecto al plano de la parrilla. Como consecuencia de esto, los materiales son transportados y atizados por la parrilla. Están construidas con un pequeño grado de inclinación y están divididas en varias secciones independientemente regulables. Las parrillas son autolimpiantes debido a la disposición de las barras móviles y fijas.

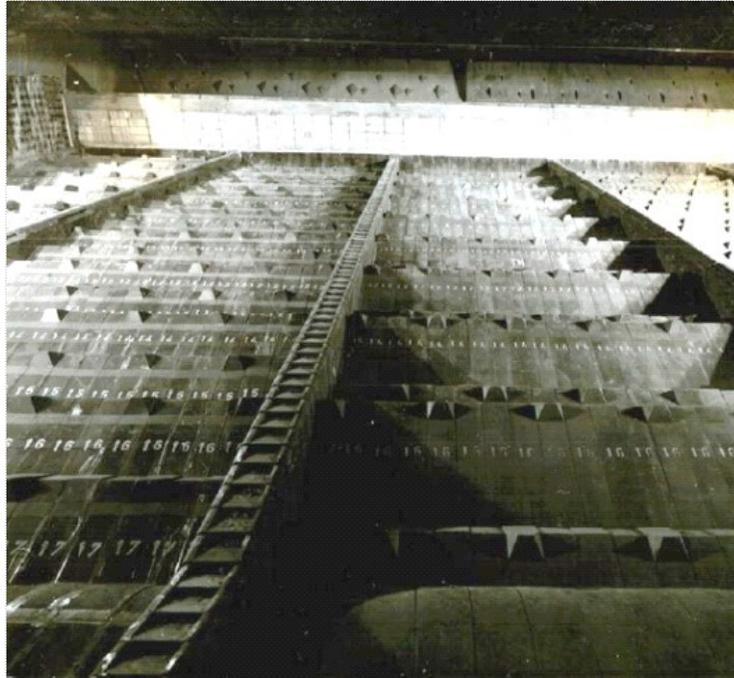


Figura 51: Parrillas de hornos incineradores (Plan Director, 2005).

La parrilla mide de tres a doce metros de ancho y tiene unos ocho metros de largo. En estas condiciones, el tiempo promedio de residencia de los residuos en la parrilla es de una hora. Las cenizas generadas se descargan por la parte inferior de la parrilla. El horno tiene una altura aproximada de 20 m y está diseñado para que el pasaje de los gases generados tome entre 4 y 8 segundos. Los gases calientes generados durante la combustión pasan por un sistema de intercambiadores de calor, generando vapor que es conducido a un generador de turbina para producir energía eléctrica. Los tres fabricantes de combustión en parrilla dominantes son Martín, Von Roll y Keppel-Seghers.

Aire necesario durante la combustión

Para garantizar una correcta combustión de los residuos, ha de inyectarse aire en el horno. Este aire necesario puede dividirse en:

- Aire de combustión primario: Es el aire necesario para la combustión de los RSD en el horno. Es aportado mediante un ventilador centrífugo que lo aspira desde el interior del foso de residuos, con lo cual se crea en el interior de éste, la depresión que impide la salida al exterior de malos olores y polvo, incluso con las puertas de descarga abiertas. Este aire se introduce por debajo de las parrillas por medio de conductos convenientemente aislados, de forma de conseguir una distribución uniforme.
- Aire de combustión secundario: Es el destinado a proporcionar el oxígeno necesario para

la combustión completa de los gases no quemados y de las partículas contenidas en los humos, y además lograr que el carbono se convierta en CO_2 . Para lograr este objetivo, la inyección de aire se hace a alta velocidad para crear una gran turbulencia.

- Exceso de aire: Es la cantidad de aire sobre el estequiométrico necesario para garantizar una correcta combustión. En hornos modernos, se requieren excesos del 60 %.

La instalación propuesta consta de tres hornos en paralelo (dos en operación y uno de reserva) cada uno con una capacidad de procesamiento de 12 Ton/h funcionando 24 horas al día. Cada uno ocupa una superficie de 55 m^2 y está equipado con la tecnología de parrilla. En la instalación propuesta se cuenta con capacidad suficiente para procesar la totalidad de los residuos. Con esto se contempla la contingencia de problemas de funcionamiento en la planta de clasificación.

Control de emisiones

Los gases de la combustión procedentes de una planta incineradora de residuos urbanos contienen numerosos contaminantes, cuyas emisiones tienen que minimizarse tanto como sea posible. La naturaleza y las concentraciones de estos contaminantes en los gases de la combustión dependen principalmente del residuo incinerado y, en menor grado, de la forma en que se controla la combustión dentro del sistema seleccionado. La incineración de residuos que contienen cloro produce la formación de gases ácidos como por ejemplo el HCl. El cloro presente en los RSD se localiza principalmente en los plásticos, sobre todo en el policloruro de vinilo (PVC), el poliestireno (PS) y el polietileno (PE). Dado que se prevé que estos residuos separados en origen sean dirigidos hacia la planta de clasificación de materiales reciclables, se evitaría la incineración de los mismos y, consecuentemente, la formación de cantidades excesivas de HCl. Como contrapartida, la no incineración de los residuos plásticos reducirá sustantivamente el poder calorífico de los RSD, disminuyendo la cantidad de energía generada en el proceso.

Las emisiones atmosféricas gaseosas y en partículas procedentes de los sistemas para la recuperación de recursos pueden controlarse con cinco clases de equipamientos:

- Precipitadores electrostáticos, filtros de mangas, filtros electrostáticos de lecho de grava (**control de partículas**).
- Separación en origen, controles de combustión, tratamiento de los gases de combustión (**control de NO_x**).
- Separación en origen, depuración húmeda o seca (**control de SO_2 y gas ácido**).
- Controles de combustión (**control de CO y HC**).
- Separación en origen, controles de combustión, control de partículas (**control de la contaminación no específica**).

Equipamiento para controlar partículas.

Las partículas finas ($< 10 \mu\text{m}$) se pueden controlar, por ejemplo, mediante la utilización de filtros de mangas. El filtro de mangas es un dispositivo intrínsecamente sencillo.

Las mangas se conectan en paralelo sobre una estructura y se hace pasar por ellas la corriente de gas a tratar. Esto puede hacerse inyectando esa corriente en el interior de las mangas, o forzándole a entrar desde el exterior de éstas generando una depresión. Las partículas presentes en el gas de combustión son atrapadas en una capa de polvo que gradualmente se va acumulando sobre la superficie de la manga. Esta capa de polvo permite que la manga filtre partículas de tamaños tan pequeños como $0,1 \mu\text{m}$, mucho más pequeñas que los espacios abiertos de 50 a $75 \mu\text{m}$ existentes entre las fibras de la manga.

Para limpiar las mangas, las partículas retenidas se pueden separar de las mangas mediante muchas técnicas, incluyendo: agitación mecánica, inversión de la corriente de aire y chorro pulsante.

Los parámetros de diseño más importantes para un filtro de mangas son el área, el material y el método de limpieza del filtro. Se han utilizado diversos materiales para la construcción de filtros de mangas, algunos ejemplos de materiales resistentes a las altas temperaturas son: vidrio, tejido de vidrio y teflón.

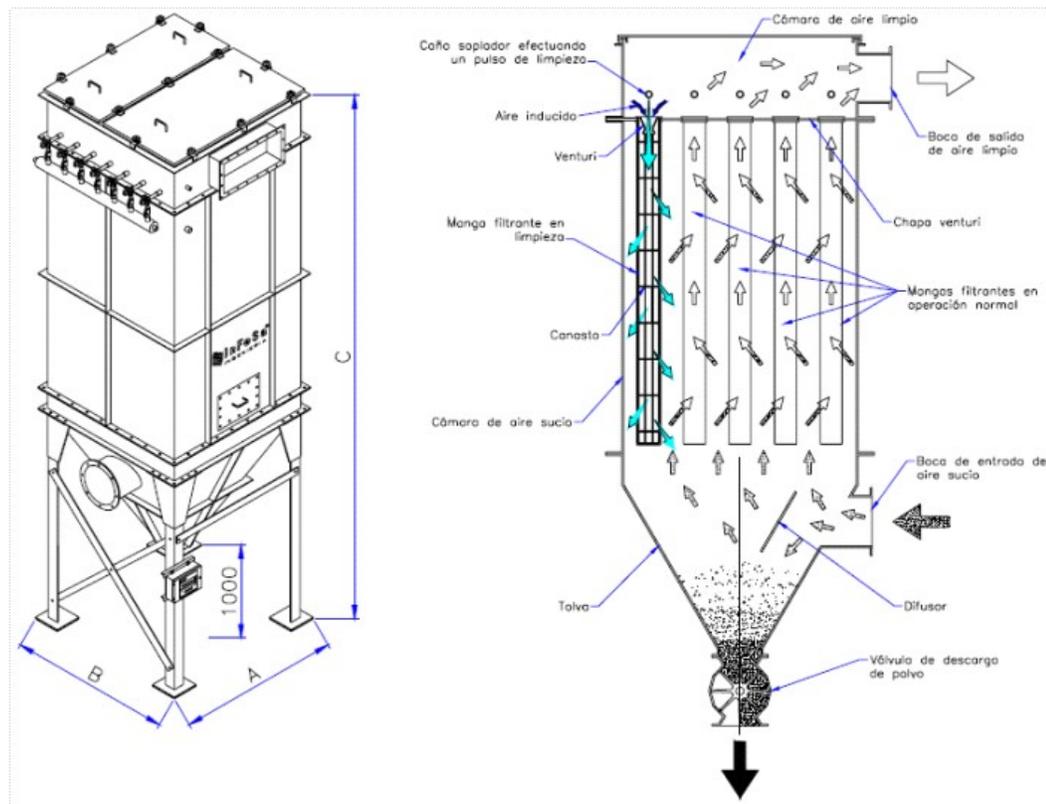


Figura 52: Filtro de mangas comercial (INFESA, Ingeniería).

Equipamiento para el control de NO_x

El NO_x combustible, formado mediante reacciones entre oxígeno y nitrógeno orgánico en el combustible, y el NO_x térmico, formado mediante reacciones entre el nitrógeno y el oxígeno en el aire utilizado para la combustión, son las dos principales fuentes de NO_x en la incineración. El control del NO_x térmico se puede conseguir mediante controles de combustión para evitar su formación y el tratamiento de los gases de combustión para evitar su emisión.

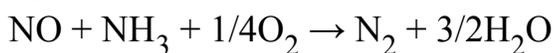
Los controles de combustión incluyen:

1. Recirculación del gas de combustión.
2. Funcionamiento con bajas cantidades de aire en exceso e incineración por etapas. Esto implica un cuidadoso control de la entrada de aire a la incineradora, mediante la división del aire de combustión en corrientes primarias y secundarias.

Dos tecnologías utilizadas para tratar los gases de combustión son la reducción catalítica selectiva (RCS) y la reducción no catalítica selectiva (RNCS).

RCS:

Emplea la inyección de amoníaco en los gases de chimenea, seguido por el paso del gas sobre un lecho catalizador. La siguiente reacción se produce a temperaturas de entre 280 y 430 °C:



Como catalizadores se han empleado metales como cobre, hierro, cromo, níquel, molibdeno, cobalto y vanadio. La tecnología es bastante eficaz, consiguiendo reducciones de hasta el 90 % en aplicaciones en las que se queman carbón y aceite.

RNCS:

Funcionando en más de 60 instalaciones, el proceso se basa en la inyección de amoníaco, pero no hay ningún catalizador implicado. El amoníaco se inyecta directamente al horno. Cuando se inyecta amoníaco en un horno en el rango de temperatura de 700 a 1200 °C, predomina la siguiente reacción aproximada:



Con temperaturas por encima de 1200 °C se presenta formación de NO en la reacción. El proceso debe controlarse de forma de evitar la producción extra de NO. Se han conseguido eficacias de reducción del 50 al 80 %.

Equipamiento para controlar gases ácidos.

Las emisiones incontroladas de la incineración de RSU pueden contener ácido clorhídrico (HCl), ácido fluorhídrico (HF), dióxido de nitrógeno (NO₂) y dióxido de azufre (SO₂). El HCl y el HF se emiten como aerosoles finos, y los dióxidos de nitrógeno y azufre se emiten en forma de gas que se combina con las gotas de agua en la atmósfera para formar lloviznas de ácido nítrico y ácido sulfúrico que pueden producir una reducción en la visibilidad, la corrosión de metales y fenómenos de lluvia ácida.

Existen varios métodos para controlar los gases ácidos, incluyendo:

1. **Separación en origen:** Un método para controlar las emisiones de HCl y SO₂ es la separación en origen de los componentes de los residuos que contengan grandes cantidades de cloro y azufre, como pueden ser los residuos plásticos. La separación de estos residuos tenderá a reducir el contenido energético de los residuos restantes. A continuación se adjunta una tabla que muestra el contenido de azufre y cloro de algunos materiales encontrados en los RSU.

Material	Contenido de azufre, porcentaje del peso seco	Contenido de cloro, porcentaje del peso seco
Cartón	0,05	0,05
Papel de diario	0,03	0,05
Residuos de jardín	0,07	0,34
Goma, madera, textiles, etc.	0,18	0,14
Plástico	0,27	6,48
Papel mezclado	0,04	0,12
Orgánicos misceláneos	1,15	1,8

Tabla 13: Contenido de cloro y azufre de los residuos¹³.

2. **Depuración húmeda:** El sistema es bastante complejo y está formado por un lavador venturi y un desvaporizador, un apagador de cal y un filtro prensa para deshidratar los lodos de la depuradora antes de su evacuación. También forma parte del sistema un intercambiador de calor, que primero enfría los gases de combustión hasta 32 °C antes de la depuración y después recalienta los gases antes de ser evacuados por la chimenea.

13 Tchobanoglous, 1994.

El paso de enfriamiento se requiere para incrementar la eficacia de la depuración, y el paso de recalentamiento se requiere para incrementar la fuerza ascendente de las emisiones. El rendimiento del sistema tiene una separación media de: 89 al 98 % de HCl, 84 al 96 % de HF y 55 al 79 % de SO₂.

3. Depuración seca: Se utilizan dos técnicas, secado de rocío e inyección en seco.

Equipamiento para el control de CO y HC.

El control del monóxido de carbono (CO) y de los hidrocarburos (HC) está directamente relacionado con la eficacia de la incineración y está en función del diseño y de la operación del sistema. La formación de CO y HC se produce por la incineración incompleta de los residuos, debida a una incineración rica en combustible y a la baja temperatura provocada por el alto contenido de humedad de los residuos. El uso de oxígeno adicional es la primera herramienta para controlar la producción de CO y HC. Este oxígeno adicional debe equilibrarse para evitar una combustión a temperatura demasiado alta produciéndose emisiones excesivas de NO_x. El equilibrio de estos factores se lleva 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 CO y O₂ se utilizan para equilibrar el aire en exceso.

Equipamiento para el control de dioxinas, furanos y metales.

La separación en origen puede ser una medida eficaz para limitar las emisiones de metales pesados producidas por la incineración de RSU. La separación en origen de pilas ya se usa en países como Japón y Suecia para controlar las emisiones de mercurio y cadmio. Los controles de combustión son la estrategia de control principal para reducir las emisiones de dioxinas y furanos. Se ha constatado que existe una fuerte correlación entre la temperatura, el tiempo de residencia y las emisiones de dioxinas y furanos. Se recomiendan temperaturas mínimas de 982 °C ± 88 °C en los sistemas de procesamiento térmico con un tiempo de residencia mínimo de 1 segundo. También se ha notado que las condiciones que minimizan la generación de CO minimizan también la generación de dioxinas y furanos. Por tanto, se puede usar el CO como un indicador para supervisar las emisiones de dioxinas y furanos.

Vertidos de aguas residuales

Aguas residuales de la separación de cenizas.

En general se utiliza agua para templar y enfriar las cenizas antes de evacuarlas, y para controlar las emisiones fugitivas de polvo. Si las cenizas se evacúan fuera del lugar, el agua del

templado se evacua con las cenizas y no se producen aguas residuales.

En este caso, se proyecta un relleno sanitario para disposición final de las cenizas generadas durante el proceso de incineración. Por lo tanto, el agua utilizada para acondicionar las cenizas será dispuesta junto con las mismas en el relleno, por lo que no será necesario tratarlas en la planta de incineración.

Efluente de la depuración húmeda.

La depuración húmeda es un método eficaz para el tratamiento del SO₂ y para la separación de gases ácidos. Como consecuencia de este proceso se producen dos productos residuales: residuos sólidos (producto de la depuradora) y agua residual (efluente de la depuración húmeda). El tratamiento implica neutralización, precipitación y sedimentación.

Aguas residuales de sellado, baldeo y mantenimiento general.

Se generan pequeñas cantidades de aguas residuales por el agua utilizada para sellar y enfriar bombas y otros equipamientos (a veces contaminadas con aceites y grasas). El agua de limpieza utilizada para lavar las zonas de descarga puede contener restos de RSD.

Normalmente estas aguas residuales se sedimentan antes de ser vertidas a colector.

Purgas de torres enfriadoras.

Una descarga de aguas residuales vinculada con la producción de energía en la planta es la purga de las torres enfriadoras. Las torres enfriadoras se utilizan para condensar el vapor en agua después de que éste ha pasado por las turbinas de vapor. Esencialmente son intercambiadores de calor, en los que el vapor se enfría en ciclo cerrado mediante una mezcla gota de agua/aire en un circuito separado. El agua del circuito de enfriamiento se recircula dentro de la torre. Normalmente se utilizan sales de cromo para retrasar el crecimiento de algas dentro de la torre, que reducirían la eficacia del enfriamiento. Mientras se recircula el agua de refrigeración, ésta se evapora poco a poco, incrementando el contenido de sólidos disueltos y de cromo. Periódicamente hay que cambiar el agua, produciéndose un efluente a tratar (purga). Como el agua tiene un alto contenido de sólidos disueltos y sales de cromo, puede requerir un pre tratamiento de intercambio iónico o precipitación antes del vertido a los colectores municipales.

Requerimientos ambientales

En esta sección se hará referencia a la propuesta de estándares publicada en el mes de febrero del año 2012 por el grupo GESTA AIRE. En dicha propuesta se proponen estándares de

inmisión para los siguientes parámetros:

- Monóxido de carbono (CO)
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Dióxido de nitrógeno (NO₂)
- Ozono (O₃)
- Partículas totales en suspensión (PTS)
- Material particulado igual o menor a 10 µm (PM₁₀)
- Plomo (Pb)
- Compuestos de azufre reducido total (TRS)
- Metales

Se incluyen además guías referidas a partículas sedimentables y olores.

El documento citado propone concentraciones de inmisión máximas permitidas de los parámetros que se controlan en las emisiones atmosféricas. Estos valores se presentan en la siguiente tabla:

Contaminante	Período de muestreo	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ^{***}	Frecuencia de excedencia permitida
Monóxido de carbono	1 h	30000	No debe superarse en más de tres veces al año
	8 hs móviles	10000 *	No debe superarse más de tres días al año
Dióxido de Azufre	24 hs	125 *	Percentil 95 (**)
	24 hs	365*	No debe superarse más de una vez al año
	Anual	60 *	
Dióxido de nitrógeno	1 h	320	No debe superarse más de cuatro horas corridas
	Anual	75 *	
Ozono	8 hs móviles	120 *	No debe superarse en más de tres días al año
Partículas totales en suspensión (PTS)	24 hs	240 *	No debe superarse más de una vez al año
	Anual	75 *	
PM10	24 hs	150 *	No debe superarse más de una vez al año
	Anual	50 *	
Plomo	3 meses móviles	1.5 *	No debe superarse más de una vez al año
Compuestos de Azufre Reducido Total (expresado en H ₂ S)	1h	15	No debe superarse más de tres veces al año
	24 hs	10	No debe superarse más de una vez al año
Metales pesados	De acuerdo a lo establecido por las Guías de Calidad de Aire de la Organización Mundial de la Salud para compuestos no cancerígenos		

Partículas Sedimentables y Olores	En aquellas actividades que generen partículas sedimentables y olores desagradables se deberán implementar medidas para minimizar el impacto de estas emisiones en el entorno
-----------------------------------	---

*: se refiere a medias aritméticas

** : el 95% de las medidas consideradas no debe superar el valor de $125\mu\text{g}/\text{m}^3$

***: P= 1013.25 hPa² y T= 298 °K

Tabla 14: Propuesta de estándares de calidad de aire (inmisión), grupo GESTA AIRE.

En el citado documento también se proponen estándares de emisión para fuentes fijas. Se define como fuente fija puntual a toda edificación o instalación donde se realizan operaciones que dan origen a la emisión de contaminantes al aire por medio de una chimenea. Se aclara que los estándares propuestos deben ser cumplidos en condiciones de régimen, quedando excluidos los períodos transitorios de operación (paradas, arranques, etc.).

Dentro de las fuentes fijas consideradas en este trabajo se encuentran las incineradoras de residuos. Los estándares propuestos para estas instalaciones, correspondientes a los límites máximos de emisión autorizados corregidos al 7 % de oxígeno, se pueden ver en la siguiente tabla:

Contaminante	Límite de emisión
MP (mg/Nm ³)	20
COT (mg/Nm ³)	14
HCl (mg/Nm ³)	14
HF (mg/Nm ³)	1.4
SO ₂ (mg/Nm ³)	70
NO _x como NO ₂ (mg/Nm ³)	560
CO (mg/Nm ³)	70
Cd+Tl y sus compuestos (expresados en Cd +Tl) (mg/Nm ³)	0.07
Hg y sus compuestos (expresado en Hg) (mg/Nm ³)	0.07
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V y sus compuestos (expresados en Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V) (mg/Nm ³)	0.7
Dioxinas y furanos (ng EQT/Nm ³)	0.14

Tabla 15: Límites máximos de emisión a la atmósfera (corregidos al 7 % de oxígeno).

También se especifican las condiciones para el muestreo de los parámetros considerados:

Capacidad de procesamiento instalada	Contaminante	Frecuencia de monitoreo
Todas las capacidades	CO y O ₂	Continuo
Mayor o igual a 10 ton de residuos sólidos/día	MP, SO ₂ , NO _x ,	Continuo
	Resto de contaminantes ⁽¹⁾	2 vez en el año
Menor a 10 ton de residuos sólidos/día	MP, SO ₂ , NO _x	4 veces al año
	Resto de contaminantes ⁽²⁾	1 vez al año

(1) Excepto dioxinas y furanos que tendrá una frecuencia de monitoreo de 1 vez al año

(2) Excepto dioxinas y furanos para lo cual la DINAMA definirá la frecuencia de monitoreo en cada caso.

Tabla 16: Muestreo de contaminantes.

Ciclo de generación energética

En la siguiente figura se ilustra, de forma esquemática, el ciclo de generación de energía eléctrica a ser empleado en la planta diseñada para aprovechar el calor liberado durante la incineración de los residuos sólidos no reciclables:

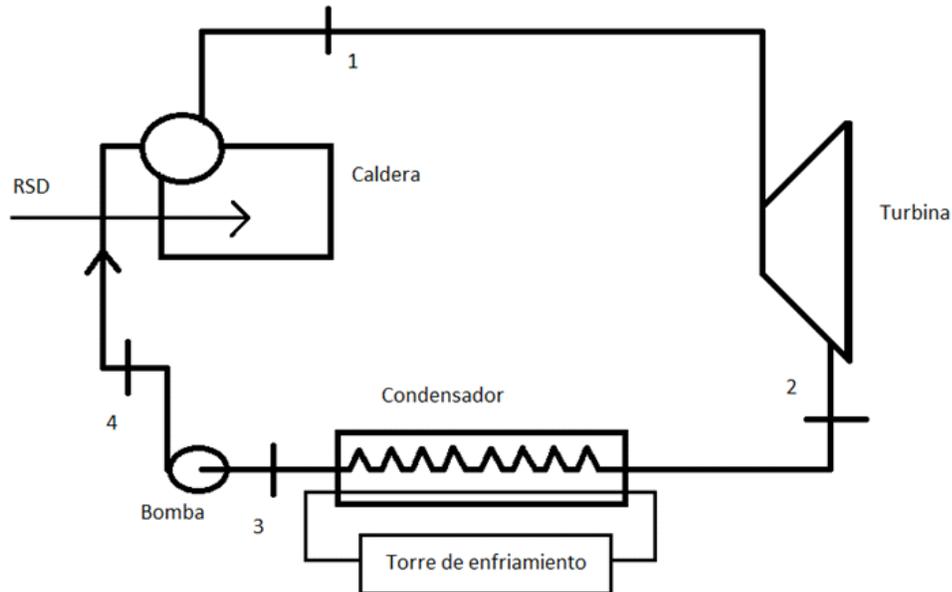


Figura 53: Ciclo de generación de energía.

- Los residuos no reciclables son introducidos en la caldera donde se produce su combustión. A raíz de la combustión de los RSD se produce vapor en la caldera que sale de la misma como vapor sobrecalentado a 400 °C y 40 bar (**punto 1 en el esquema**).
- Luego, este vapor pasa por la turbina en donde se inicia el mecanismo de producción de energía eléctrica. Al salir de la misma, el vapor se encuentra saturado (**punto 2 en el esquema**).
- Seguidamente, el vapor pasa por un condensador. La función del mismo es llevar el vapor al estado líquido. Para lograr esto se le debe quitar calor al vapor. Como forma de lograr esto se utiliza un fluido secundario (agua) en un circuito independiente al del vapor. El agua utilizada en el condensador pasa luego por una torre de enfriamiento donde libera el calor almacenado para retornar al condensador (**punto 3 en el esquema**).
- Finalmente, el vapor pasa por una bomba. La función de la misma es asegurar el retorno del vapor a la caldera (**punto 4 en el esquema**).

6.2.3. Celda tipo para cenizas de incineración

6.2.3.1. Introducción Teórica

Los rellenos sanitarios son instalaciones físicas utilizadas para la disposición de los residuos sólidos. Se trata de una instalación ingenieril diseñada y explotada para minimizar los impactos ambientales y sobre la salud pública.

Su operación implica la supervisión del flujo de residuos entrante, la colocación y compactación de los residuos de acuerdo a un diseño o programa de explotación, y la implantación de instalaciones para el control y la supervisión ambiental.

Respecto al tipo de relleno sanitario, el mismo se puede clasificar según el material que lo constituye. Para el caso de estudio se trata de un relleno sanitario para constituyentes individuales de residuos, en particular, las cenizas provenientes de la planta de incineración. Como las cenizas de incineración contienen pequeñas cantidades de material orgánico no quemado, la producción de olores procedentes de la reducción de sulfatos ha sido un problema en los rellenos sanitarios utilizados para cenizas de incineración. Por ello se recomienda la instalación de sistemas para la recuperación del gas, de forma que se puedan controlar los problemas de olor.

A continuación se describen las principales componentes y características asociadas a una celda tipo de un relleno sanitario para luego presentar las características correspondientes al caso de estudio. Se van a considerar solamente los componentes específicos del sitio de disposición, y no el emprendimiento completo de un relleno sanitario que incluye zona de ingreso, laboratorio, oficinas, etc., dado que es el nivel que corresponde en este análisis estratégico.

Componentes y características asociadas a una celda tipo

Celda.

Se utiliza para describir el volumen de material depositado en un vertedero durante un período de explotación, normalmente un día. Una celda incluye los residuos depositados y el material de cobertura. Normalmente el material de cobertura consiste en 15 o hasta 30 cm de suelo natural o materiales alternativos como compost. Los objetivos de la cobertura incluyen evitar voladuras, prevenir vectores en el relleno y controlar la entrada de agua en el vertedero.

Recubrimiento del relleno e impermeabilización de la base.

El sistema de impermeabilización de base forma un componente fundamental en el concepto de un relleno sanitario. Debe evitar la infiltración de lixiviados en el subsuelo del lugar y proteger así a éste y a las aguas subterráneas que probablemente existen. Para lograr esto existen varias posibilidades, de las cuales las más comunes son: capas de material mineral (normalmente de arcilla o suelos arcillosos con materiales añadidos), capas artificiales con geomembranas (PEAD, PVC u otros plásticos), capas de asfalto. Los dos primeros son los sistemas más comunes y mejor manejables durante la construcción. La impermeabilización con capas de asfalto es usada de forma más específica y casi siempre cuando son escasos los materiales minerales aptos para la construcción.

Se presenta un ejemplo muy esquemático de una impermeabilización de fondo. Se observan las distintas capas que conforman esta importante etapa de un relleno.

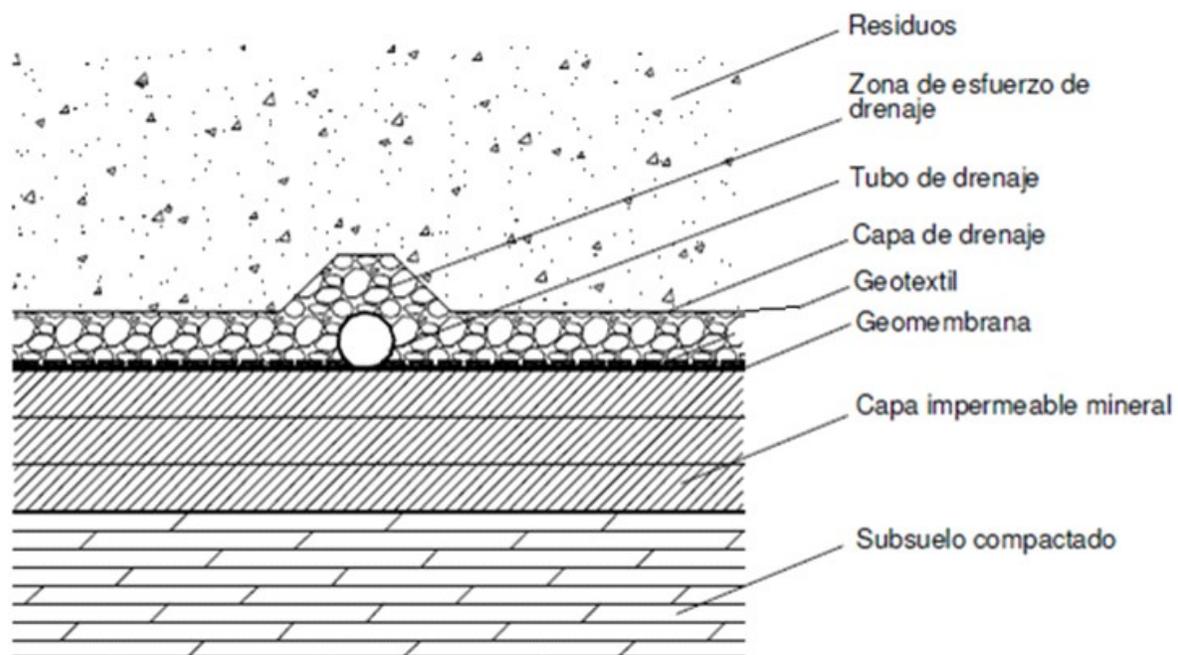


Figura 54: Impermeabilización de fondo.

14

Últimamente se están aplicando sistemas combinados entre capas minerales y capas artificiales para aprovechar las propiedades ventajosas de las dos. Dependiendo de los países donde son construidos, las exigencias en material, espesores y forma de construcción son diferentes.

Recolección y tratamiento de lixiviados.

El lixiviado corresponde al líquido que se acumula en el fondo de un relleno sanitario luego de filtrar a través de los residuos sólidos, arrastrando materiales disueltos o en suspensión. Frecuentemente se recoge en los puntos intermedios en el caso de rellenos profundos. Son el resultado de la precipitación, la escorrentía no controlada del agua y del agua de irrigación que entra en el relleno, así como también del agua inicialmente contenida en los residuos.

Un componente importante e imprescindible es el sistema de recolección de lixiviados. Sin la desviación controlada, estos se estancan encima de la capa de impermeabilización produciendo así una presión hidráulica que favorece el fallo del sistema de impermeabilización, así como también posibles infiltraciones en el terreno y en aguas subterráneas cuando el sistema de impermeabilización falla. La recolección se puede realizar con una capa de drenaje que se extiende sobre toda el área de disposición, donde la desviación controlada es asegurada por un sistema de tuberías de drenaje. Para la mejor protección de las tuberías y la desviación de fuerzas estáticas se recomienda colocar encima de los tubos una capa extra de grava. Tomando en cuenta la posibilidad de atasco por sedimentaciones dentro del tubo (“bio-rock”) que puede ser causada por componentes precipitables de los lixiviados.

Una vez recolectado y apartado de la zona del relleno, el lixiviado se debe acondicionar de modo de poder ser vertido como efluente líquido. Para esto es necesaria la instalación de una planta de tratamiento de efluentes que permita alcanzar la calidad necesaria del lixiviado para ser vertido.

Sistema de venteo de gases.

Es la evacuación de la mezcla de los gases que se encuentran dentro de un relleno. La mayor parte del gas del relleno está formado por metano y dióxido de carbono, productos principales de la descomposición anaerobia de la fracción orgánica biodegradable de los residuos. Los costos de la atención posterior y del monitoreo y control a largo plazo pueden representar un 10% del costo del relleno.

En caso de no poder usar el biogás recolectado, éste será quemado o pasado por biofiltros, donde las sustancias nocivas son reducidas mayoritariamente. La recolección del biogás es efectuada por pozos de extracción que a veces son conectados a sistemas de drenaje de gas de forma horizontal, sin que esto sea común. Es importante mencionar que la explotación de gas se puede empezar unos años después de comenzar la puesta en marcha del relleno sanitario.

Para nuestro caso de análisis se buscará captar los gases liberados para evitar la

generación de olores en la zona del relleno. En particular, es razonable considerar un control activo de los gases del relleno con instalaciones perimétricas.

Capa final de recubrimiento.

Se aplica a toda la superficie del relleno sanitario después de concluir todas las operaciones de vertido. El recubrimiento final normalmente consiste en múltiples capas de tierra y/o materiales como geomembranas diseñadas para facilitar el drenaje superficial, interceptar aguas de infiltración y soportar la vegetación superficial.

6.2.3.2. Diseño de la celda tipo

Para el diseño de la celda tipo debe determinarse el volumen diario de ingreso de cenizas. Esto se obtiene realizando las siguientes consideraciones:

- Cenizas generadas: 350 Kg/ton residuo incinerado
- Densidad de cenizas compactadas: 1,59 ton/m³

Para utilizar estas recomendaciones es necesario definir el peso total diario de llegada de cenizas. Para esto se considera el peso total diario incinerado, correspondiente a 450 ton/d de residuos no reciclables y el 25 % de descarte de la planta de clasificación que corresponden a 25 ton/d.

- Peso cenizas: $350 \cdot (450 + 25) = 170 \text{ ton/d}$
- Volumen cenizas: $170 / 1,59 = 105 \text{ m}^3/\text{d}$

Para determinar el área necesaria correspondiente a la zona de ubicación de las celdas se considera una vida útil del relleno sanitario de 20 años. Se utiliza un coeficiente de 1,3 que contempla el volumen necesario para coberturas.

$$\text{Volumen: } 105 \cdot 365 \cdot 20 \cdot 1,3 \approx 1.000.000 \text{ m}^3$$

Para este criterio de dimensionamiento no se considera una variación del volumen de llegada de cenizas durante la vida útil. Para esto se realizan diversas consideraciones que abarcan varios aspectos. Entre éstos, se estima que la producción per cápita se mantenga en el período de tiempo y no se considera un aumento de la población significativo que modifique

los volúmenes anuales.

Considerando una altura total de 10 m, se puede estimar el área necesaria solo para la ubicación de las celdas de **10 Has**. Las cuales se podrían materializar con dos etapas contiguas de 225 m de largo y 225 m de ancho, de modo de cumplir con las recomendaciones necesarias para estas instalaciones.

Impermeabilización de fondo y recogida de lixiviados y pluviales

La impermeabilización del fondo del relleno de las cenizas de incineración consiste de varias capas de distintos materiales que cumplen diversas funciones. A continuación se describe un posible sistema de impermeabilización, adecuado para el proyecto planteado.

Resulta fundamental aclarar que al momento de la instalación, el sistema de impermeabilización planteado deberá instalarse en etapas. En particular se realiza la instalación del sistema de impermeabilización para la zona sobre la cual se va a trabajar durante un tiempo establecido, y una vez cubierta la misma, se sigue con la zona contigua.

Inicialmente se coloca una capa de arcilla de 60 cm compactada que impide la infiltración. También resulta útil como material soporte para la siguiente capa de recubrimiento, ya que brinda una superficie uniforme y resistente. Dependiendo del tipo de material existente en la zona donde se realice el relleno, se deberá traer el material de otra zona, o aprovechar el material excavado. A continuación se coloca una geomembrana cuyo espesor recomendado debe ser mayor o igual a 2 mm.



Figura 55: Membrana de impermeabilización.

Esta capa es impermeable y asegura que no exista infiltración de agua o materiales. Para realizar una correcta selección de la geomembrana se deben realizar una serie de revisiones mecánicas de acuerdo a las diferentes condiciones que se irán presentando durante la operación de la fosa para líquidos lixiviados. Sobre la geomembrana se coloca una capa de arena de 10 cm de forma de proteger la misma de la capa de grava que se coloca sobre ellas. La capa de grava es de aproximadamente 30 cm. Este material drenante debe ser soporte de las tuberías de recolección de lixiviados. Se coloca una capa de 10 cm sobre la cual se colocan las tuberías y luego se completan los 20 cm alrededor y sobre las tuberías. Es importante aclarar que en la etapa de construcción, para cada tubería debe colocarse una capa soporte de arena sobre el cual se colocan las mismas. Sobre la capa de grava se coloca una capa de geotextil, el cual retiene las partículas del suelo, permitiendo el libre pasaje del agua. Esta capa tiene aproximadamente 2 mm de espesor. Finalmente, para protección del geotextil contra la acción de equipos topadores y distribuidores, se procederá a tender sobre el mismo una capa de arena con un espesor mínimo de 30 cm, para que sirva como base de amortiguamiento y distribuidor de esfuerzos.

La recogida de lixiviados se considera con fondo de tuberías. Las tuberías se colocan de forma longitudinal encima de la capa de grava que se coloca sobre la geomembrana. Los tubos de recogida son de PVC 110 mm y tienen perforaciones sobre la mitad de la circunferencia espaciados de forma uniforme. La perforación que se realiza en la tubería corresponde al tamaño más pequeño de arena. Este dimensionado se considera de forma preliminar de modo de ajustarse luego a las condiciones del proyecto.

En la siguiente figura se puede observar una representación del sistema planteado.

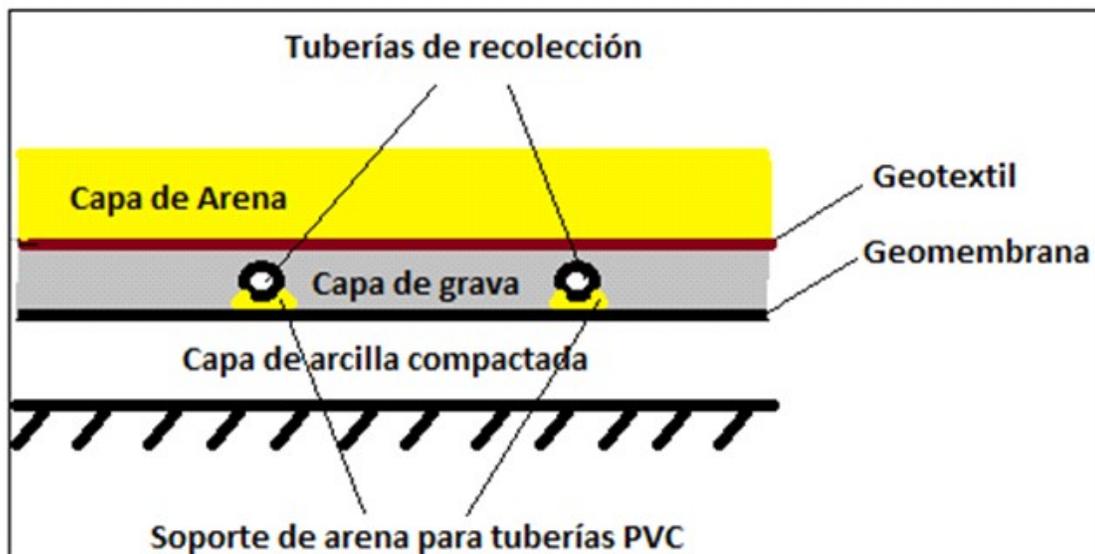


Figura 56: Impermeabilización y drenaje.

El diseño con tubería múltiple para la recogida de lixiviados asegura la rápida conducción del lixiviado del fondo del vertedero. Además, el uso de una capa de arena sirve para filtrar el lixiviado antes de recogerlo para su tratamiento. La primera capa de 1 m de cenizas, que se coloca directamente encima de la capa de arena no se compacta.

Para la etapa de proyecto también se debe tener en cuenta que el fondo debe tener una pendiente de entre 1,2 y 1,8 por 100¹⁵ de modo de lograr un drenaje efectivo.

Para estimar las necesidades de captación de pluviales se puede realizar una estimación del caudal máximo que aporta una cuenca de estudio como la correspondiente al relleno. En particular se debe analizar una cuenca de aporte asociada a las áreas de relleno que se definan, determinando el caudal en cuestión a partir del Método Racional. Dicho método es aplicable al caso de estudio ya que se tendrán las condiciones supuestas en sus hipótesis de trabajo.

Inicialmente se debe definir un período de retorno, para el cual se pueden utilizar los siguientes criterios:

- Gráficos que vinculan período de retorno, la vida útil de la obra y el riesgo de fallo. En éste caso habría que determinar el riesgo de fallo en función de la ubicación del relleno, principalmente.
- Tiempo que puede permanecer inundado.
- Dependiendo las etapas en que se construya, el riesgo de fallo y las áreas a utilizar tienen distintos puntos a evaluar.

El Método Racional define el $Q_{max} = c * i * A / 360$

Siendo:

- c: coeficiente de escorrentía
- i: intensidad uniforme para toda la cuenca para una duración igual al tiempo de concentración (mm/h)
- A: área de la cuenca (Hás)
- Q: caudal máximo (m³/s)

Para determinar el tiempo de concentración se puede utilizar la ecuación de Kirpich:

$$T_c = 0,066 * L^{0,77} / S^{0,385}$$

15 Tchobanoglous, 1994.

Siendo:

- Tc: tiempo de concentración (horas)
- L: longitud hidráulica de la cuenca (Km)
- S: pendiente (m/m)

Es importante tener en cuenta que la ecuación de Kirpich considera condiciones necesarias para su aplicación similares a las que se tendrán en el predio de trabajo.

Luego se pueden utilizar los ajustes realizados en función de series históricas de precipitaciones para el Departamento de Montevideo, de modo de determinar la intensidad en función del tiempo de concentración y el período de retorno. Dicho ajuste permite calcular la intensidad como: $I = a \cdot t^b$, siendo t la duración de la tormenta en minutos, a y b los coeficientes ajustados en función de la duración y el período de retorno de la tormenta.

Una vez obtenida la intensidad, resta determinar el área que se va a utilizar y el coeficiente de escorrentía. Para el coeficiente de escorrentía se utilizan datos de bibliografía que se ajusten a la situación final que se obtenga.

Sistema de venteo de gases

El sistema de captación que se considera para este caso de estudio son las chimeneas perimetrales para la extracción del gas y para el control de olores. Normalmente las chimeneas perimetrales se utilizan en rellenos con profundidades de residuos sólidos de por lo menos 8 m, cuando la distancia entre el relleno y la urbanización más cercana es relativamente pequeña. Se trata de una serie de chimeneas verticales instaladas o bien dentro del relleno a lo largo de su borde o bien en la zona localizada entre el borde del relleno y el vallado del lugar. Con esto se mitiga la generación de olores, que es probable en este tipo de rellenos.

Las tuberías de extracción serán en PVC 110 mm colocadas en perforaciones de entre 45 y 90 cm en la primera celda, de modo que su fondo quede alejado de las capas de impermeabilización. Del primer tercio a la mitad inferior, la tubería se perfora y se coloca sobre un relleno de grava. El resto de la tubería no se perfora y se coloca en un relleno de tierra o cenizas. Se espacian las chimeneas para que sus zonas de influencia se superpongan. En la zona superficial una vez que se realiza el recubrimiento superior, la tubería sobresale aproximadamente 20 cm sobre el nivel del terreno, colocándose un sombrerete de chimenea en el extremo de la tubería.

Recubrimiento superior

Para la cubierta final del tercer nivel de celdas, deberá colocarse una capa de material de cobertura de 30 cm compactado y posteriormente una de tierra con un espesor mínimo de 60 cm y de preferencia rica en materia orgánica. La función de la cobertura es evitar los malos olores, completar el confinamiento de los residuos y establecer las condiciones propicias para la plantación de cubierta vegetal. Es importante cumplir con los espesores de cada capa, de forma que las raíces no penetren hasta la profundidad del relleno de cenizas.

En la siguiente figura se puede observar un croquis del recubrimiento final del relleno.

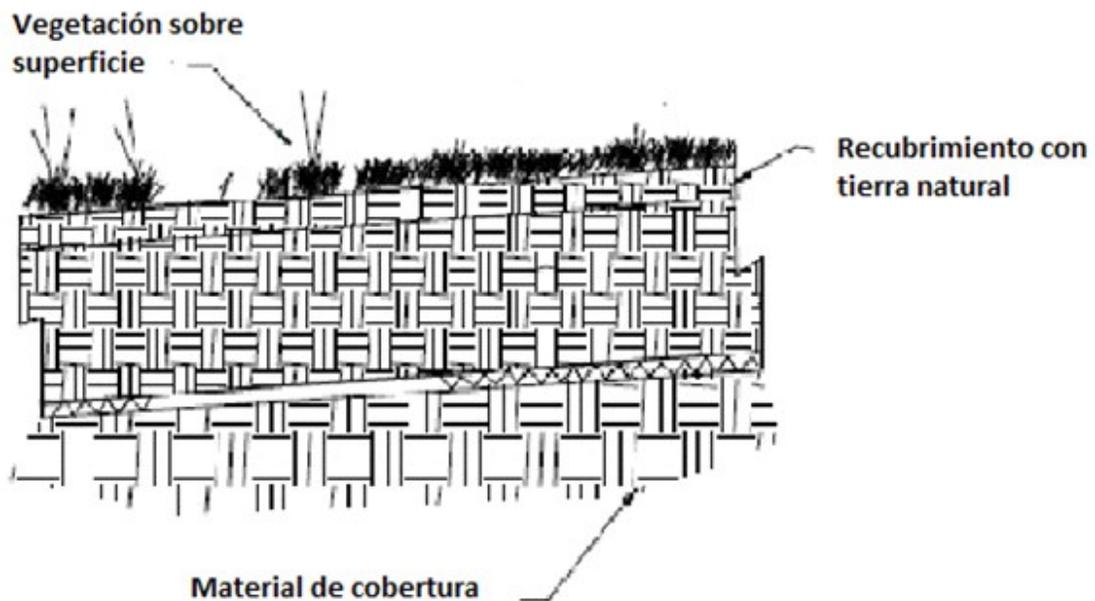


Figura 57: Recubrimiento superficial.

7. Análisis de costos de la alternativa preseleccionada

7.1. Planta de clasificación de materiales reciclables

7.1.1. Ingresos

Con el fin de estimar los ingresos obtenidos al operar la planta de clasificación de materiales reciclables proyectada, resulta fundamental conocer dos aspectos de nuestra realidad local, estos son:

- El mercado existente para la comercialización de los materiales recuperados.
- El precio de venta actual, pasado y esperable en el futuro de dichos materiales.

Mercado del reciclaje

Un estudio realizado en el año 2003¹⁶ acerca del mercado del reciclaje en Uruguay estima las cantidades comercializadas y los precios de venta para cada material recuperado. Los resultados se resumen en la siguiente tabla:

<u>Mercados de productos reciclados</u>		
	VOLUMEN (toneladas)	MONTO (us\$)
1. Vidrio	5.170	1.070.500
<i>Roto o descarte</i>	2.844	8.500
<i>Reuso</i>	2.326	1.062.000
2. Metales	55.561	5.450.000
2.1. Aluminio	1.659	1.185.000
2.2. Cobre	2.038	2.200.000
2.3. Bronce	1.864	1.330.000
2.4. Plomo	---	---
2.5. Hierro	50.000	735.000
3. Papel y cartón	51.620	5.750.000
4. Trapo	500	230.000
5. Plástico	6.052	223.000
<i>PET</i>	2.950	43.000
<i>Demás</i>	3.102	180.000
TOTAL	118.903	12.723.500

Tabla 17: Mercado de productos reciclados.

¹⁶ Estudio de Mercado: Materiales reciclables de residuos sólidos urbanos. Informe final, 2003.

En el citado trabajo, los valores calculados para cada uno de los mercados se obtuvieron a través de la aplicación de los precios de venta obtenidos por los depósitos o intermediarios de ese nivel a los pesos estimados que se comercializan efectivamente en cada mercado.

En el proceso de reciclaje de un material existen diferentes niveles de comercialización en los cuales se pagan diferentes precios por una misma cantidad de material. Esto se resume en la siguiente tabla:

Precios de productos de reciclaje (\$ de marzo de 2003)

	Unidad	Niveles de comercialización		
		Clasificador	Depósito	Fase superior
1. Vidrio				
<i>Roto o descarte</i>	\$/kg.	--	--	0,10
<i>Reuso</i>	\$/ud. (botella)	1	2,50	1
2. Metales				
2.1. Aluminio	\$/kg. (limpio)	14	20	20
2.2. Cobre	\$/kg. (limpio)	26	30	32
2.3. Bronce	\$/kg. (limpio)	15	20	20
2.4. Plomo				
<i>Baterías</i>	\$/kg.	1	1,50	1,50
<i>Antimonial</i>	\$/kg.	6	7	7
2.5. Hierro	\$/kg. (limpio)	0,10		
<i>Liviano</i>	\$/kg. (limpio)	0,10	0,30	0,30
<i>Medio</i>	\$/kg. (limpio)	0,10	0,44	0,44
<i>Pesado</i>	\$/kg. (limpio)	0,10	0,52	0,52
2.6. Latón	\$/kg. (limpio)	0,15		
3. Papel y cartón				
<i>Blanco sin impresión</i>	\$/kg.	2,50	3,50	3,50
<i>Blanco impreso</i>	\$/kg.	2	2,20	2,20
<i>Color o diario</i>	\$/kg.	1	1,30	1,30
<i>Cartón</i>	\$/kg.	1	1,30	1,30
4. Trapo	\$/kg. (limpio)			
<i>Color</i>	\$/kg. (limpio)	1,50	2	2
<i>Blanco</i>	\$/kg. (limpio)	5	7	7
5. Plástico				
<i>PET</i>	\$/kg.	--	2,50	3
<i>Film de PE</i>	\$/kg. (limpio)	1	3,50	3,50
<i>Bolsas de lana</i>	\$/kg.		5	5
<i>Rígidos PEAD, PEBD y PP</i>	\$/kg. (limpio)	1	3	3

Fuente. Entrevistas a operadores de los mercados de reciclado.

Tabla 18: Niveles de comercialización.

En el mencionado trabajo se sugiere que, en diversos mercados, no hay necesidad de hacer inversiones importantes o incorporar procesos complejos para alcanzar las etapas superiores de comercialización del mercado del reciclaje. Sólo se trata de efectuar procesos simples y en la mayoría de los casos lograr ofrecer mayor cantidad de material. Se estima que existe una diferencia de entre el 30 % y el 40 % entre el precio que los clasificadores pueden obtener en la actualidad por la venta del residuo clasificado y el que podrían alcanzar en una fase o dos superiores a las que pueden acceder hoy individualmente. En la planta proyectada se busca alcanzar altos precios de venta de los materiales recuperados. Para lograr este objetivo se debe tener un eficiente proceso de clasificación, logrando una buena separación de cada material del flujo de residuos reciclables, intentando que los mismos se encuentren en el mejor estado posible (esto depende fuertemente de la eficiencia de clasificación de la población generadora) y acopiando cantidades suficientes como para lograr un mayor precio de venta por unidad. Esto refleja que, de integrarse clasificadores informales al personal de clasificación, los precios de venta obtenidos por unidad en la planta serán superiores a los que logran hoy en día los clasificadores trabajando de forma individual.

El Relevamiento Nacional de actividades de reciclaje¹⁷ indica la cantidad de emprendimientos dedicados a trabajar con materiales reciclables tanto en su recolección (recolección, acondicionamiento, compra-venta) como en su transformación (procesos de reciclaje sobre los materiales recogidos). La información relevada se resume en la siguiente tabla:

Cantidad de empresas vinculadas al reciclaje de residuos sólidos urbanos

	Recolección	Transformación
Papel y cartón	9	7
Trapo	1	--
Metales	20	8
No ferrosos	--	5
Ferrosos	--	1
Ambos	20	2
Vidrio	3	1
Plástico	2	23
PET	1	2
Otros	1	21
Otros	6	6
Aceite vegetal	1	1
Recipientes	5	1
Caucho	--	2
Compostaje	--	1
Biogas	--	1
TOTAL	41	45

Tabla 19: Número de empresas vinculadas al reciclaje.

17 CEMPRE, 2000.

La planta proyectada deberá interactuar con los emprendimientos dedicados a la transformación de los materiales reciclables de forma de comercializar los materiales una vez acondicionados y acopiados.

El Censo de Clasificadores de la Ciudad de Montevideo (año 2002) es de gran ayuda para conocer mejor a este sector importante en el mercado del reciclaje. Se relevaron 5177 clasificadores en su mayoría hombres. Poco más de la mitad realiza su actividad en la mañana, mientras que el resto se reparte en partes iguales entre la tarde y la noche. Poco más del 70 % trabaja entre 5 y 7 días a la semana y cerca de la mitad lo hacen entre 6 y 10 horas al día. En el citado informe se estimó que el número de clientes fijos es aproximadamente 17500, entre los cuales hay empresas, edificios y bares, entre otros. Aproximadamente un 70 % de los clasificadores realizan la tarea de clasificación en sus hogares. Los depósitos y las ferias son los principales puntos de venta del 97 % de los clasificadores censados (62,5 % y 34,5 % respectivamente). La información acerca del trabajo de este sector por tipo de residuo se resume en el siguiente cuadro:

Residuos recolectados y clasificados

	Número de clasificadores	Cantidad clasificada	
		ton./semana	ton./año
Papel y cartón		735	38.282
Papel	2.335	348	18.120
Cartón	2.557	387	20.162
Metales		493	25.646
Cobre	4.340	26	1.338
Bronce	4.316	36	1.864
Aluminio	4.277	30	1.544
Chatarra	2.761	401	20.900
Alimento	2.791	439	22.876
Vidrio	1.183	44	2.309
Plástico	1.174	53	2.750
Trapo	2.335	75	3.931
Otros		28	1.473
Hueso	131	4	212
Lana	1.245	19	992
Cuero	475	5	269

Tabla 20: Residuos recolectados y clasificados por clasificadores.

Seguidamente se presentan, por tipo de material, un resumen de los emprendimientos existentes dedicados a su reciclaje y una breve descripción de algunos de ellos.

Vidrio.



Figura 58: Reciclaje de vidrio (Fuente: www.cempre.org.uy).

COCLAM:

Organización de clasificadores enmarcada en la Organización San Vicente (Obra del Padre Cacho). La cooperativa de clasificadores COCLAM (Cooperativa de Clasificadores Ambientales) lleva adelante este emprendimiento desde mayo del 2004, en el marco de un convenio OSV-IM “Recolección de servicios especiales”. Realiza la recolección de residuos de grandes generadores considerados no domiciliarios. Además realiza la clasificación de los residuos recolectados recuperando materiales que son nuevamente insertados en el mercado.

Juan Cacharpa – Cooperativa de clasificadores:

Es una cooperativa de clasificadores, tiene trece integrantes y se creó en enero de 2005, pero recién en agosto de 2006 comenzó a ser rentable, a partir de un convenio con la IM a través del cual recibe todos los días un camión de residuos para clasificar. Un gran logro de este emprendimiento fue haber organizado un circuito limpio de recolección en la Cooperativa

de viviendas Zona 3 de Cruz de Carrasco, donde cada familia realiza una disposición selectiva (orgánicos e inorgánicos) de los residuos que genera.



Figura 59: Cooperativa Juan Cacharpa (Fuente: www.produccionnacional.com.uy).

Rotondaro:

Se autocalifica como una empresa familiar, surgida en el año 1923. Se dedica a la compra de distintos materiales en desuso.



Figura 60: Rotondaro (Fuente: www.rotondaro.com.uy).

Una vez que el material llega a la empresa, éste es sometido a un proceso de selección en el que se separa el papel y el cartón de los demás elementos. Inmediatamente se procede a la trituración del papel y cartón separado para asegurar que no pueda reconocerse la procedencia y/o el contenido de los mismos. El papel y el cartón finalmente se ingresan a una enfardadora obteniéndose un producto listo para ser enviado al proceso industrial.



Figura 61: Proceso de clasificación (Fuente: www.rotondaro.com.uy).



Figura 62: Enfardadora (Fuente: www.rotondaro.com.uy).

La empresa cuenta con una flota de camiones para la recolección de los materiales reciclables. El retiro se hace a domicilio cuando se trata de cantidades mayores a las 2 toneladas. Cantidades menores se reciben en la empresa.

Metales.



Figura 63: Reciclaje de metales (Fuente: www.cempre.org.uy).

Depósito Pedernal:

Este depósito compra todo tipo de materiales reciclables. Cuenta con una máquina trituradora capaz de procesar 8 toneladas de papel por hora. Los productos que genera son: papeles y cartones clasificados, triturados y compactados que son vendidos como materia prima a industrias papeleras; materiales plásticos compactados y clasificados según la codificación internacional. Además, este depósito compra todo tipo de chatarra ferrosa.

Werba:

Esta empresa trabaja con metales no ferrosos. Se realiza la separación y compactación del material que llega en forma de chatarra, que luego es fundido y hecho lingotes, o comercializado en industrias manufactureras nacionales y/o exportado al resto del mundo.

Gerdau Laisa:

Es una empresa del sector siderúrgico uruguayo que se dedica a la producción de acero partiendo de chatarra como materia prima y transformándola en diversos tipos de barras comerciales.

Fanaproqui:

Fue fundada en el año 1951. Se dedica a la fabricación y comercialización de fungicidas para la agricultura. Su principal línea de producción está dedicada a la elaboración de sales de cobre, utilizadas fundamentalmente a nivel agrícola por sus propiedades fungicidas. También son empleadas a nivel industrial y como complemento nutritivo en raciones animales. Parte del cobre utilizado en la producción proviene de los residuos sólidos.

Papel y cartón:



Figura 64: Reciclaje de papel y cartón (Fuente: www.cempre.org.uy).

Ceadu – Repapel:

CEADU (Centro de Estudios, Análisis y Documentación del Uruguay) es una asociación civil sin fines de lucro fundada el 20 de setiembre de 1990.

Proyecto Repapel:

Repapel es un programa de educación ambiental basado en buenas prácticas de recolección y reciclaje de papel y cartón de desecho en escuelas públicas, principalmente de Montevideo. Actualmente se desarrolla en más de 50 escuelas con la participación de más de 60 empresas y organizaciones que ofrecen su papel de desecho para el programa.

Pamer:

Empresa productora de papeles para corrugar, papeles de embalaje y todo tipo de envases de cartón corrugado. Consume fibras recicladas provenientes de cajas de cartón corrugado usadas, las que utiliza para fabricar sus papeles.

Plásticos.



Figura 65: Reciclaje de plásticos (Fuente: www.cempre.org.uy).

Ecopet S.A.:

En abril del 2002 comenzó su actividad industrial en el área del reciclaje de envases de PET (tanto post-consumo como post-industrial). Realiza desde la recolección de envases post-consumo hasta la comercialización de escamas para uso industrial. La recolección de envases plásticos realizada por la empresa es gratuita. El PET de los envases recogidos se clasifica, muele, lava y seca para el uso comercial o exportación del producto ya transformado en materia prima.

7.1.2. Costos

Los costos a analizar en el proyecto de la planta de clasificación de materiales reciclables se dividen en:

- Costo de equipos
- Salarios del personal de clasificación

Costos de equipos

Se realizó una búsqueda de información comercial acerca de los costos de los diferentes equipos que forman parte de la planta. La información recabada se resume a continuación:

Equipamiento	Cantidad necesaria	Costo unitario (USD)	Costo (USD)
Balanza	1	30000	30000
Cintas de clasificación	16	1000	16000
Cuchillas para rotura de bolsas	2	20000	40000
Imán	2	1000	2000
Tamiz rotativo	2	5500	11000
Recipientes para residuos	136	100	13600
Compactadoras de residuos	10	5000	50000
Auto elevadores	3	12000	36000
Volquetas	93	450	41850

Tabla 21: Costos de equipos.

De acuerdo a la información presentada en la tabla anterior, el costo total del equipamiento necesario en la planta se puede estimar en USD 250000.

Salarios del personal de clasificación

El personal necesario para la clasificación de los residuos reciclables fue estimado en 204 personas. Si se supone que cada clasificador recibirá un salario equivalente al de un peón insalubre, según los laudos vigentes a partir del 01/10/2011 (\$ 760/d), el gasto mensual en salarios para el personal de clasificación será: \$ 4.638.000.

7.2. Planta de incineración

Para la definición de costos en la planta de incineración, se estiman algunos en función de las unidades definidas para el proceso. Por otro lado se estiman también costos asociados a la operativa de la planta para el tipo de tecnología utilizada. También se realizan las consideraciones correspondientes a los réditos que se obtendrían en los procesos de generación de energía para su comercialización o utilización en los procesos.

Para la estimación de algunos de los costos se utiliza como referencia un trabajo presentado recientemente ante la DINAMA que analiza el tipo de tecnología planteado para el presente trabajo. Algunos ajustes de precios son preliminares, ya que al ser un tipo de emprendimiento que no tiene proyectos similares en el país, ajustar los valores con los que se trabaja en otros países difícilmente se aproxime de forma cercana a la realidad nacional.

7.2.1. Ingresos

Relativo a éste punto existen 2 elementos fundamentales que incidirán fuertemente en la viabilidad del proyecto al momento de analizarla. Por un lado hay que considerar los beneficios asociados a la generación de energía (a modo de análisis se puede definir a partir de las estimaciones de energía eléctrica). Por otro lado se presenta la comercialización de los bonos de carbono generados por un emprendimiento de éste tipo. Como tercer elemento se deberá tener en cuenta la contribución económica de los ciudadanos que se beneficien de los servicios de la planta de incineración, los cuales serían transferidos a través de la municipalidad.

En cuanto a la generación de energía, se puede considerar la aproximación realizada en capítulos anteriores, donde se estimo para los residuos no reciclables, una generación eléctrica de 51 GWh/año. Es importante destacar, que un emprendimiento que implique generación de energía de cierto porte, debería negociar con el comprador de la misma, de modo de asegurarse un precio determinado. A su vez, la generación de energía se vincula a energía eléctrica de modo de obtener un monto medible, a pesar de que podría ser utilizada de otra forma, como se aclaró previamente.

Por lo tanto se podría estimar el ingreso obtenido en USD 5,1 millones anuales, estimando un valor de compra de USD 100/MWh.

Respecto a los bonos de carbono, ocurre que Uruguay podría presentar un emprendimiento de este tipo como un Mecanismo de Desarrollo Limpio. Teniendo en cuenta que el mismo cumple con las especificaciones necesarias, se podría tomar en consideración los beneficios económicos que esto significa. Para el caso de la incineración de residuos se estima que la venta de bonos de carbono se puede traducir en USD 12/ton aproximadamente¹⁸. Si bien este valor se deberá ajustar en función de las características de los materiales incinerados, se toma el valor de 475 ton/día que llegarían a la planta de incineración para ajustar con el precio mencionado. Por lo tanto a partir de la venta de bonos de carbono, se estima que se podría tener un beneficio aproximado de USD 2,1 millones anuales.

7.2.2. Costos

Costos de instalación

En esta sección se aproximan los costos en función de los equipamientos a utilizar para realizar los procesos de incineración. Será necesario además agregar costos relativos a la adquisición y adecuación de los predios, infraestructura de trabajo para el personal, entre otros puntos.

En la Tabla 22 se presentan los costos aproximados para algunos de estos componentes.

Componente del proceso	Precio (millones de USD)
Edificios y chimenea	87
Parrilla, caldera, suministro de aire, manejo de cenizas, instalaciones mecánicas y eléctricas	178
Generador de turbina	43
Sistema de tratamiento de gases	43
Sistemas de contingencias	43

Tabla 22: Precios por componente.

En la bibliografía se sugiere que parte de estos costos serían más bajos para países como el nuestro. En principio, los costos de instalación deberían ser analizados en particular, ya que los costos y las modalidades de importación de estos elementos significarían a su vez costos que pueden ser contrarrestados con algunos de los que disminuirían en nuestro país.

¹⁸ Estudio de Pre-Factibilidad técnica y económica para la instalación de capacidad de generación de energía a partir de residuos (WTE) en Uruguay. N.J. Themelis, M.E. Diaz Barriga. Enero, 2012.

Costos de operación

En este caso se describen algunos de los insumos necesarios para la operación de la planta. Se observa nuevamente que deberían ser considerados elementos que surgen del conocimiento de la operación diaria.

En la Tabla 23 se presentan varios de los costos de operación que demandan las plantas de este tipo.

Actividad	RSD (Ton/día)	USD/Ton	Precio (millones de USD/año)
Productos químicos	475	4	0,7
Tratamiento de gases	475	8	1,4
Mantenimiento	-	-	8,85
Varios	475	2	0,35
Contingencias	-	-	0,62

Tabla 23: Precios por actividad.

Otro componente relevante en los costos sería el asociado a los salarios del personal, el cual deberá ser definido con precisión una vez que se conozcan los detalles operativos de la planta de incineración. Serán importantes los procesos de capacitación asociados para los mismos, de modo de tener un equipo de trabajo que maneje con seguridad los riesgos relativos a sus tareas.

7.3. Celda tipo para cenizas de incineración

7.3.1. Costos

Se realiza una estimación de costos asociados al relleno sanitario que corresponde a la celda tipo sugerida. Un emprendimiento de este tipo tendrá costos directos (referidos a la operación diaria e inversiones puntuales) e indirectos (asociados a su planificación y administración). En el primer caso se toma el grueso de las actividades asociadas, de modo de estimar los costos reales de los procedimientos definidos y sugerir criterios para estimar las operaciones que dependen de otros elementos (ubicación del emprendimiento, por ejemplo). Para el segundo caso también se trabaja con criterios vinculados a ejemplos de emprendimientos similares. A continuación se presentan los costos estimados así como también las sugerencias y criterios considerados, de modo de poder definir los mismos una vez que se tenga la ubicación del emprendimiento y su sistema de trabajo diario.

Costos directos

Maquinaria utilizada.

En primer lugar se define la cantidad y tipo de maquinaria necesaria para la operación diaria. Considerando los volúmenes de trabajo definidos, se pueden cubrir las necesidades operativas con: 1 pala cargadora, 1 motoniveladora, 2 camiones, 1 compactador tipo pata de cabra (del tipo con doble rueda delantera y trasera) y 1 bulldozer. Se toma el criterio de contar con una pala cargadora y una compactadora de reserva.

Se presentan los precios en el formato de costo mensual, el cual incluye maquinista y combustible.

Maquina	Costo (USD/mes)
Pala cargadora	6150
Motoniveladora	7700
Compactador pata de cabra	8450
Camión (2)	8450
Bulldozer	10800

Tabla 24: Costo de maquinaria.

Impermeabilización de fondo y recolección de lixiviados.

Respecto a este ítem, es importante destacar que supone ser uno de los elementos más costosos del emprendimiento. Primeramente se describen los precios de cada material:

Material	Costo
Arcilla	350 (\$/m ³)
Arena	600 (\$/m ³)
Grava	800 (\$/m ³)
Geomembrana	185 (\$/m ²)
Geotextil	65 (\$/m ²)
Tuberías PVC	218 (\$/tramo de 8 m)

Tabla 25: Precios de materiales.

Como se describió en capítulos previos, la instalación se realizará por etapas, ya que no resulta conveniente realizar en conjunto todo el recubrimiento de superficie para la totalidad de la vida útil. Por lo tanto al momento de analizar cómo se harán los avances, se definirán los tramos de recubrimiento. Teniendo en cuenta este punto se determina el costo por metro cuadrado del sistema de impermeabilización y drenaje de fondo. A partir de los costos relevados, se puede estimar un valor de USD 50/m² para las características propuestas.

A su vez se deberán determinar costos de instalación para las distintas etapas, aunque es importante aclarar que para el caso de la geomembrana y el geotextil se relevaron los costos del material ya instalado.

Recubrimiento superficial.

Serán necesarias dos capas de distintos materiales. En el caso del material de recubrimiento, su costo se podrá definir una vez que se defina el tipo de material para recubrimiento a utilizar. A esto habrá que agregar el rubro del terreno superficial a colocar, cuyo costo también dependerá de la procedencia del mismo. Finalmente hay que agregar los costos de colocación y compactación, así como también los costos de plantación de capa vegetal.

Venteo de gases.

Los elementos que conforman el sistema de venteo de gases son una capa de grava, tubería de PVC de 110 mm y un sombrerete. Por lo tanto su costo será estimado en función de los costos individuales de cada elemento multiplicado por la cantidad de pozos de ventilación

necesarios. Además se deberá sumar los costos asociados a la operativa de construir cada uno de los tramos de la tubería.

Como forma orientativa se presentan los costos de materiales que corresponden a una perforación tipo.

Elemento	Costo
Tubería PVC 110 mm	\$ 270
Capa de grava	\$ 8
Sombrerete	\$ 100

Tabla 26: Precios de materiales.

Costos indirectos

Balanza y caseta de pesaje.

Considerando la dinámica de trabajo que suponen las dimensiones del relleno propuesto, se propone instalar una balanza para pesaje. Un costo aproximado para éste tipo de artículos es de USD 30.000. Por otro lado se deben considerar los costos asociados a una caseta de registro, donde se encuentre el display de la balanza y una persona tome el registro de los pesos, a la vez que visualice las condiciones del camión que ingresa al predio.

Caminería interna y alumbrado.

Estos costos dependerán fuertemente de la localización del emprendimiento y su distribución general. Por lo tanto se estimarán una vez definido este punto.

Oficinas administrativas.

Será necesaria una oficina, que se puede suponer del tipo de contenedores. Dentro de este costo se deben incluir los asociados a su equipamiento de trabajo. Además deben incluirse los baños necesarios dentro de este rubro. Se puede estimar un costo de USD 10.000 para la oficina con su equipamiento.

Taller y cobertizo de maquinaria.

Estas instalaciones dependerán fuertemente de la disposición de la infraestructura que se logre, en función del terreno definido para la localización. A su vez, dependiendo de cuál sea el formato de adquisición de la maquinaria, el tipo y la envergadura del taller a construir puede variar considerablemente.

Personal.

De forma preliminar se puede definir el personal necesario para cubrir las distintas áreas de trabajo. De todas formas, para estimar un costo total de este rubro, es necesario conocer la dinámica de operación con otro nivel de precisión.

Puesto	Total
Residente General	1
Auxiliar Administrativo	1
Coordinador Operativo	1
Secretaria	1
Básculista	1
Analista	1
Chofer de camioneta.	1
Mecánico	2
Ayudante de maquinaria pesada	1
Operador de Maquinaria	5
Chofer de volteo	4
Auxiliar de chofer	1
Acomodador	1
Checador de material de cobertura	1
Checador de Maquinaria	1
Velador	1
Vigilante	2
Almacenista	1
Topógrafo	1
Cuadrilla de topografía	2
Brigada de limpieza	4
TOTAL	34

Tabla 27: Personal para Relleno Sanitario.

8. Análisis ambiental estratégico

Para los diferentes subproyectos que componen el proyecto, se analizan las consecuencias que suponen desde el punto de vista ambiental. En particular se consideran los grandes componentes que forman cada subproyecto, con el fin de describir las características de cada uno de ellos. A su vez, se busca obtener un resultado global de este análisis, de modo que permita efectuar una comparación con la alternativa 0, es decir, mantener la solución actual.

Los subproyectos que se distinguen son: Planta de Clasificación (**PC**), Planta de Incineración (**PI**) y Relleno Sanitario para Cenizas de Incineración (**RSCI**). Los distintos componentes a analizar son: Insumos, Emisiones, Mano de Obra, Costos y Beneficios y Ubicación.

A continuación se analizan los distintos componentes seleccionados, evaluando en cada caso, algunos de los elementos que los caracterizan.

Componente	Elemento	PC	PI	RSCI
Insumos	Material de cobertura	No se requiere en este subproyecto.	No se requiere en este subproyecto.	Implica transporte de materiales dentro del predio así como también acarreo del material a la ubicación del mismo. Puede ocasionar generación de polvo y ruido en el ambiente. También aumento del tránsito pesado en la zona de influencia. Se debe considerar acondicionar caminería de forma de disminuir los efectos mencionados. También recubrir camiones para disminuir generación de polvos.
	Energía eléctrica	Consumo para funcionamiento diario de maquinaria e infraestructura. Alto consumo energético. Posible alimentación desde la planta de incineración.	Consumo para funcionamiento diario de maquinaria e infraestructura. Alto consumo energético. Posible alimentación desde la planta de incineración.	Consumo básico de infraestructura. Bajo consumo energético. Minimización del consumo relativo a posibles planes de ahorro energético.
	Equipamiento	Generación de residuos asociados al mantenimiento frecuente debido al gran desgaste del equipamiento. Protocolos de trabajo y de uso del equipamiento pueden significar importantes ahorros y aumentar su vida útil.	Necesidades elementales de equipamiento. Protocolos de trabajo y de uso de equipamiento pueden significar importantes ahorros y aumentar su vida útil.	Necesidades elementales de equipamiento. Deterioro importante debido a las condiciones de uso de los mismos. Protocolos de trabajo y de uso de equipamiento pueden significar importantes ahorros y aumentar su vida útil.
	Maquinaria	Mantenimiento adecuado para obtener las características de operación previstas en el diseño y prolongar su vida útil. Impactos ambientales en la generación de ruidos en sitios de trabajo,	Mantenimiento adecuado para obtener las características de operación previstas en el diseño y prolongar su vida útil. Generación de residuos provenientes del mantenimiento mencionado (aceites,	Mantenimiento adecuado para obtener las características de operación previstas. Conexión de las aguas de lavado de máquinas con la planta de tratamiento de lixiviados.

		las cuales deberán ser previstas en las instalaciones de infraestructura. Se deberá cumplir con los estándares previstos para este ítem.	piezas mecánicas, etc.). Protocolos de trabajo necesarios para este punto.	
	Residuos que recibe	Bajo potencial contaminante del material recibido, el cual se restituye a una cadena productiva o se descarta a la planta de incineración. Riesgo alto por contacto directo. El transporte del material hacia la planta debe planificarse eficazmente. Se requiere una cuidadosa descarga en las cintas para evitar la caída de residuos fuera de las mismas, ocasionando el esparcimiento de residuos en el predio.	Las características de los contaminantes de los residuos recibidos deben contemplarse en los sistemas de tratamiento de las emisiones producidas. Dichas emisiones deben cumplir con los estándares establecidos. Bajo riesgo por contacto directo con operadores.	Debe realizarse un manejo adecuado del material recibido debido a posibles voladuras del mismo. También debe considerarse un manejo adecuado por posible generación de olores. El transporte del material hacia el relleno debe planificarse eficazmente. Se puede humedecer el material a fin de disponer de manera de disminuir la voladura de cenizas.
Emisiones	Efluentes líquidos	Solamente los provenientes de lavado de piso y equipos. Requiere etapa de pretratamiento (tratamiento físico).	Efluentes con contaminantes provenientes de los residuos y de los productos químicos vinculados a los procesos de operación. Requieren un sistema de tratamiento que permita disponerlos cumpliendo con los estándares de vertido establecidos en el Decreto 253/79.	Efluentes con concentraciones de contaminantes variables. Requieren de un tratamiento específico para cumplir con los estándares de vertido establecidos en el Decreto 253/79.
	Gases	No se liberan por la operación del	Generación liberada del	Generado por la degradación de la fracción orgánica que no

		subproyecto.	de los residuos. Estos gases tienen potenciales nocivos en la salud humana y el ambiente (irritación del sistema respiratorio, problemas cardiovasculares, producción de lluvia ácida, entre otros). Debe preverse el tratamiento de los mismos previo a su liberación al ambiente. Se debe cumplir con los estándares sugeridos para este tema, en particular los estándares de emisión para plantas de incineración.	ha llegado a incinerarse. Provoca principalmente generación de olores y emisiones de contaminantes a la atmósfera. Se debe considerar un sistema de venteo de gases de modo de disminuir la generación de olores.
	Polvo	No se presenta como una emisión esperable del subproyecto. Posible generación de polvo en caminería de acceso. Se debe prever pavimentación o medidas de mitigación (ej. riego de caminería).	No se presenta como una emisión esperable del subproyecto. Posible generación de polvo en caminería de acceso y en la zona de retiro de cenizas de incineración. Se debe prever pavimentación o medidas de mitigación (ej. riego de caminería).	Debe ser previsto en el transporte y manejo tanto de las cenizas como de los materiales de cobertura. Disminuyen la calidad del aire de la zona del emprendimiento y sus alrededores. Las condiciones de operación deben garantizar minimizar su generación.
	Ruido	Generación de ruido en varias etapas del proceso (motores de cintas, carros, compactadoras, entre otros). Deben contemplarse equipos de protección personal para operarios, así como también los elementos de infraestructura que ayuden a minimizarlos. A su vez se debe cumplir con los niveles de	Generación de ruido por parte del equipamiento y la maquinaria utilizada. Deben contemplarse los equipos de protección personal para operarios, así como también los elementos de infraestructura que ayuden a minimizarlos. A su vez se debe cumplir con los niveles de ruido permitidos para lugares de trabajo.	Su generación se debe principalmente a la maquinaria pesada utilizada. Deben contemplarse los equipos de protección personal para operarios.

		ruido permitidos para lugares de trabajo.		
	Olor	Posible generación de olores en la zona de descarga de residuos y en la zona de clasificación. Deben contemplarse sistemas que minimicen los mismos, así como también ventilación adecuada y protección personal de los operarios.	Prever que el foso de descarga esté en depresión y aprovechar los gases liberados para la combustión primaria. En cuanto a los gases derivados de la combustión, se debe prever su tratamiento, de modo de minimizar también la generación de olores.	Se debe diseñar el venteo de gases de modo que permita una evacuación rápida y segura del olor provocado por el biogás.
	Energía	No se genera energía.	Producto de la planta de incineración. Debe preverse su utilización de modo eficiente. Disminuye la generación de energía a partir de otras fuentes.	No se genera energía.
	Material recuperado	Permite retornar a un proceso productivo materiales que habían sido descartados. Debe preverse una adecuada preparación del mismo para su colocación en el mercado. Resulta ambientalmente recomendable.	No se recupera material.	No se recupera material.
Mano de Obra	Cantidad	Implica una cantidad importante de puestos de trabajo que apuntan a formalizar trabajadores que ya están en el sector.	Requiere una plantilla relativa a un proceso productivo con alto nivel de automatización.	Emprendimiento de escasa demanda de personal. Es importante tener todos los puestos cubiertos a diario.
	Calificación	Demanda de personal con calificación baja y media para la mayoría de las tareas.	Requiere una calificación media o alta para el manejo de la maquinaria instalada. Se debe prever una capacitación continua ya que no se trabaja con	Se requiere personal que domine el manejo de maquinaria pesada. A su vez, personal con calificación media y baja para diversas tareas y personal técnico específico en variadas áreas.

			tecnología desarrollada en el país.	
Costos y beneficios		Beneficios económicos asociados a la venta de materiales recuperados. Costos de funcionamiento de las instalaciones y equipamiento.	Beneficios económicos y ambientales asociados a la generación de energía. Se disminuye el volumen de residuos a disponer, disminuyendo sus costos de disposición final. Altos costos de inversión inicial para adquisición de la tecnología necesaria.	Bajos costos de disposición final de las cenizas. No se obtienen beneficios económicos. Existen beneficios ambientales al tratarse de un sistema de disposición final con minimización de emisiones al ambiente.
Ubicación		Bien operado, se trata de un emprendimiento con mínimas limitaciones respecto a su ubicación. Se debe tener en cuenta su accesibilidad. Es deseable que se localice junto a la PI.	Preferentemente se debe vincular a una zona de emprendimientos industriales. Se puede contemplar este punto en planes de ordenamiento territorial.	Su ubicación debe contemplar los criterios de localización relativos a emprendimientos de este tipo, considerando los atenuantes que derivan de sus características particulares, los cuales lo distinguen de un relleno sanitario de residuos sólidos.

Tabla 28: Análisis ambiental del proyecto propuesto.

Por otro lado se presenta un cuadro preliminar relativo a las condiciones actuales de los distintos componentes, acompañado de un análisis de los mismos para el proyecto propuesto, el cual integra los tres subproyectos descritos anteriormente. Se agrega también una propuesta de indicadores para cada elemento analizado, de modo de tener una referencia para poder describir el mismo en forma concreta. Dichos indicadores proponen relaciones que faciliten llevar un registro evolutivo, de modo que si sus valores están dentro de un rango o fuera de él se toman las medidas correspondientes.

Componente	Elemento	Indicador	Alternativa 0	Proyecto propuesto
Insumos	Material de cobertura	m ³ /día	La tapada de la celda se realiza de forma quincenal o mensual. Esto provoca generación de olores, presencia de aves y voladuras de materiales finos. La adquisición de una mayor cantidad de este material, puede generar emisiones de polvo durante el traslado de los mismos hacia el SDF.	Implica transporte de materiales dentro del predio así como también acarreo del material a la ubicación del mismo. Puede existir generación de polvos y ruidos en el ambiente. También aumento del tránsito en la zona de influencia. Se debe considerar acondicionar caminería de forma de disminuir los efectos mencionados. También recubrir camiones para disminuir generación de polvos.
	Energía eléctrica	KW/día	Consumo básico para infraestructura. Consumo bajo de energía.	Importante consumo energético, en particular para los emprendimientos de clasificación e incineración.
	Equipamiento	\$/equipo y \$/mantenimiento	Equipamiento básico para administración y control.	Equipamiento variado pero de acceso razonable en el mercado local. Protocolos de trabajo y de uso de equipamiento pueden disminuir su necesidad de renovación.
	Maquinaria	\$/equipo y \$/mantenimiento	Maquinaria pesada que trabaja de forma exigida en el manejo de los residuos. Gran consumo de combustibles fósiles, con los efectos ambientales que esto implica.	Mantenimiento adecuado para obtener las características de operación previstas en el diseño y prolongar su vida útil. Se debe prever captar los efluentes generados en el lavado de maquinaria. Se deben contemplar las medidas necesarias respecto a la generación de ruido y mantener los niveles admitidos para lugares de trabajo.
	Residuos que recibe	ton/día	RSU, RSI, ROC. Los residuos industriales recibidos deben ser cuidadosamente controlados de forma de poder asegurar que pueden ser tratados como RSU.	Distintos tipos de RSD según el anteproyecto. Debe contemplarse el manejo necesario en cada caso, relativo a su potencial contaminante. En condiciones operativas adecuadas, las emisiones generadas deben estar

				mitigadas.	
Emisiones	Efluentes líquidos	m3/día y/o Carga DQO/día)	(Kg	Tienen un gran poder contaminante. Hoy en día no existe tratamiento de los mismos previo a su disposición. Debería construirse una planta de tratamiento de lixiviados de manera de cumplir con los estándares de vertido vigentes.	Requieren de sistemas de tratamiento físicos y químicos para el caso de la PI y la RSCI. Su generación es minimizada debido a los procesos planificados. Sus condiciones de vertido deben cumplir con los estándares establecidos.
	Gases	Kg CO2/día		Están compuestos en un 50 % por metano, un termoactivo GEI. Recientemente fue instalada una planta para captarlos y quemarlos transformándolos en CO2 (un GEI 21 veces menos termoactivo) que se emite a la atmósfera.	Sistema de tratamiento de gases para la PI de alta complejidad. Se debe cumplir con los estándares de emisión previstos para emprendimientos de este tipo.
	Polvo	Kg PM10/día		Se emite como consecuencia de la operación de la maquinaria y en el transporte de material para cobertura. Las condiciones de operación deben garantizar minimizar su generación.	Su generación es relativa a las actividades desarrolladas en el RSCI. También eventualmente en el transporte de cenizas entre la PI y el RSCI. Las condiciones de operación deben garantizar minimizar su generación de forma de evitar la disminución de la calidad del aire.
	Ruido	Leq y L ₁₀		Se emite como consecuencia de la operación de la maquinaria. Deben contemplarse los equipos de protección personal para operarios.	Generación de ruidos por parte del equipamiento y la maquinaria utilizada. Deben contemplarse los equipos de protección personal para operarios, así como también los elementos de infraestructura que ayuden a minimizarlos. A su vez se debe cumplir con los niveles de ruido permitidos para lugares de trabajo.
	Olor	TRS		Se producen por la ausencia de una tapada diaria de residuos. Los	En los distintos emprendimientos existen varias fuentes posibles de olor. Las

			residuos dispuestos se deberían tapar diariamente de forma de minimizar estas emisiones.	mismas deben ser mitigadas a partir del diseño de las instalaciones y de la operación de las mismas.
	Energía	KW/día	Si bien no se genera energía en el SDF, potencialmente se podría obtener. Actualmente se está trabajando activamente en el tema.	Se produce energía en la PI. Disminuye la generación a partir de otras fuentes.
	Material recuperado	ton/día	No se recuperan materiales en el SDF. La recuperación se hace en los circuitos de recolección por trabajadores informales que lo hacen en condiciones precarias y generando impactos adversos en la sociedad.	La PC Permite retornar a un proceso productivo materiales que habían sido descartados. Debe preverse una adecuada preparación del mismo para su colocación en el mercado. Resulta ambientalmente recomendable.
Mano de Obra	Cantidad	N° de personas	Aproximadamente 30 personas.	Implica una demanda global de 300 personas aproximadamente.
	Calificación	% de personal con un determinado nivel de estudio	Muy variada. Es importante destacar la no existencia de un topógrafo dentro del personal.	Requiere incorporar personal con aptitudes diversas. Personal con calificación baja y media, personal con aptitudes específicas y personal con potencial para participar en procesos de capacitación.
Costos y beneficios		Ingresos (USD/año)	No se obtienen beneficios económicos en la instalación. Se obtienen beneficios ambientales con la quema del biogás generado, no así con los lixiviados que se generan, los cuales no son tratados previo a su vertido. Los costos económicos de la instalación son generados básicamente por la operación de la maquinaria necesaria para la disposición final de los residuos, el mantenimiento de la maquinaria y el pago	Si bien se obtienen beneficios económicos relativos a la venta de materiales y generación de energía, la ecuación económica global del proyecto es deficitaria desde el punto de vista de los costos asociados. Existen beneficios ambientales al tratarse de un sistema con minimización de emisiones al ambiente.

			de los salarios.	
Ubicación		Cantidad de personas influenciadas	<p>La ubicación del SDF no cumple con las recomendaciones existentes en dos puntos fundamentales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ·Cercanía al área urbana (aproximadamente 600 m, distancia recomendada: 4000 m). ·Presencia cercana de cursos de agua (la Usina 8 está ubicada en las nacientes del Arroyo Díaz y la Usina 6/7 tiene como límite la Cañada de las Canteras, distancia recomendada: aproximadamente 800 m). <p>A su vez, no es favorable su cercanía al aeropuerto (aproximadamente 6 Km).</p>	<p>Requiere de criterios específicos para cada emprendimiento. Considerando la PC y la PI en un mismo predio, es deseable que se ubiquen en una zona industrial. Respecto al RSCI, deben contemplarse los criterios establecidos para la localización de emprendimientos de este tipo, teniendo en cuenta las características diferenciales al tratarse de un relleno sanitario para cenizas de incineración.</p>

Tabla 29: Comparación entre la Alternativa 0 y el proyecto propuesto.

8.1. Análisis comparativo: alternativa 0 y alternativa 1

Se compararán los dos escenarios haciendo referencia a los componentes y elementos descritos anteriormente.

Se produce un consumo de energía eléctrica mucho mayor en el caso de la alternativa propuesta. Esto conduce a un mayor gasto en este ítem.

En el caso de equipamiento y maquinaria necesaria, el proyecto propuesto supera ampliamente al SDF de Felipe Cardozo resultando en un mayor costo económico para la adquisición, operación y mantenimiento de estos equipos.

En cuanto a los residuos recibidos, en el proyecto propuesto solamente se reciben RSD, mientras que en Felipe Cardozo también se reciben RSI asimilables a RSU. La evaluación de los RSI recibidos debe ser estricta de forma de asegurar que los mismos pueden ser tratados como RSU. De este modo puede obtenerse una mayor cantidad de residuos reciclables.

Debido a la gran diferencia existente entre los residuos dispuestos en relleno sanitario por ambos emprendimientos, se destaca que en el relleno sanitario proyectado se generarán cantidades menores de lixiviados y biogás que en el SDF de Felipe Cardozo. De todas maneras, la planta de incineración proyectada genera gases potencialmente contaminantes que deben ser tratados de forma de minimizar su impacto en el ambiente.

En lo referente a los productos obtenidos luego del tratamiento y disposición de los residuos, se destaca que en la alternativa proyectada se recuperan materias primas en la planta de clasificación y se genera energía en la planta de incineración. Mientras que en el SDF de Felipe Cardozo no se generan productos valiosos como resultado de la disposición de los residuos.

En cuanto a la mano de obra necesaria la alternativa proyectada requiere una plantilla mucho mayor, con calificaciones muy variadas. Esto resultará en la creación de un número importante de nuevos puestos de trabajo, ocupados por individuos de diferente nivel de calificación.

Una de las diferencias más importantes entre los dos emprendimientos es la localización de los mismos. Más allá que la alternativa propuesta no fue ubicada en ningún lugar concreto, se informaron todas las posibles ubicaciones para la misma de modo de cumplir con las exigencias vigentes. En cambio, tal cual se mencionó en las tablas anteriores, la ubicación del SDF de Felipe Cardozo no cumple con las exigencias vigentes en algunos aspectos fundamentales que inevitablemente han generado impactos adversos a nivel social y ambiental.

8.2. Gesta Aire

Incineradores de residuos

Estos estándares se aplican a todo proceso de incineración de residuos, incluyendo operaciones de valorización (generación de energía). Quedan excluidos los residuos sanitarios para los que se aplica los estándares incluidos en el decreto 586/009.

Contaminante	Limite de emisión
MP (mg/Nm ³)	20
COT (mg/Nm ³)	14
HCl (mg/Nm ³)	15
HF (mg/Nm ³)	1.4
SO ₂ (mg/Nm ³)	70
NO _x como NO ₂ (mg/Nm ³)	560
CO (mg/Nm ³)	70
Cd+Tl y sus compuestos (expresados en Cd +Tl) (mg/Nm ³)	0.07
Hg y sus compuestos (expresado en Hg) (mg/Nm ³)	0.07
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V y sus compuestos (expresados en Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V) (mg/Nm ³)	0.7
Dioxinas y furanos (ng EQT/Nm ³)	0.14

Tabla 30: Límites máximos de emisión a la atmósfera (corregidos al 7 % de oxígeno).

Los emprendimientos deberán cumplir con dichos estándares y deberán muestrear según la siguiente tabla:

Capacidad de procesamiento instalada	Contaminante	Frecuencia de monitoreo
Todas las capacidades	CO y O ₂	Continuo
Mayor o igual a 10 ton de residuos sólidos/día	MP, SO ₂ , NO _x ,	Continuo
	Resto de contaminantes ⁽¹⁾	2 vez en el año
Menor a 10 ton de residuos sólidos/día	MP, SO ₂ , NO _x	4 veces al año
	Resto de contaminantes ⁽²⁾	1 vez al año

Tabla 31: Frecuencia de monitoreo.

(1) Excepto dioxinas y furanos que tendrá una frecuencia de monitoreo de 1 vez al año.

(2) Excepto dioxinas y furanos para lo cual la DINAMA definirá la frecuencia de monitoreo en cada caso.

ANEXO 1 – INFORMACIÓN SOBRE EQUIPAMIENTO

Presna de embalar

BRAMIDAN®

B3

Con un espacio limitado

La B3 es una de las prensas de embalar más pequeñas de la gama. Con una base de sólo 720 x 820 mm y una conexión de 230 V, es fácil de colocar.

Para garantizar que la cámara no se sobrecarga, la B3 está equipada con un indicador completo que parpadea cuando la prensa está llena, y la plancha de prensado permanece abajo.

Además, el proceso de embalado se simplifica, ya que se puede tirar directamente de las correas desde la puerta principal.



1.

- **Un funcionamiento sencillo y seguro**
Luz verde parpadea si cámara llena
- **Correas fáciles de remplazar**
Se colocan delante
- **Diseño compacto**
Con una altura global muy baja



2.



3.



Especificaciones técnicas	
Fuerza de prensado (t)	3
Alimentación	1x230V 50Hz 10A
Motor (kW)	1.1
Nivel de ruido (dB)	65-68
Duración del ciclo (seg)	18
Dimensiones AnxExAl (mm)	850 x 725 x 1965
Peso (kg)	310
Abertura de llenado AnxEx (mm)	700 x 460
Altura de llenado (mm)	755
Altura de la cámara (mm)	1100
Recomido (mm)	550
Tamaño de la bala AnxExAl (mm)	700 x 500 x 650
Peso de la bala de cartón (kg)	30-50
Peso de la bala de plástico (kg)	40-60



La prensa de embalar tiene un panel de control y está equipada con pictogramas de fácil comprensión.



Los rollos de correas se remplazan fácilmente en la parte delantera de la máquina.

www.bramidan.com



3-wheel electric
forklift trucks
1.6 - 2.0 t



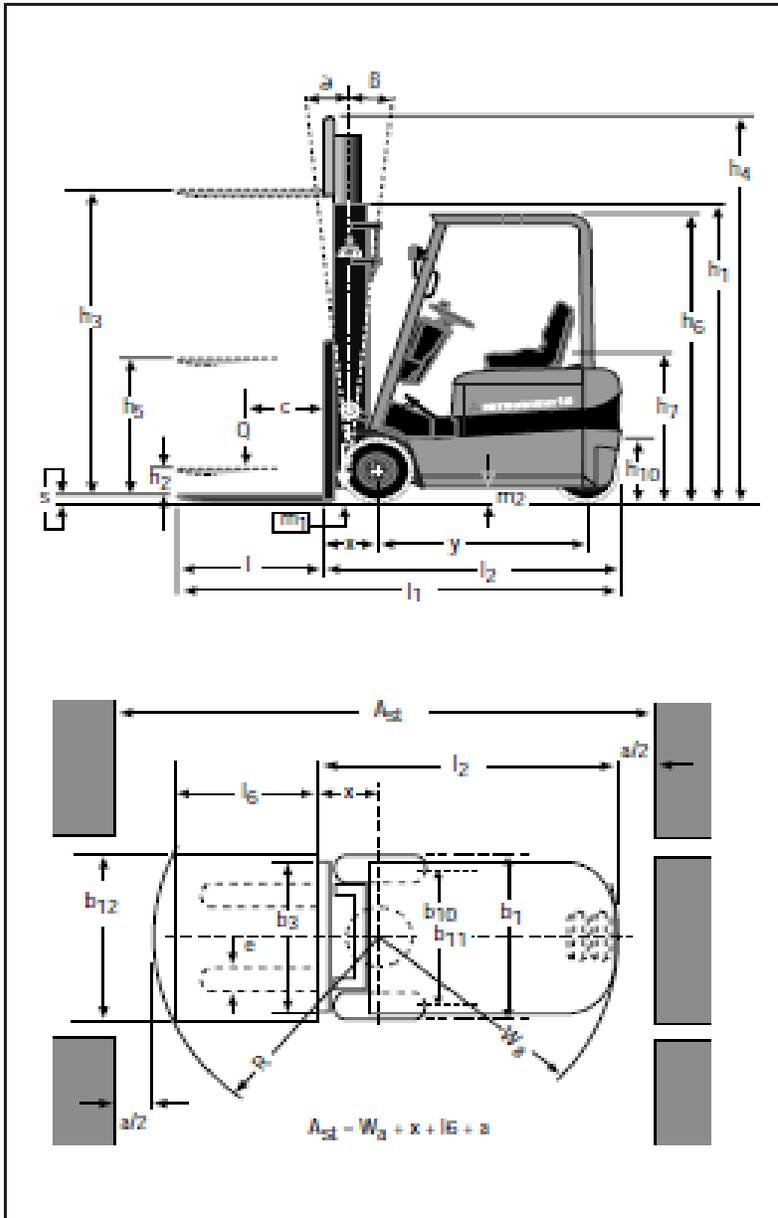
FB16K T
FB18K T
FB20K T

FB16K T
1.6t

• **FB18K T**
1.8t

• **FB20K T**
2.0t

Sophisticated features for reliable performance and ease of service



A_{zd} - Working aisle width with load
 a - Safety clearance (200 mm)
 l_5 - Pallet length (800 or 1000 mm)
 b_{12} - Pallet width (1200 mm)

- quiet, comfortable and high visibility for safe load handling
- advanced «AC» hydraulic fingertip controls for comfort and precise load handling
- programmable operating parameters for job-matched performance
- power proportioning and reversing drive control for permanent, positive traction
- «twin» wheel steer axle with wheel angle sensor providing exceptional steering precision
- run-time and self diagnostics plus fault memory for low operating costs
- "smart" instrument display, comprising :
 - Battery discharge indicator
 - Travel speed
 - Truck hours
 - Drive motor hours
 - Hydraulic motor hours
 - Clock
 - Service indicator
 - Brush wear indicators
 - Over temperature warning
 - Brake fluid level
 - Fault warning
- manual hydraulic control levers available
- generous service access for quick and easy maintenance



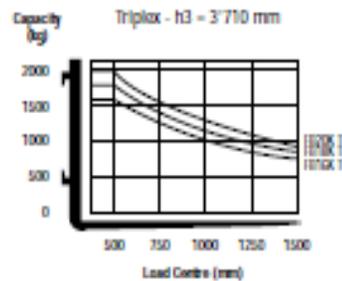
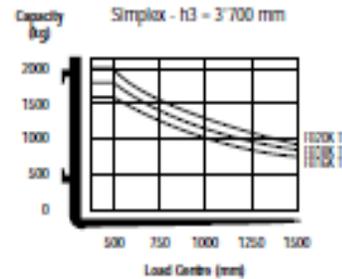
When reliability
is everything...

Mast Performance and Capacity

Mast Type	FB19K T - FB18K T - FB20K T			h2 / h3	Q @ c=500mm kg	Q @ c=800mm kg	Q @ c=1000mm kg
	h2	h1	h4				
	mm	mm	mm	mm			
Simplex	2000	1460	3045	80	1600	1800	2000
	2560	1740	3605	80	1600	1800	2000
	2760	1840	3805	80	1600	1800	2000
	3000	1960	4045	80	1600	1800	2000
	3290	2105	4335	80	1600	1800	2000
	3700	2365	4745	80	1600	1800	2000
	4090	2550	5135	80	1575	1800	2000
	4480	2755	5525	80	1525	1750	2000
	5000	3015	6045	80	1275	1300	1925
	5500	3265	6545	80	975	1100	1300
6000	3515	7045	80	850	875	1225	
Duplex	2965	1960	4050	945	1600	1800	2000
	3260	2135	4340	1090	1600	1800	2000
	3665	2395	4745	1350	1600	1800	2000
	3965	2580	5075	1535	1575	1800	2000
Triplex	3710	1760	4755	715	1600	1800	2000
	4010	1860	5055	815	1575	1800	2000
	4310	1960	5355	915	1550	1800	2000
	4750	2105	5795	1060	1375	1425	1950
	5090	2225	6135	1180	1375	1425	1800
	5490	2365	6535	1320	1025	1025	1300
	5990	2550	7035	1505	775	800	1225
	6490	2810	7535	1765	675	675	875
7000	3015	8045	1970	475	500	775	

- h1 Weight with mast lowered
h2 Standard free lift
h3 Standard lift height
h4 Weight with mast raised
h5 Full free lift
Q Lifting capacity, rated load
c Load centre (distance)
- (Consult your dealer for the maximum back lift allowed to obtain the capacities specified.)

Capacities at various load centres



Battery Compartment	FB19K T	FB18K T	FB20K T	
Length (min)	mm	531	634	634
Width (min)	mm	1016	1016	1016
Height (min)	mm	650	650	650
Minimum weight	kg	865	1000	1000

With Mitsubishi, the choice is easy...

As a general rule, the constant pressure in the workplace, on production schedules and delivery deadlines, leaves absolutely no room for failure...

At Mitsubishi Forklift Trucks, we have a code of conduct based on quality and reliability. It's guiding philosophy is to achieve 100% performance and 0% downtime. Our forklift trucks are built to a higher specification to ensure their reliability, whatever the application.

Mitsubishi companies around the world are at the leading edge of technology where performance, quality and dependability cannot be compromised. Whether in research, engineering, manufacturing, distribution or regional support, we have established standards which guarantee that when you have to depend on a forklift truck, you can depend on Mitsubishi. No matter where you are located, we have a materials handling solution that will meet your expectations.

At Mitsubishi Forklift Trucks product reliability and customer satisfaction are not just vague concepts. They are a permanent state of mind.



GE3ME112 (5/99) ok
© 1999 MCTE
Printed in the Netherlands
mitforklift@excels.nl
www.mitforklift.com

NOTE: Reference applications are very diverse in detailed machinery design, which creates, from time to time, for a variety of conditions, applications, or demands. Therefore, facts are to check with our nearest sales, branch performance requirements and local market conditions. Consult the dealer for the Mitsubishi Forklift Trucks Division. Mitsubishi is not responsible for any errors or omissions. All data are subject to change without notice.

Characteristics						
1.1	Manufacturer (Abbreviation)		Mitsubishi	Mitsubishi	1.1	Mitsubishi
1.2	Manufacturer's model designation		FB16K T	FB19K T	1.2	FB20K T
1.3	Power source: Battery, diesel, LP gas, petrol		electric	electric	1.3	electric
1.4	Operator type : Pedestrian, (operator) standing, -seated		seated	seated	1.4	seated
1.5	Lifting capacity	Q (t)	1.6 t	1.8 t	1.5	2.0 t
1.6	At load centre	c (mm)	500	500	1.6	500
1.8	Load distance	x (mm)	376	376	1.8	387
1.9	Wheelbase	y (mm)	1307	1470	1.9	1470
Weight						
2.1	Truck weight, without load / including battery	kg	3090	3290	2.1	3520
2.2	Axle loading with rated load, front/rear	kg	4175 / 515	4500 / 590	2.2	4870 / 650
2.3	Axle loading without rated load, front/rear	kg	1500 / 1590	1590 / 1700	2.3	1610 / 1910
Wheels, Drive Train						
3.1	Tyre type: V-solid, L-pneumatic, SE-solid pneumatic, front/rear		SE / SE	SE / SE	3.1	SE / SE
3.2	Tyre dimensions, front		18 x 7-8	18 x 7-8	3.2	200 / 50-10
3.3	Tyre dimensions, rear		15 x 4.5-8	15 x 4.5-8	3.3	15 x 4.5-8
3.5	Number of wheels, front/rear (x-driven)		2x / 2	2x / 2	3.5	2x / 2
3.6	Distance between centreline of tyres, front	b10 (mm)	913	913	3.6	935
3.7	Distance between centreline of tyres, rear	b11 (mm)	170	170	3.7	170
Dimensions						
4.1	Mast tilt, forwards/backward	α/β (°)	6 / 7	6 / 7	4.1	6 / 7
4.2	Height with mast lowered	h1 (mm)	2105	2105	4.2	2105
4.3	Standard free lift	h2 (mm)	80	80	4.3	80
4.4	Standard lift height	h3 (mm)	3265	3265	4.4	3265
4.5	Overall height with mast raised	h4 (mm)	4332	4332	4.5	4332
4.7	Height to top of overhead guard	h6 (mm)	2040	2040	4.7	2040
4.8	Seat height	h7 (mm)	945	945	4.8	945
4.12	Tow coupling height	h10 (mm)	562	562	4.12	562
4.19	Overall length	l1 (mm)	2813	2916	4.19	2952
4.20	Length to fork face (includes fork thickness)	l2 (mm)	1893	1996	4.20	2032
4.21	Overall width	b16/2 (mm)	1070	1070	4.21	1130
4.22	Fork dimensions (thickness, width, length)	so, l (mm)	35 x 100 x 920	35 x 100 x 920	4.22	35 x 100 x 920
4.23	Fork carriage to DIN 15 173 A/B/C/D		A	A	4.23	A
4.24	Fork carriage width	b3 (mm)	920	920	4.24	920
4.31	Ground clearance under mast, with load	m1 (mm)	63	63	4.31	63
4.32	Ground clearance centre of wheelbase, with load	m2 (mm)	100	100	4.32	100
4.33	Working aisle width with 1000 x 1200 mm pallets	Ast (mm)	3093	3196	4.33	3232
4.34	Working aisle width with 800 x 1200 mm pallets	Ast (mm)	2893	2996	4.34	3032
4.35	Turning circle radius	Wb (mm)	1517	1620	4.35	1645
4.36	Minimum distance between centres of rotation	b13 (mm)	-	-	4.36	-
Performance						
5.1	Travel speed, with/without load	km/h	14 / 16	14 / 16	5.1	14 / 16
5.2	Lifting speed, with/without load	m/s	0.40 / 0.60	0.39 / 0.60	5.2	0.38 / 0.60
5.3	Lowering speed, with/without load	m/s	0.52 / 0.50	0.52 / 0.50	5.3	0.52 / 0.50
5.5	Rated drawbar pull, with/without load (60 min short duty)	N	2660 / 2960	2570 / 2910	5.5	2470 / 2850
5.6	Maximum drawbar pull, with/without load (5 min short duty)	N	6070 / 6370	5980 / 6320	5.6	5890 / 6270
5.7	Gradability, with/without load	%	13 / 22	12 / 20	5.7	11 / 18
5.8	Maximum gradability, with/without load	%	19 / 30	17 / 28	5.8	15 / 26
5.9	Acceleration time, with/without load (0 - 10 m)	s	5.1 / 4.6	5.2 / 4.6	5.9	5.4 / 4.7
5.10	Service brakes (mechanical/hydraulic/electric/pneumatic)		mech / hyd	mech / hyd	5.10	mech / hyd
Electric Motors						
6.1	Drive motor capacity (60 min. short duty)	kW	2x 4.5	2x 4.5	6.1	2x 4.5
6.2	Lift motor output @ 15% duty factor	kW	11.5	11.5	6.2	11.5
6.3	Battery to DIN 43531/3536 A/B/C/D		no	no	6.3	no
6.4	Battery voltage/capacity at 5-hour discharge	V/Wh	48 / 500	48 / 720	6.4	48 / 720
6.5	Battery weight	kg	865	1000	6.5	1000
6.6	Energy consumption according to VDI cycle	kWh/h			6.6	
Miscellaneous						
8.1	Type of drive control		Microprocessor / Variable	Microprocessor / Variable	8.1	Microprocessor / Variable
8.2	Operating pressure for attachments	bar	161	161	8.2	161
8.3	Oil flow for attachments	l/min			8.3	
8.4	Noise level, mean value at operator's ear	dB (A)			8.4	
8.5	Towing coupling design / DIN type, ref.		-	-	8.5	-

ANEXO 2 – BIODIGESTOR TIPO

Eg-Tecnología Sustentable

San Lorenzo 3424 - S3000EUZ - Santa Fe - Argentina
Tel / Fax 0054 (0342) 4540616 – www.eg-ingenieria.com.ar

BIODIGESTOR PREFABRICADO PARA TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Consideraciones Generales:

La explosión demográfica y el continuo crecimiento de los conglomerados urbanos constituyen los ejes motores que proyectan la conflictiva generación de montañas de desperdicios. Debido a esto, es que en la actualidad ha cobrado gran impulso el Reciclaje, una técnica que tiene como finalidad recuperar de los desperdicios todo lo aprovechable y reprocesable, dirigida fundamentalmente a aquellos residuos que pueden servir como materias primas para nuevos productos; como ser: materia orgánica, papel y cartón, metales, vidrios, plásticos, etc.

La digestión anaeróbica es un proceso realizado por bacterias, que existen en la naturaleza, que degradan la materia orgánica en ausencia de oxígeno, convirtiéndola en biogás combustible (60 % de metano y 40 % de anhídrido carbónico); se obtiene así energía desde un residuo sin valor y contaminante. Este proceso constituye una alternativa tecnológica apropiada, que puede ser utilizada para beneficio del hombre y su medio ambiente, incorporándolo como parte de una planta el tratamiento integral de los residuos domiciliarios urbanos. Todo tipo de residuos orgánicos pueden ser estabilizados para no contaminar; pudiéndose obtener energía renovable (biogás) y un residuo estabilizado que puede ser utilizado como mejorador de suelo. Particularmente, en virtud del estilo de vida de nuestra sociedad, donde la preparación de los alimentos continúa realizándose principalmente en la propia casa, la fracción orgánica (que entra rápidamente en proceso de putrefacción), representa en promedio entre un 50 % al un 65% del peso de basura que diariamente elimina la comunidad.

Consideraciones Previas:

Clasificación en Origen y Posterior Selección de Reciclables en Planta:

Teniendo en cuenta que las mejores condiciones para realizar el Reciclaje de la fracción inorgánica contenida en los residuos, se logrará cuando estos estén lo más secos y limpios posibles; conviene implementar una Campaña de "Separación en Origen", desde el inicio mismo de la construcción de la Planta de Tratamiento propuesta. Esta alternativa permitirá tener, en bolsas separadas, la materia orgánica (húmeda, que rápidamente fermenta) no contaminada –en la medida de lo posible- con pilas y otros elementos inconvenientes para un tratamiento biológico y por otro lado todos los materiales factibles de reciclar (papel, cartón, vidrio, plásticos, aluminio, latas, trapos, pañales descartables, etc.)

Pretratamiento de la Materia Orgánica:

Previo a la entrada al tratamiento biológico, la materia orgánica debe ser acondicionada convenientemente para su tratamiento. Las bolsas que contienen la materia orgánica de origen doméstico, se descargan en un sector cubierto, que posee un piso de cemento alisado, con inclinación hacia un desagüe que permite recolectar el lixiviado que se produce. Luego de ser abiertas las bolsas; son colocadas por un operario, alternativamente sobre un tornillo sin-fin o una cinta transportadora (con banda de caucho), que eleva el material hacia la cámara de carga del biodigestor.

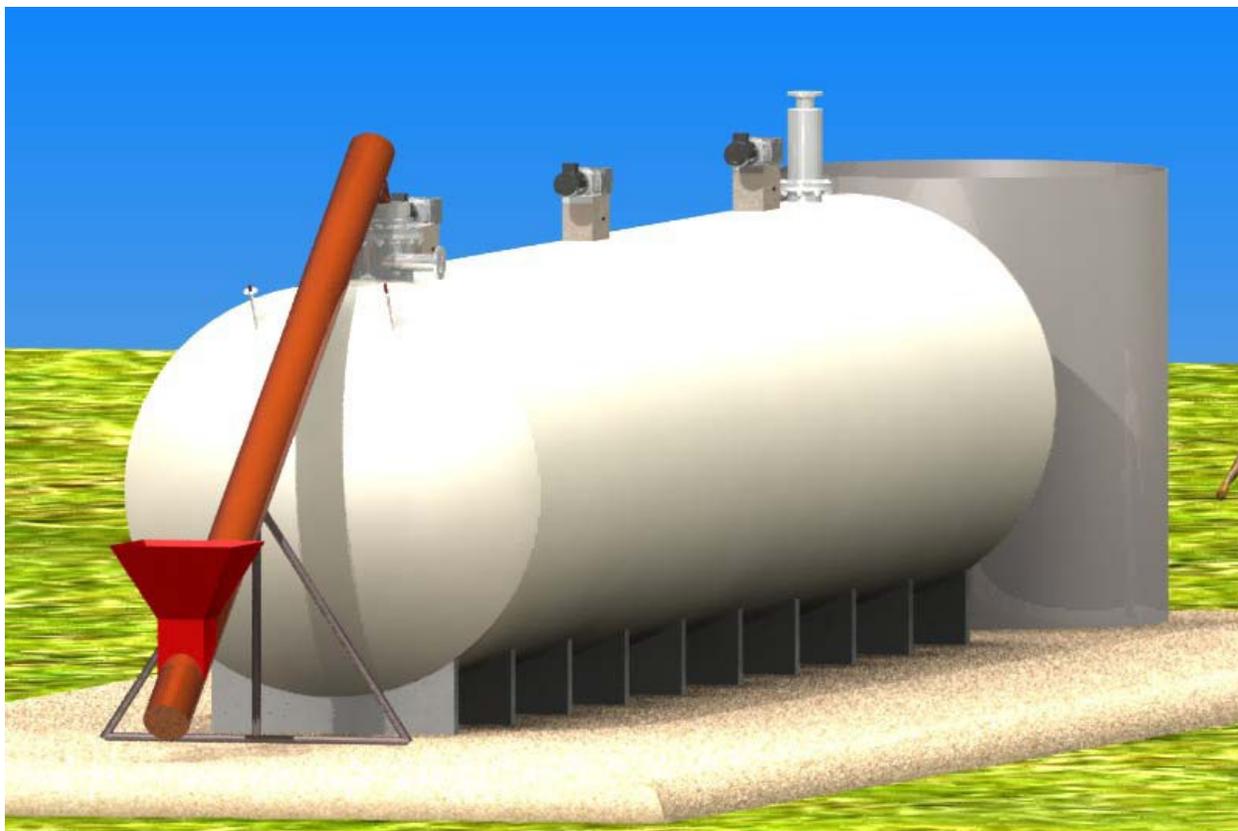
Todo el residuo orgánico acumulado se diluye su concentración en sólidos con el agregado de reciclaje proveniente del mismo biodigestor. Esto produce una suspensión bombeable, la cual se procesa mediante una bomba sumergible con "rotor abierto" que también permite hacer la descarga correspondiente desde el Biodigestor Anaeróbico.

Características Constructivas del Biodigestor Prefabricado:

A fin de lograr una solución con larga vida útil –mayor a los 25 años- se propone el uso de materiales modernos como el P.R.F.V. (*Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio*) para la construcción del Biodigestor propiamente dicho; en la modalidad de “*filament winding*” que hace posible obtener un diseño en una única pieza; incorporando una serie de cunas paralelas solidarias al cuerpo del biodigestor, todo construido según normas ASTM D 3299; y con casquetes toriesféricos según norma PS 15-69 (Voluntary Product Standard). Se asegura la estanqueidad y resistencia de todo el conjunto; evitándose también mayores problemas de corrosión y mantenimiento.

Volúmenes Disponibles:

Los tamaños pueden variar desde 10 m³ hasta 275 m³, cubriendo un amplio rango de necesidades de tratamiento. Todo el conjunto pre-fabricado se ubica directamente sobre una platea de hormigón.



Biodigestor Pre-fabricado con Desplazamiento Horizontal, desde Volúmenes de 10 m³ hasta 275 m³. Con posibilidades de agitación mecánica, elevación de residuos y termostatación para tratar Residuos Orgánicos Domiciliarios y Agropecuarios, para distintas escalas de aplicación.

Alternativas de Instalación:

Enterrado: Esta posibilidad se aconseja para los tamaños menores, donde la cantidad de residuos a procesar permite simplificar la instalación, evitándose todo tipo de equipamiento mecánico para introducir los residuos al biodigestor.

Sobre Nivel de Terreno Natural: Esta alternativa se justifica para grandes volúmenes de residuos a procesar, donde se justifica el movimiento de sólidos con medios mecánicos (tronillos sin-fin). El diseño también incorpora un adecuado aislamiento con espuma de poliuretano expandido de celda cerrada y protección externa de PRFV; que permite operar a 37°C (temperatura óptima de la flora anaeróbica mesófila).

Características de Funcionamiento:

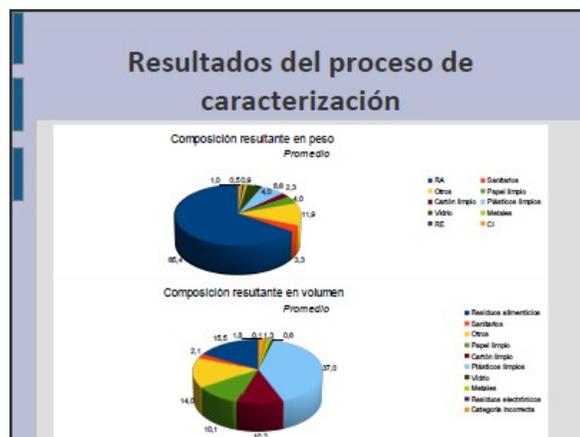
La carga de los residuos hacia el biodigestor se puede realizar mediante un tornillo sin-fin con una longitud que depende de la altura de elevación. En el caso que se requiera hacer un mayor control de los residuos que ingresan, se puede utilizar una cinta transportadora, para conducir los residuos hasta la boca de carga del biodigestor, pudiéndose realizar la observación y retiro de impurezas por parte de un operario designado para esta actividad. El diseño contempla la instalación de una serpentina interior (en caño de polietileno de alta densidad), que permite trabajar desde la temperatura ambiente del lugar de instalación, hasta llegar al óptimo de la flora mesofílica en 37 °C. La calefacción del biodigestor se realiza mediante la circulación de agua caliente (temperatura máxima de 50 °C), la cual se genera mediante un termostato que consume parte del biogás producido. Alternativamente en el caso que se genere energía eléctrica -mediante un motor generador- con el biogás producido; el calor disipado desde el bloc del motor se puede utilizar para calefaccionar el biodigestor, haciendo recircular el fluido de refrigeración desde el motor hacia a la serpentina en circuito cerrado. Las pérdidas de calor hacia el ambiente se minimizan mediante un aislamiento del biodigestor con espuma de poliuretano expandido de 50 mm de espesor, con protección externa de la misma para asegurar su vida útil. La agitación se realiza mediante agitadores de paletas inclinadas accionados por moto-reductores y relación de reducción de 1:30; que permiten tener una velocidad de giro de 50 r.p.m. El comando de la agitación se realiza mediante tablero con contactor y temporizador de los tiempos de marcha y parada. La descarga del residuo estabilizado se realiza por “*vasos comunicantes*”, es decir que el volumen de de residuos que ingresa por un extremo desplaza la misma cantidad por el otro lado. Esta descarga se acumula en un tanque intermediario, el cual sirve para recircular residuo estabilizado hacia la boca de carga, tal que se facilite el ingreso de los nuevos residuos.

ANEXO 3 – TALLER DE EXTENSIÓN: “VALORANDO TU BASURA”



Formas de valorización y disposición final de RSD.

Taller de extensión 2011.
Facultad de Ingeniería.
UdelaR.



Estimación de la generación de RSD

- Primeramente, se calculó el número medio de habitantes por hogar para los 48 barrios montevideanos.
- Estos resultaron ser 2, 3 y 4 hab/hogar.
- Se estudiaron las series de PPC (kg/hab.d) muestreadas correspondientes a casas con 2, 3 y 4 habitantes.
- Luego de un procedimiento de filtrado de las series, se aplicó el test de D'Agostino a cada una de ellas para estudiar su posible normalidad.
- Se obtuvieron resultados positivos que se detallan a continuación.

Estimación de la generación de RSD

Nº de habitantes	Media (kg/hab.d)	Desviación (kg/hab.d)
2	0,33	0,25
3	0,45	0,27
4	0,38	0,21

Se le asigno, a cada barrio de la ciudad de Montevideo, una PPC igual a la media obtenida según su número medio de habitantes por hogar. De esta forma se obtiene, de manera aproximada, la producción diaria de RSD en peso. Utilizando la densidad media de los RSD calculada en el muestreo (88,4 kg/m3), se obtiene una estimación de la producción diaria de RSD en volumen.

Estimación de la generación de RSD

Peso total (ton/d)	550
Volumen total (m3/d)	6235
Peso NO R (ton/d)	450
Peso R (ton/d)	100
Volumen NO R (m3/d)	2083
Volumen R (m3/d)	4152
Peso RA (ton/d)	360
Volumen RA (m3/d)	966

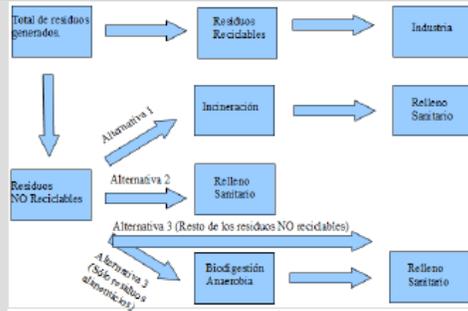
A partir de los pesos y volúmenes totales estimados, utilizando la composición calculada en peso y volumen, se hallan los pesos y volúmenes R, NO R y de residuos alimenticios producidos de modo de obtener los insumos necesarios para realizar el análisis de alternativas.

Alternativas propuestas

- **Alternativa 1:** Reciclaje + Incineración + RS
- **Alternativa 2:** Reciclaje + RS
- **Alternativa 3:** Reciclaje + Biodigestor anaerobio + RS

• *Aclaración: Todas las alternativas propuestas suponen una separación de los residuos sólidos domiciliarios en origen similar a la utilizada en el taller.*

Alternativas propuestas



Comparación de alternativas

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1) Area necesaria			
2) Complejidad operativa			
3) Accesibilidad			
4) Inversión inicial			
5) Costos operativos			
6) Emisiones			
7) Control y monitoreo			
8) Riesgos ambientales			
9) Flexibilidad en la recepción de residuos			
10) Mano de obra necesaria			

Comparación de alternativas

Criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
1) Area necesaria	1	3	2
2) Complejidad operativa	1	2	3
3) Accesibilidad	1	3	2
4) Inversión inicial	3	1	2
5) Costos operativos	3	1	2
6) Emisiones	3	2	1
7) Control y monitoreo	1	2	3
8) Riesgos ambientales	3	2	1
9) Flexibilidad en la recepción de residuos	1	2	3
10) Mano de obra necesaria	1	3	2
SUMA	18	21	21

Planillas para un día de clasificación

Fecha: / /		
Residuos Reciclables ()		Residuos no-reciclables ()
Peso tarrina (kg)	Volumen tarrina (m³)	Bolsas
N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
1		
2		
3		
4		
5		
Totales		

Fecha: / /		
Residuos Reciclables ()		Residuos no-reciclables ()
Peso tarrina (kg)	Volumen tarrina (m³)	Bolsas
N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
1		
2		
3		
4		
5		
Totales		

Fecha: / /		
Residuos Reciclables ()		Residuos no-reciclables ()
Peso tarrina (kg)	Volumen tarrina (m³)	Bolsas
N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
1		
2		
3		
4		
5		
Totales		

Fecha: / /			
Residuos Reciclables ()		Residuos no-reciclables ()	
Peso tarrina (kg)	Volumen tarrina (m³)	Bolsas	
N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)	
1			
2			
3			
4			
5			
Totales			

Fecha: / /			
Peso tarrina (kg)	Volumen tarrina (m³)		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Residuos Alimenticios	1		
	2		
	3		
	4		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Pañales	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Residuos de Jardín	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Otros	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		

Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Papel	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Papel blanco	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Papel blanco de obra	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Papel color	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Papel de tercera	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Papel de diario	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Otros	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Cartón	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Corrugado	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Liso	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		

Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Plásticos	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
PET	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
PEAD	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
PVC	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
PEBD	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
PP	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
PS	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Otros	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		

Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Vidrio	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Transparente	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Color	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Metales	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Ferrosos	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Sub-Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
No ferrosos	1		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Residuos electrónicos	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		
Componente	N° Tarrina	Volumen (m³)	Peso (Kg)
Categoría incorrecta	1		
	2		
	Muestra ensayo		
	Totales		

Planillas para recorrida de campo

	Nombre completo	Dirección	Nº personas
1	Mario Rabinovich	Fac. de Química	3
2	Paula Morales	P. Vazquez y Vega 1124/8	2
3	Pablo Babino	Carlos Crocker 2536/605	
4	Lucía Gutierrez	Irlanda 2190/1005	3
5	Elisa Nilson	Pedro Bustamante 1538	4
6	Matías Seoane	Monzón 1856/4	3
7	Ma. Lucía Cárpena	Dr. Grauert 3234	4
8	Analía Gandolfi	Itapua 2256/702	3
9	Alejandro Miranda	Amezaga 2217/304	1
10	Gabriela Navarrete	Presidente Giró 2472/5	2
11	Bruno Coiro	21 de Setiembre 2690/101	2
12	Daniel Croza	Benito Blanco 675/502	2
13	Alfonso Vazquez	Hernani 1505	7
14	Ana Urquiola	Carmelo 1434	6
15	Carolina Ramirez	Fernandez Crespo 2076/101	3
16	Cecilia Etchevers	P. Bustamante 1525	4
17	Leonardo Giovannini	J. Paullier 1323/2	3
18	Nicolas Rezzano	Paragua 1796/205	2
19	Julieta Lopez	Solano Antuña 2609/702	4
20	Elizabeth Gonzalez	Rivera 2221 ap.404	1
21	Mauro D'Angelo	Gregorio Funes 2977	3
22	Pablo Kok	Grito de Asencio 1290	2
23	Wim Kok	Grito de Asencio 1292	3
24	Lucía Araujo	Juan Ortíz 3209	3
25	Agustin Rios	Vaz Ferreira 3528	4
26	Gonzalo Niski	Mateo Vidal 3184	4
27	Gabriel Bello	San Martín 3419/2	3
28	Analía Urbán	Homero de Gregorio 3551	2
29	Florencia Tarallo	Capitán Videla 3044 Mac Eachen-Lombarí	4
30	Jandira Tavares	Itapua 2256/1002 esq. Patria	2

Planillas de bolsas para actividad de Taller N° 2

BOLSA 1
Pañuelos usados
Papel oficina
Bandeja de comida sucia
Botella de aceite terminada
Servilletas
Cáscara de banana
Yerba
Envoltorio de galletas
Envoltorios de chocolate (sucio)
Cotonete

BOLSA 2
Bolsa de leche
Caja de vino
Lata de arvejas
Lata de cerveza
Cáscara de huevo
Algodón usado
Diario
Envase de fabuloso
Botella de bebida aplastada
Papel limpio

BOLSA 3
Papel mojado
Papel satinado
Algodón usado
Yerba
Cáscara de mandarina
Hojas de jardín
Pilas
Restos de carne
Madera
Envase vidrio

BOLSA 4
Bandeja limpia
Bolsa de nylon limpia
Cartón
Envase de shampoo
Envoltorio de P.H.
Botella de bebida aplastada
Restos de verduras
Envoltorio plástico
Caja de huevos
Restos de jardín

Planillas de criterios para Taller N° 4

ALTERNATIVA:			
	Ventajas	Desventajas	Comentarios
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

ANEXO 5 – VISITA A T.RES.OR.

En el marco del presente trabajo se visitó, el día 22 de marzo de 2012, la planta municipal T.RES.OR. (Tratamiento de Residuos Orgánicos). La misma ocupa un predio de 20 has y procesa anualmente 12000 toneladas de residuos.

La planta procesa actualmente los siguientes tipos de residuos:

- Chipeado de podas del ornato público.
- Barrido de calles y áreas verdes.
- Frutas y verduras del Mercado Modelo y ferias.
- Decomisos de aduana.
- Lodos provenientes del tratamiento aerobio y anaerobio de efluentes.

Durante la visita se observó el proceso de tratamiento de los residuos que se realiza en la planta. El mismo se describe a continuación utilizando imágenes registradas en la visita:

La planta cuenta con un área destinada a la recepción y manejo de los residuos entrantes. Se cuenta con maquinaria para acondicionar los residuos previo a su compostaje en caso de ser necesario.



Área de recepción de residuos.

Seguidamente, los residuos son dispuestos en un predio contiguo formando camellones. Allí es donde ocurre el proceso de compostaje. Cada camellón posee un número identificador de forma de poder monitorear el proceso de compostaje y, a su vez, poder conocer la procedencia de los residuos que lo conformaron inicialmente. Este predio posee una pendiente de forma de conducir los efluentes generados durante el proceso de compostaje hacia un sistema de tratamiento de lagunas ubicado aguas abajo.



Área de compostaje.



Detalle de uno de los camellones.



Laguna de tratamiento.

Una vez finalizado el proceso de compostaje, el producto obtenido es tamizado y almacenado para su posterior utilización. Además, se toman muestras del material producido, las cuales son analizadas en laboratorio y utilizadas para cultivos experimentales realizados en la planta de forma de comprobar la aptitud del compost obtenido como mejorador de suelos.



Zaranda para el tamizado del compost producido.



Compost almacenado.



Laboratorio.



Cultivos experimentales.

ANEXO 6 – PLAN DE GESTIÓN DE ENVASES

A continuación se presentan, en orden cronológico, diversos documentos referidos al Plan de Gestión de Envases (PGE).

Publicada D.O. 29 dic/004 - N° 26660

Ley N° 17.849

USO DE ENVASES NO RETORNABLES

El Senado y la Cámara de Representantes de la República Oriental del Uruguay, reunidos en Asamblea General,

DECRETAN:

Artículo 1°. (Declaración).- Declárase de interés general, según lo previsto en el artículo 47 de la

Constitución de la República, la protección del ambiente contra toda afectación que pudiera derivarse de los

envases cualquiera sea su tipo, así como del manejo y disposición de los residuos de los mismos.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, dictará las providencias y aplicará las

medidas necesarias para regular los tipos de envases y prevenir la generación de residuos, de conformidad

con los principios de política nacional ambiental, establecidos en el artículo 6° de la Ley N° 17.283, de 28 de

noviembre de 2000.

A tales efectos, promoverá la reutilización, el reciclado y demás formas de valorización de los residuos de

envases, con la finalidad de evitar su inclusión como parte de los residuos sólidos comunes o domiciliarios.

Artículo 2°. (Ámbito de aplicación).- Quedan comprendidos dentro del ámbito de aplicación de esta ley, todos

los envases puestos en el mercado y residuos, incluyendo los envases de venta o primarios, colectivos o

secundarios y los de transporte o terciarios.

No quedan comprendidos en la presente ley, los envases y residuos de envases industriales o

comerciales,

que sean de uso y consumo exclusivo en actividades industriales, comerciales o agropecuarias.

Artículo 3°. (Otras regulaciones).- Lo establecido en esta ley, lo será sin perjuicio de las disposiciones

referentes a la seguridad y protección de la salud e higiene respecto de los productos envasados, las

condiciones de transporte de los mismos y el manejo de los residuos peligrosos.

Artículo 4°. (De los envases).- Solo podrán fabricar o importar envases terminados o preconformados o sus

materias primas, aquellas personas físicas o jurídicas que se encuentren debidamente inscriptas en el

registro que al efecto llevará el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente y cumplan

las condiciones que dicha Secretaría de Estado establezca.

Tales personas solo podrán vender o entregar a cualquier título dichos envases o materias primas, a

personas que mediante el correspondiente certificado, acrediten encontrarse inscriptas y habilitadas por

dicho Ministerio. Únicamente quedan excluidas de lo dispuesto en este artículo, las ventas en plaza o

entregas a otro título, que por declaración del comprador o receptor y por su volumen y falta de periodicidad,

no tengan como destino el envasado de productos con fines comerciales.

Artículo 5°. (Residuos de envases).- Toda persona física o jurídica, que envase o importe productos

envasados con destino al mercado nacional, deberá inscribirse en el registro que al efecto llevará el

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente y cumplir las condiciones que ese

Ministerio establezca.

Para obtener el certificado de inscripción correspondiente, los sujetos incluidos en este artículo, deberán

contar con un plan de gestión de los residuos de envases y envases usados derivados de los

productos por

ellos envasados o comercializados, aprobado por dicha Secretaría de Estado.

Artículo 6º. (Planes de gestión).- Los planes de gestión de los residuos de envases y envases usados referidos en el artículo anterior, deberán prever en su ámbito de aplicación, el cumplimiento de los objetivos de reducción, retornabilidad, reciclado y valoración, en los porcentajes y plazos que se establezcan.

Los envases y los productos comprendidos en esos planes, se identificarán mediante un símbolo de

acreditación que será aprobado por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

Dichos planes podrán incluir sistemas voluntarios de retornabilidad, instrumentos de promoción de la misma

y también el establecimiento de mecanismos de cobro de una cantidad individualizada y uniforme para todos

los comercios de plaza, como depósito o seña, por cada envase que sea objeto de la transacción.

Para la aprobación de los planes de gestión, el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio

Ambiente tendrá en cuenta sus posibilidades de integración con otros existentes o a crearse, tendiendo a la

conformación de sistemas integrados para envases similares y compatibles. En todo caso se favorecerán

adecuadas condiciones de competencia, considerando de manera especial a las pequeñas y medianas

empresas.

Artículo 7º. (Comerciantes e intermediarios).- Los comerciantes y puntos de venta al consumo, así como los

demás intermediarios en la cadena de distribución y comercialización de productos envasados, estarán

obligados a recibir y aceptar la devolución y retorno de los envases de aquellos productos respecto de los

cuales tengan intervención para su colocación en el mercado.

Dicha obligación deberá ser prevista en el correspondiente plan de gestión el que será aprobado por el

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

Sin perjuicio de otras medidas de difusión, los sujetos comprendidos en este artículo, estarán obligados a

exhibir cartelera visible al público y brindar información a los consumidores sobre el mecanismo de

devolución y retornabilidad de los envases de los productos que comercialicen. Será de cargo de los

fabricantes e importadores titulares de los respectivos planes de gestión, proporcionar dicha cartelera e

información completa y adecuada.

Artículo 8º. (De los operadores).- Toda persona física o jurídica que cumpla tareas inherentes a cualquiera

de las operaciones relacionadas con el cumplimiento de un plan de gestión, deberá ser identificada. El

mismo deberá ser acreditado en el marco del procedimiento de aprobación o actualización del plan de

gestión correspondiente, bajo la responsabilidad del fabricante o importador titular del mismo.

Artículo 9º. (Alcance del sistema).- El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente,

establecerá los plazos y condiciones para la efectiva aplicación de la presente ley, los que nunca excederán

los tres años a partir de la promulgación de la misma, teniendo en cuenta a tales efectos, los sectores,

regiones o tipo de envases o productos puestos en el mercado.

No obstante ello, dentro de los ciento ochenta días de la vigencia de la presente ley, dictará las disposiciones necesarias para que la misma sea aplicable a los embotelladores o importadores de aguas,

refrescos u otros líquidos destinados al consumo humano o que sirvan para la preparación o cocción de

alimentos con el mismo destino, así como aquellos que contengan soluciones aptas para la

desinfección y la

limpieza. Están comprendidas las bolsas de plástico como envases y envoltorios.

Artículo 10. (Prohibiciones).- A partir de las fechas que correspondan, según lo previsto en el artículo

anterior, queda prohibida la fabricación, importación, comercialización, venta, distribución y entrega a

cualquier título, de aquellos productos alcanzados por la presente ley, que no se encuentren comprendidos

en un plan de gestión o sistema integrado de gestión de los residuos de envases, envases usados y

envoltorios de plástico.

Artículo 11. (Competencia).- Cométese al Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente,

a través de la Dirección Nacional de Medio Ambiente, la aplicación de la presente ley, así como el contralor

de su cumplimiento, de conformidad con lo previsto por la Ley N° 17.283, de 28 de noviembre de 2000. A

tales efectos, coordinará con las demás entidades públicas que corresponda.

El Ministerio de Economía y Finanzas, a través de la Dirección Nacional de Aduanas, controlará la

importación de los productos y envases comprendidos en la presente ley, para las posiciones arancelarias

correspondientes.

Los Gobiernos Departamentales, en el ámbito de su competencia, dictarán las normas complementarias que

aseguren el cumplimiento de la presente ley y que coadyuven a la ejecución de los planes de gestión

previstos en los artículos 6° y 7° de la misma, especialmente con la finalidad de evitar su inclusión como

parte de los residuos sólidos comunes o domiciliarios.

Artículo 12. (Sanciones).- La violación de las normas contenidas en la presente ley o su reglamentación

constituyen actos de contaminación grave del medio ambiente.

Como tales, darán lugar a la aplicación de las sanciones en lo pertinente previstas por la Ley N° 17.283, de

28 de noviembre de 2000.

Sala de Sesiones de la Cámara de Representantes, en Montevideo, a 16 de noviembre de 2004.

LUIS JOSÉ GALLO IMPERIALE, 4to. Vicepresidente. Horacio D. Catalurda, Secretario.

MINISTERIO DE VIVIENDA, ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y MEDIO AMBIENTE
MINISTERIO DE

ECONOMÍA Y FINANZAS MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS
MINISTERIO DE

INDUSTRIA, ENERGÍA Y MINERÍA MINISTERIO DE SALUD PÚBLICA

Montevideo, 29 de noviembre de 2004.

Habiendo expirado el plazo previsto en la Constitución de la República y de conformidad con lo establecido

por su artículo 144 cúmplase, acúcese recibo, comuníquese, publíquese e insértese en el Registro Nacional

de Leyes y Decretos.

BATLLE. SAÚL IRURETA. ISAAC ALFIE. GABRIEL PAIS. JOSÉ VILLAR. CONRADO BONILLA.

Montevideo, Uruguay. Poder Legislativo.

Decreto 260/007 Reglamentación Uso envases no retornables.

Sanción Promulgación Publicación Vigencia

23/07/2007 30/07/2007

VISTO: la Ley N° 17.849, de 29 de noviembre de 2004, que declaró de interés general, la protección del ambiente

contra toda afectación que pudiera derivarse de los envases cualquiera sea su tipo, así como del manejo y

disposición de los residuos de los mismos;

RESULTANDO: I) que la referida norma faculta al dictado de las providencias y aplicación de las medidas

necesarias para regular los tipos de envases y prevenir la generación de residuos, promoviendo la reutilización,

reciclado y demás formas de valorización de los residuos de envases, con la finalidad de evitar su inclusión como

parte de los residuos sólidos comunes o domiciliarios;

II) que a tales efectos, el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente convocó un grupo de

trabajo multidisciplinario e interinstitucional, con el cometido de analizar las formas de implementación de los

sistemas de valorización de envases, considerando los aspectos ambientales, sociales y económicos, de forma de

enriquecer la propuesta de reglamentación que se elaboró;

CONSIDERANDO: I) que la política ambiental nacional debe basarse en la prevención de los efectos perjudiciales

de las actividades sobre el ambiente, como principio prioritario previsto en la Ley N° 17.283, de 28 de noviembre

de 2000 (Ley General de Protección del Ambiente);

II) que ello implica que la responsabilidad de los propietarios de marca e importadores de los bienes que son

puestos en el mercado, también comprende aquella relativa a la efectiva implementación de las medidas

preventivas ambientales necesarias y a la operación de los sistemas de valorización de residuos de envases, sin

perjuicio de la asunción de sus respectivas responsabilidades por los demás sectores involucrados;

III) que en función de la situación socio-económica, el Poder Ejecutivo ha entendido conveniente viabilizar

procesos de inclusión social en los sistemas de gestión de residuos de envases que se implementen, de forma

que consideren adecuadamente a quienes los clasifican y se constituyan en una forma de apoyo a la generación

de puestos de trabajo formales;

IV) que el Poder Ejecutivo comparte la conveniencia de aprobar la propuesta de reglamento elaborada por el

Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente;

ATENTO: a lo precedentemente expuesto y a lo dispuesto por los artículos 47 y 168 numeral 4° de la Constitución

de la República, por la Ley N° 17.283, de 28 de noviembre de 2000, y por la Ley N° 17.849, de 29 de noviembre

de 2004;

EL PRESIDENTE DE LA REPUBLICA

DECRETA:

Artículo 1°. (Ámbito de aplicación)

Quedan comprendidos en este reglamento, todos los envases primarios puestos en el mercado, cualquiera sea su

tipo y material, a excepción de aquellos envases que sean de uso y consumo exclusivo de productos utilizados por

actividades industriales, comerciales o agropecuarias, los cuales se regulan por las normas ambientales generales

y por la reglamentación específica que se establezca.

A tales efectos, se establecen los siguientes tipos de productos envasados:

a) Tipo I: Líquidos de consumo humano, líquidos que sirvan para la preparación o cocción de alimentos y artículos

para la desinfección y limpieza del hogar.

b) Tipo II: Otros productos de consumo humano no incluidos en el tipo I y artículos de

perfumería, cosmética y
tocador.

c) Tipo III: Otros productos envasados no incluidos en los tipos I y II.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente podrá determinar el listado de productos incluidos en cada tipo, pudiendo diferenciar por sectores, por regiones o por características o volúmenes de los envases correspondientes a los mismos.

Artículo 2°. (Propietarios de marca o importadores de productos envasados)

Toda persona física o jurídica, propietaria o representante de una marca de productos que se comercialicen en el

mercado interno, que queden comprendidos en el alcance del presente reglamento, deberán estar inscriptos en el

registro que llevará la Dirección Nacional de Medio Ambiente a estos efectos, y, contar o adherir a un plan de

gestión de residuos de envases, aprobado por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio

Ambiente.

Los propietarios o representantes de las marcas serán responsables directos por el diseño, operación y

mantenimiento de los planes de gestión de residuos de envases.

La Dirección Nacional de Medio Ambiente expedirá los certificados de inscripción correspondientes, por el plazo

de un año, cuando el interesado haya cumplido debidamente con la inscripción en el registro y cuente con un plan

de gestión de residuos de envases aprobado y en operación.

Artículo 3°. (Otras obligaciones de los importadores o propietarios de marcas)

En forma adicional a lo establecido en el artículo precedente, los propietarios de marca o importadores de

productos incluidos dentro del alcance de la presente reglamentación, deberán:

a) Introducir la variable ambiental en el diseño de los envases de sus productos, a través de la implementación de

acciones tendientes a minimizar la generación de residuos de envases y facilitar la valorización de los mismos. A

estos efectos, al Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente podrá establecer plazos en los

cuales deberán ser presentados los planes por sector de actividad.

b) Identificar los envases plásticos utilizados en sus productos, de acuerdo al instructivo que establecerá la

Dirección Nacional de Medio Ambiente, a los efectos de facilitar su proceso de valorización.

c) Incluir en los productos comprendidos en los planes de gestión el símbolo identificador que será aprobado por

el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente. Esta obligación no será de aplicación a los

stocks de productos existentes a la fecha de la publicación del presente.

d) Proporcionar toda la información que sea necesaria a los comerciantes e intermediarios, así como la cartelería

que se establezca en el plan.

Artículo 4º. (Planes de gestión)

Los planes de gestión de residuos de envases deberán ser aprobados por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento

Territorial y Medio Ambiente y contemplar las siguientes pautas:

a) Establecer el correspondiente ámbito de aplicación y los mecanismos, porcentajes y plazos de cumplimiento de

los objetivos de reducción, retornabilidad, reciclado y valorización.

b) Tender a la implementación a escala nacional y en forma gradual, de circuitos de recolección limpios, eficientes

y seguros. La gradualidad refiere a la cobertura geográfica y al porcentaje de recuperación de envases no

retornables.

c) Contribuir a la inclusión social de los clasificadores, a través de la formalización del trabajo en los sistemas de

recolección, clasificación y/o valorización de envases, contemplando la realidad social de cada área geográfica.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente podrá establecer pautas específicas en torno

a metas de recuperación de envases y áreas geográficas y el Ministerio de Desarrollo Social las correspondientes

a la inclusión social.

Artículo 5°. (Contenido de los planes de gestión)

Los planes de gestión de residuos de envases deberán incluir el detalle, la forma y demás condiciones en que se

realice la devolución, la recolección, el transporte, el depósito transitorio y la valorización de los residuos de

envases y el destino final de los materiales no valorizables, los procesos de inclusión social y los mecanismos de

registro y control necesarios para verificar los resultados del plan.

Deberán contemplar además la integración efectiva de los distribuidores y puntos de venta al consumo.

Artículo 6°. (Integración de los planes de gestión)

Para mejorar la eficacia y la eficiencia del sistema de recuperación de residuos de envases, el Ministerio de

Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente tendrá en cuenta en la aprobación de los planes de gestión,

sus posibilidades de integración con otros existentes o a crearse, priorizando aquellos que tengan carácter

grupales frente a los individuales. La presentación de planes individuales de un sector o empresa deberá estar

debidamente justificada.

En todo caso, se considerará especialmente el tratamiento hacia las pequeñas y medianas empresas.

Para la aprobación de los planes deberá conocerse la opinión de la Intendencia correspondiente, la que deberá

recabarse por la Dirección Nacional de Medio Ambiente en caso que no se encuentre incluida en la presentación

por el interesado. Transcurridos 30 (treinta) días corridos desde la fecha de la solicitud de opinión, sin respuesta

departamental, se considerará que no existen objeciones de parte de la Intendencia respectiva.

Artículo 7°. (Límite de operación de los planes)

Establézcase como límite para iniciar la operación de los planes de gestión de residuos de envases

correspondientes, los siguientes plazos, contados a partir de la publicación del presente:

- a) Para los productos incluidos en el tipo I: 45 (sesenta) días corridos.
- b) Para los productos incluidos en el tipo II: 180 (ciento ochenta) días corridos.
- c) Para los productos incluidos en el tipo III: 360 (trescientos sesenta) días corridos.

Artículo 8°. (De los envasadores para terceros)

Toda persona física o jurídica que envase o proceda a envasar para terceros, productos que se encuentran dentro

del alcance de la presente reglamentación, deberán inscribirse en el registro que al efecto llevará la Dirección

Nacional de Medio Ambiente.

En los casos en que el interesado ya estuviera inscripto en el registro de propietarios de marca, quedará

exonerado de realizar un segundo registro, siempre que declare en el registro ya efectuado, la información

correspondiente a las actividades de envasado para terceros.

Artículo 9°. (De los fabricantes e importadores de envases)

Toda persona física o jurídica fabrique o importe envases terminados o preconformados o sus materias primas con

destino a la fabricación de envases, deberán inscribirse en el registro que al efecto llevará la Dirección Nacional de

Medio Ambiente.

Transcurridos 6 (seis) meses desde la publicación del presente, sólo podrán importar o fabricar envases

terminados o preconformados, quienes cuenten con el certificado de inscripción en el registro correspondiente

expedido por la Dirección Nacional de Medio Ambiente.

Artículo 10. (Plazos de aplicación)

Transcurridos 12 (doce) meses desde la publicación del presente:

- a) Queda prohibido fabricar o importar para su comercialización en el territorio nacional, productos incluidos en la presente reglamentación, por quienes no cuenten con el certificado de inscripción vigente;
- b) Sólo podrán envasar productos incluidos en el alcance de este decreto, quienes cuenten con el certificado de inscripción vigente;
- c) Queda prohibido envasar productos para propietarios de marcas que no cuenten con el certificado de registro correspondiente;
- d) Los fabricantes e importadores de envases sólo podrán vender o entregar envases a cualquier título, a quienes mediante el correspondiente certificado, acrediten encontrarse inscriptos en el registro que se establece para empresas envasadoras y propietarias de marcas.

Quienes proyecten introducir, fabricar o envasar para su comercialización en el territorio nacional, productos incluidos en el alcance de la presente reglamentación, pero no comprendidos en los registros efectuados, deberán en forma previa, actualizar el registro realizado o inscribirse en el registro cuando así correspondiere.

Artículo 11. (Inscripción y registro)

Las inscripciones previstas en este decreto, deberán efectuarse en el registro que a tales efectos llevará la

Dirección Nacional de Medio Ambiente, dentro de los plazos siguientes, contados a partir de la publicación del

presente:

- a) Para los propietarios de marca o importadores de productos envasados incluidos en el alcance del presente decreto, así como para los envasadores de dichos productos para terceros, dentro de los 45 (cuarenta y cinco) días corridos para los productos incluidos en el tipo I, dentro de los 120 (ciento veinte días) corridos para los productos incluidos en el tipo II, y, dentro de los 240 (doscientos cuarenta) días corridos para

los productos

incluidos en el tipo III; y,

b) Para los fabricantes e importadores de envases que revistan tal calidad a la fecha de aprobación del presente,

dentro de los 60 (sesenta) días corridos.

La modificación de los envases deberá ser comunicado a la Dirección Nacional de Medio Ambiente, de forma de

actualizar el registro correspondiente, en forma previa a la puesta en el mercado.

Artículo 12. (Renovación del registro)

Antes del 30 de marzo de cada año, los sujetos a registro según lo previsto en el presente decreto, deberán

presentar ante la Dirección Nacional de Medio Ambiente, una declaración jurada anual, de acuerdo al instructivo

que establezca oportunamente el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, como

requisito necesario para la renovación del certificado de registro.

Las declaraciones juradas deberán incluir información sobre la cantidad y tipo de productos envasados o

comercializados, discriminados por tipo de envase, según corresponda; o, deberán incluir información sobre la

cantidad y tipo de envases fabricados o importados, discriminando los clientes.

Artículo 13. (De los comerciantes, intermediarios y grandes superficies comerciales)

Los comerciantes, intermediarios y grandes superficies comerciales, estarán obligados a exhibir cartelera visible

al público y brindar la información a los consumidores sobre los mecanismos de devolución y retornabilidad de los

envases de los productos que comercialice, de acuerdo a los requerimientos que se establezca como necesarios

en el o los planes de gestión de envases de aquellos productos en los que intervenga para su colocación en el

mercado.

Los comerciantes y centros de venta al consumo y demás intermediarios en la cadena de

distribución y

comercialización de los productos incluidos en el alcance de la presente reglamentación deberán habilitar la

recepción de envases de acuerdo a lo que se establezca en el o los planes de gestión de envases de aquellos

productos que comercializa.

Quedarán exonerados de esta obligación los pequeños comercios que por razones de espacio no cuenten con la

posibilidad de destinar un área para la recepción de envases.

Todos los establecimientos comerciales de grandes superficies deberán disponer un área custodiada dentro de su

predio, para la instalación de islas de recepción de envases usados, de acuerdo a lo que se establezca en el o los

planes de gestión respectivos.

Los establecimientos comerciales de grandes superficies que comercialicen artículos alimenticios y de uso

doméstico, deberán implementar acciones tendientes a minimizar de generación de residuos de bolsas plásticas.

A tales efectos en un plazo de 120 (ciento veinte) días corridos desde la publicación de este decreto, deberán

presentar un plan de acción para la aprobación por la Dirección Nacional de Medio Ambiente. Dichos planes

deberán contemplar el uso racional de las bolsas, el reuso y el reciclado.

Artículo 14. (De las empresas recicladoras)

Toda persona física o jurídica que recicle materiales de envases de productos incluidos en el alcance de la

presente reglamentación, sólo podrá ser incluido como parte de un plan de gestión, si se encuentra inscripto en el

registro correspondiente que llevará la Dirección Nacional de Medio Ambiente y cumple las condiciones que al

efecto establezca el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.

Artículo 15. (Información y contralor)

Los sujetos alcanzados por el presente decreto, quedan obligados a proporcionar a la Dirección Nacional de Medio

Ambiente, para su uso con fines estadísticos y de contralor, los datos y demás informaciones de sus operaciones

relativas a la fabricación, importación, comercialización, venta de envases y productos incluidos en la presente

reglamentación, así como a las operaciones de recolección, transporte, clasificación y valorización que se realice

en el marco de los planes de gestión aprobados.

La Dirección Nacional de Medio Ambiente implementará un servicio público de información sobre operadores

registrados y planes de gestión de envases aprobados, identificando el tipo de productos y envases incluidos, así

como los materiales que puedan procesar.

El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente establecerá las características operativas de

los registros, disponiendo la accesibilidad por medios electrónicos, salvo respecto de aquella información que

hubiera sido declarada como reservada por el interesado, aspecto que deberán comunicar oportunamente a la

Dirección Nacional de Medio Ambiente, que resolverá en definitiva.

Artículo 16. (Gobiernos departamentales)

Exhórtase a los gobiernos departamentales a cooperar con el sistema de retornabilidad y tratamiento previsto en el

presente, en especial, mediante la adopción de medidas que:

- a) Coadyuven a la ejecución de los planes de gestión de envases;
- b) Viabilicen el sistema de recolección selectiva de envases para su clasificación y valorización; y,
- c) Eviten la inclusión de estos residuos como parte de los residuos sólidos comunes o domiciliarios.

Artículo 17. (Comisión de seguimiento)

A los efectos de asesorar al Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente en la aplicación del

presente reglamento, se crea una Comisión de seguimiento, que estará integrada por dos representantes de:

- a) el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, uno de los cuales la presidirá;
- b) el Ministerio de Desarrollo Social;
- c) el Congreso de Intendentes;
- d) la Cámara de Industrias del Uruguay;
- e) la Cámara de Comercio y Servicios del Uruguay;
- f) la Asociación de Recicladores de plástico del Uruguay;
- g) las organizaciones de clasificadores, que serán designados por el Ministerio de Desarrollo Social, y,
- h) las organizaciones de la sociedad civil que estén participando en los planes de gestión, que serán designadas por el Ministerio de Desarrollo Social.

Artículo 18. (Incumplimiento y sanciones)

Sin perjuicio de los cometidos que corresponde al Ministerio de Economía y Finanzas, a través de la Dirección

Nacional de Aduanas, las infracciones a las disposiciones del presente decreto serán sancionadas por el Ministerio

de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, a través de la Dirección Nacional de Medio Ambiente,

según lo establecido en el artículo 6° de la Ley N° 16.112, de 30 de mayo de 1990, y, en el artículo 15 de la Ley N°

17.283, de 28 de noviembre de 2000.

A los efectos de la aplicación de las sanciones correspondientes, se considerarán infracciones graves, las que se

detallan a continuación:

- a) Afectar o provocar daños al ambiente, incluida la salud humana, por el inadecuado manejo de residuos de envases.
- b) Fabricar, importar, comercializar, vender, distribuir y entregar a cualquier título productos incluidos en el alcance

de la presente reglamentación sin contar con un plan de gestión de residuos de envases aprobado y en operación

fuera de los plazos establecidos en el artículo 7°.

c) Fabricar o importar envases sin contar con certificado de inscripción y/o vender o entregar a cualquier título

envases a personas que no cuenten con el certificado correspondiente a los propietarios de marca, de acuerdo a

lo establecido en la presente reglamentación.

d) Envasar productos incluidos en el alcance de este decreto sin contar con el certificado de inscripción

establecido para las empresas envasadoras y/o envasar productos para propietarios de marca que no cuenten con

el certificado de registro correspondiente de acuerdo a lo establecido en la presente reglamentación.

e) Reciclar o valorizar residuos de envases comprendidos en un plan de gestión de envases, sin contar con el

certificado de registro correspondiente, de conformidad con lo establecido en el artículo 14 de este decreto.

f) Reunir las condiciones de establecimiento comercial de gran superficie y no proceder a la instalación de las islas

de recepción de envases de acuerdo a lo previsto en el plan de gestión de residuos de envases aprobado.

g) Reunir las condiciones de establecimiento comercial de gran superficie que comercialice artículos alimenticios y

de uso doméstico sin haber presentado para la aprobación, el correspondiente plan de acción para minimizar el

uso de bolsas plásticas.

h) Incumplimientos del plan de gestión de residuos de envases aprobado, que por su magnitud cuantitativa,

cualitativa o pública, afectara el sistema de gestión de envases previstos en este decreto.

i) Presentar información falsa a la Administración.

j) Obstaculizar la labor de contralor de la Dirección Nacional de Medio Ambiente.

Las demás infracciones serán consideradas de leves a graves en función del grado de

apartamiento de las

obligaciones establecidas en este decreto y/o las inscripciones, autorizaciones y habilitaciones correspondientes,

así como de los antecedentes administrativos de los actores involucrados en las mismas. La reiteración de

infracciones leves se computará como grave.

Artículo 19. (Multas)

Las multas que corresponda imponer por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente,

como consecuencia de las infracciones al presente decreto, serán aplicadas de la siguiente forma:

a) Infracciones consideradas leves y que impliquen únicamente incumplimientos administrativos, entre 50 y 1000

UR (unidades reajustables);

b) Infracciones consideradas leves pero cuyas consecuencias van más allá de un mero incumplimiento

administrativo, entre 100 y 4000 UR (unidades reajustables); y,

c) Infracciones consideradas graves, entre 200 y 7000 UR (unidades reajustables).

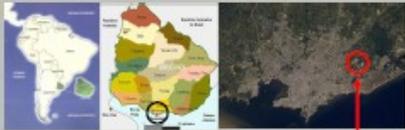
Artículo 20. (Otras disposiciones)

Las disposiciones contenidas en este decreto son sin perjuicio de los requerimientos previstos en otras normas

aplicables a la materia objeto del presente.

Artículo 21. Comuníquese, publíquese, etc.

ANEXO 7 – XXXIII CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, AIDIS (Junio 2012).

  <p>ESTUDIO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO URUGUAY</p> <p>Autores: Pablo Kok, Mauro D'Angelo Co Autores: Elizabeth González, Julieta López, Nicolás Rezzano Departamento de Ingeniería Ambiental, IMFIA Facultad de Ingeniería – Universidad de la República Uruguay Junio 2012</p>	<p>CONTENIDO</p> <ul style="list-style-type: none"> MOTIVACIONES OBJETIVOS ACTIVIDADES RESULTADOS ANÁLISIS CONCLUSIONES
<p>CONTENIDO</p> <ul style="list-style-type: none"> MOTIVACIONES OBJETIVOS ACTIVIDADES RESULTADOS ANÁLISIS CONCLUSIONES 	<p>MOTIVACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> • URUGUAY <ul style="list-style-type: none"> • Capital: Montevideo • Población: 1.700.000 hab • Área: 525 km² • Densidad: 3.240 hab/km²  <p>Disposición Final</p>
<p>MOTIVACIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Escasa vida útil remanente del sitio de disposición final existente. • Oportunidad de promover la separación en origen. • Oportunidad de valorizar parte de los RSD. • Falta de datos actualizados de composición de RSD en origen.  <p>Felipe Cardozo</p>	<p>CONTENIDO</p> <ul style="list-style-type: none"> MOTIVACIONES OBJETIVOS ACTIVIDADES RESULTADOS ANÁLISIS CONCLUSIONES

OBJETIVOS

- Analizar comparativamente alternativas de valorización y disposición final de residuos sólidos domiciliarios (RSD) en la ciudad de Montevideo.
- Proponer la que resulte más apropiada para desarrollar en el futuro.

MOTIVACIONES

OBJETIVOS

ACTIVIDADES

RESULTADOS

ANÁLISIS

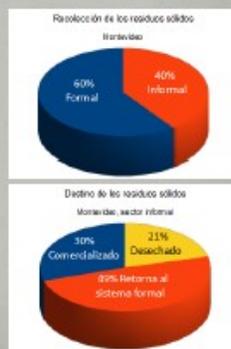
CONCLUSIONES

CONTENIDO

ACTIVIDADES

Caracterización de RSD en origen

- Composición de RSD
- Tasas de generación
- Determinación de parámetros



ACTIVIDADES

Diseño del muestreo:

1. Se divide a la población montevideana en dos áreas homogéneas según su nivel socioeconómico.
2. Se calcula el número de hogares a muestrear en cada área asumiendo un 5 % de error y normalidad en la generación de RSD.
3. Tiempo de muestreo = 10 días.

Área homogénea	Nº de habitantes	Hogares a muestrear
1	704385	35
2	621583	24

ACTIVIDADES

- Muestreo realizado:
- Convocatoria a estudiantes universitarios para la realización de un Ciclo Taller de Extensión titulado: "Valorando tu basura"



ACTIVIDADES

Muestreo realizado:

1er Taller	Introducción a la gestión y disposición de los residuos sólidos.
2do Taller	Descripción de la actividad de campo y justificación de la misma.
3er Taller	Presentación y discusión de los resultados obtenidos.
4to Taller	Análisis de las posibles formas de valorización de RSD.
Asistentes al Taller	30
Área homogénea	1
Error muestral	5,5 %

ACTIVIDADES

- *Muestreo realizado:*
- Recolección de RSD
- Determinación de composición en peso y volumen
- Determinación de PPC y VPC
- Muestreo para ensayos
- Realización de ensayos de laboratorio



MOTIVACIONES

OBJETIVOS

ACTIVIDADES

RESULTADOS

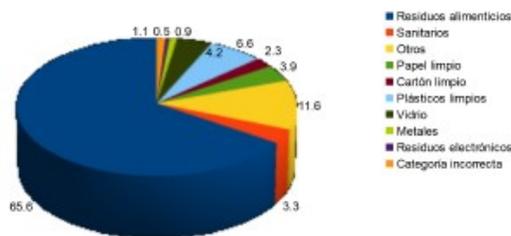
ANÁLISIS

CONCLUSIONES

CONTENIDO

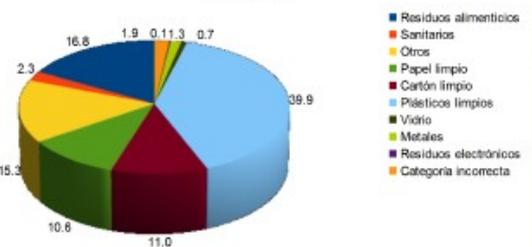
RESULTADOS

Composición resultante en peso
Promedio

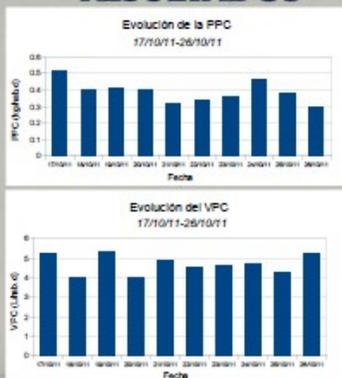


RESULTADOS

Composición resultante en volumen
Promedio



RESULTADOS



RESULTADOS

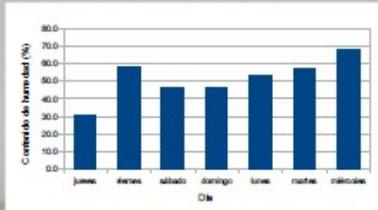


PPC media (Kg/hab/d)	0,39
VPC media (L/hab/d)	4,7
Densidad media (Kg/m³)	83,5

RESULTADOS

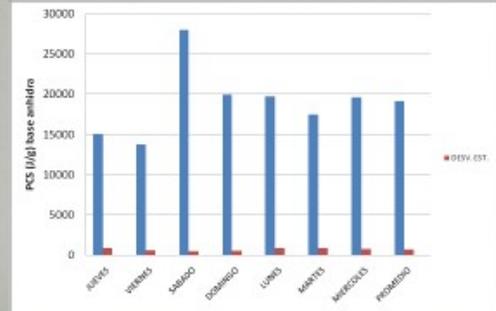
- Ensayo de contenido de humedad:

Compuestas		No reciclables	
Media (%)	Desviación Estándar (%)	Media (%)	Desviación Estándar (%)
57,3	12,0	72,0	9,6



RESULTADOS

- Ensayo de poder calorífico:



RESULTADOS

- Validación del muestreo:
 - Norma ASTM D5231-92 (2008)
 - Mínimo número de muestras necesario para conocer la composición de los residuos sólidos por componente.
 - Norma NMX-AA-061-1985
 - Verificar, a partir de un tamaño de premuestra elegido, el tamaño de la muestra a tomar.
 - Norma ASTM D6311-98 (2009)
 - Procedimiento para estimar, en función del muestreo realizado, el error cometido en la determinación de la PPC y el VPC.

MOTIVACIONES

OBJETIVOS

ACTIVIDADES

RESULTADOS

ANÁLISIS

CONCLUSIONES

CONTENIDO

ANÁLISIS

- Proyección de la generación de residuos para la ciudad de Montevideo:
 - Test de D'Agostino: Distribución normal de PPC para hogares de 2, 3 y 4 habitantes.
 - Cálculo de hab/hogar medio por barrio.
 - Asignación de la PPC media correspondiente a cada barrio.

Generación estimada	
Peso (Ton/d)	550
Volumen (m ³ /d)	6235

ANÁLISIS

- Alternativas propuestas:
 - 1: Reciclaje + Incineración + Relleno Sanitario
 - 2: Reciclaje + Relleno Sanitario
 - 3: Reciclaje + Biodigestor anaerobio + Relleno Sanitario

Todas las alternativas propuestas suponen una separación de los RSD en origen similar a la utilizada en el taller.

ANÁLISIS

- *Análisis comparativo de las alternativas propuestas:*
10 criterios de comparación

1. *Área necesaria*
2. *Emisiones*
3. *Complejidad operativa*
4. *Control y Monitoreo*
5. *Accesibilidad*
6. *Riesgos Ambientales*
7. *Inversión inicial*
8. *Flexibilidad en la recepción de residuos*
9. *Costos operativos*
10. *Mano de obra necesaria*

ANÁLISIS

- *Selección de la alternativa más adecuada*
- Ninguna resulta de aplicación obvia.
- Criterios que resultan limitantes.
- Solución teóricamente válida para la totalidad de los RSD de Montevideo.

ALTERNATIVA 1

CONTENIDO

MOTIVACIONES

OBJETIVOS

ACTIVIDADES

RESULTADOS

ANÁLISIS

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Se propone desarrollar teóricamente la Alternativa 1 para tratar la totalidad de los RSD generados en Montevideo.
- La incineración de RSD en la Alternativa 1 tiene como principal objetivo la reducción del volumen de los residuos.
- La eficiencia de clasificación fue muy alta. Buen antecedente para futura realización de actividades similares.

MUCHAS GRACIAS!



Contacto: residuosproyecto@gmail.com



XXXIII CONGRESO INTERAMERICANO
DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
"SANEAMIENTO AMBIENTAL: LA EXCELENCIA DE LA GESTION
COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA SUSTENTABILIDAD"



C E R T I F I C A D O

Certificamos que o(a) Sr(a)

Pablo Kok

Ha participado del XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, realizado en Salvador, Bahia, Brasil, en el período del 03 al 07 de Junio de 2012, como autor(a) del 1 trabajo técnico listado abajo.

Certificado No: 21A

Cassilda Teixeira de Carvalho
Presidente Nacional da ABES

Rafael Dautant
Presidente da AIDIS

III-210 : Apresentação Oral
ESTUDIO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY



XXXIII CONGRESO INTERAMERICANO
DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL
"SANEAMIENTO AMBIENTAL: LA EXCELENCIA DE LA GESTION
COMO UNA ESTRATEGIA PARA LA SUSTENTABILIDAD"



C E R T I F I C A D O

Certificamos que o(a) Sr(a)

Mauro D'Angelo

Ha participado del XXXIII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, realizado en Salvador, Bahia, Brasil, en el período del 03 al 07 de Junio de 2012, como autor(a) del 1 trabajo técnico listado abajo.

Certificado No: 21A

Cassilda Teixeira de Carvalho
Presidente Nacional da ABES

Rafael Dautant
Presidente da AIDIS

III-210 : Apresentação Oral
ESTUDIO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY

ANEXO 8 – RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE PODER CALORÍFICO

LABORATORIO TECNOLÓGICO DEL URUGUAY
Departamento de Proyectos Forestales



Ensayo de poder calorífico con bomba calorimetrica según PEC.PFO.017

Cliente: FACULTAD INGENIERIA - UDELAR Fecha: 22/03/12
Nº solicitud: 39271 Analista: MC / FT / AC
Nº muestra: 625434

PODER CALORIFICO SUPERIOR (PCS) J/g

ID MUESTRA	CH (%)	PCS (J/g) base húmeda		PCS (J/g) base anhidra	
	base húmeda	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
JUEVES	73,2	4042	246	15056	916
VIERNES	56,3	6020	280	13772	640
SABADO	70,2	8363	164	28015	549
DOMINGO	82,3	3533	99	19986	559
LUNES	67,4	6430	285	19741	874
MARTES	85,3	2566	129	17488	878
MIERCOLES	72,6	5396	209	19663	763

CH: contenido de humedad

PCS: poder calorífico superior

Número de replicas por muestra = 6

Estos datos solo podrán ser reproducidos parcial o totalmente con la autorización previa escrita del LATU.

ANEXO 9 – Planillas diarias para registro

17 – 10 - 2011

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,25	1,20	300	150	0,73
2	3	SI	0,60	0,40	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,33
3	6	SI	0,55	0,60	38,5	219,0	0,19
4	4	SI	0,40	0,45	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,21
5	3	SI	0,80	2,55	0,13	0,38	1,12
6	2	SI	0,65	0,65	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,65
7	3	SI	0,95	0,95	3,49	1,74	0,63
8	1	SI	0,10	0,35			0,45
9	4	SI	0,00	0,30	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,08
10	3	NO	-	-	0,52	5,23	-
11	7	SI	0,60	0,95			0,22
12	4	SI	0,45	1,30			0,44
13	4	SI	0,20	1,55			0,44
14	4	SI	0,70	2,65			0,84
15	2	SI	0,25	0,20			0,23
16	4	SI	0,15	2,50			0,66
17	2	SI	0,20	0,10			0,15
18	3	SI	0,00	0,65			0,22
19	2	SI	0,05	0,10			0,08
20	2	SI	0,00	1,30			0,65
21	3	SI	0,20	1,00			0,40
22	1	SI	0,05	0,30			0,35
23	3	SI	0,35	2,60			0,98
24	2	SI	0,25	0,45			0,35
25	3	SI	0,40	4,35			1,58
26	2	SI	0,05	0,20			0,13
27	3	NO	-	-			-
28	3	SI	0,40	2,00			0,80
29	3	SI	2,30	1,15			1,15
30	4	SI	0,65	2,05			0,68
		Total rec.	Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	Peso tot (kg) y Peso tot componentes (kg) no tienen que coincidir porque en un día pueden ser clasificados residuos correspondientes a otra fecha.
		28	11,55	32,85	44,4	450	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					36,55	375,9	

Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
23,45	70,2	52,82	15,60
2,15	19,2	4,84	4,27
2,05	62,0	4,62	13,78
0,10	2,0	0,23	0,44
0,00	0,0	0,00	0,00
0,05	2,0	0,11	0,44
0,00	0,0	0,00	0,00
0,25	2,0	0,56	0,44
0,30	1,5	0,68	0,33
0,05	0,0	0,11	0,00
1,00	46,0	2,25	10,22
1,20	85,0	2,70	18,89
0,00	0,0	0,00	0,00
0,00	0,0	0,00	0,00
0,20	10,0	0,45	2,22
0,35	5,0	0,79	1,11
0,05	1,0	0,11	0,22
0,70	50,0	1,58	11,11
0,35	0,0	0,79	0,00
3,65	4,0	8,22	0,89
0,20	0,0	0,45	0,00
0,10	0,0	0,23	0,00
0,00	0,0	0,00	0,00
0,35	16,0	0,79	3,56
Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
23,45	70,2	52,82	15,60
2,15	19,2	4,84	4,27
2,05	62,0	4,62	13,78
0,70	7,5	1,58	1,67
1,05	46,0	2,36	10,22
2,50	151,0	5,63	33,56
4,00	4,0	9,01	0,89
0,30	0,0	0,68	0,00
0,00	0,0	0,00	0,00
0,35	16,0	0,79	3,56

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,10	2,00	250	112,1	1,05
2	3	SI	0,60	0,75	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,45
3	6	SI	0,30	0,65	25,0	271,6	0,16
4	4	SI	0,20	2,00	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,55
5	3	SI	0,20	1,85	0,07	0,33	0,68
6	2	SI	0,70	0,30	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,50
7	3	SI	0,25	2,25	2,75	1,23	0,83
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,10	0,15	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,06
10	3	SI	0,45	1,00	0,40	3,98	0,48
11	7	SI	0,10	2,15			0,32
12	4	SI	0,10	2,05			0,54
13	4	SI	0,15	0,95			0,28
14	4	SI	0,05	0,20			0,06
15	2	SI	0,20	1,00			0,60
16	4	SI	0,15	1,35			0,38
17	2	SI	0,25	0,65			0,45
18	3	SI	0,30	1,30			0,53
19	2	SI	0,00	0,00			0,00
20	2	SI	0,10	0,05			0,08
21	3	SI	0,05	1,95			0,67
22	1	SI	0,00	0,25			0,25
23	3	SI	0,20	0,60			0,27
24	2	SI	0,10	0,00			0,05
25	3	SI	0,10	2,15			0,75
26	2	SI	0,00	0,10			0,05
27	3	SI	0,80	0,90			0,57
28	3	SI	0,25	0,95			0,40
29	3	SI	0,25	1,20			0,48
30	4	SI	0,20	1,70			0,48
Total rec.			Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
			29	6,25	30,45	36,7	362,1
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					31,5	359,1	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	22,30	50,0	60,76	13,81
Sanitarios	1,10	4,0	3,00	1,10
Otros	2,15	52,0	5,86	14,36
Papel blanco	0,25	22,2	0,68	6,13
Papel blanco de obra	0,05	0,5	0,14	0,14
Papel color	0,35	23,2	0,95	6,41
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,15	0,5	0,41	0,14
Otros papeles	0,10	0,0	0,27	0,00
Cartón corrugado	0,10	0,0	0,27	0,00
Cartón liso	0,60	28,3	1,63	7,82
PET	1,30	50,0	3,54	13,81
PEAD	0,00	0,0	0,00	0,00
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,15	15,2	0,41	4,20
PP	0,05	0,0	0,14	0,00
PS	0,10	15,2	0,27	4,20
Otros plásticos	0,95	90,0	2,59	24,86
Vidrio transparente	0,05	0,0	0,14	0,00
Vidrio color	0,55	1,0	1,50	0,28
Metales ferrosos	0,20	1,0	0,54	0,28
Metales no ferrosos	0,05	0,5	0,14	0,14
Residuos electrónicos	0,60	0,5	1,63	0,14
Categoría incorrecta	0,35	5,0	0,95	1,38
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	22,30	50,0	60,76	13,81
Sanitarios	1,10	4,0	3,00	1,10
Otros	2,15	52,0	5,86	14,36
Papel	0,90	46,4	2,45	12,81
Cartón	0,70	28,3	1,91	7,82
Plásticos	2,55	170,4	6,95	47,06
Vidrio	0,60	1,0	1,63	0,28
Metales	0,25	1,5	0,68	0,41
Residuos electrónicos	0,60	0,5	1,63	0,14
Categoría incorrecta	0,35	5,0	0,95	1,38

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,60	1,10	250	160	0,85
2	3	SI	0,90	1,25	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,72
3	6	SI	0,20	0,45	22,4	165,6	0,11
4	4	SI	0,25	1,85	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,53
5	3	SI	0,20	1,75	0,07	0,34	0,65
6	2	SI	0,65	0,55	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,60
7	3	SI	0,75	2,85	3,21	2,05	1,20
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,10	2,10	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,55
10	3	NO	-	-	0,41	5,26	-
11	7	SI	0,15	0,50			0,09
12	4	NO	-	-			-
13	4	SI	0,20	1,50			0,43
14	4	SI	0,25	0,35			0,15
15	2	SI	0,05	2,55			1,30
16	4	SI	0,15	1,25			0,35
17	2	SI	0,00	0,20			0,10
18	3	SI	0,15	1,10			0,42
19	2	SI	0,05	0,00			0,03
20	2	SI	0,05	0,00			0,03
21	3	NO	-	-			-
22	1	SI	0,10	0,10			0,20
23	3	SI	0,10	1,10			0,40
24	2	SI	0,05	0,50			0,28
25	3	SI	0,10	2,15			0,75
26	2	SI	0,00	0,05			0,03
27	3	SI	0,05	1,25			0,43
28	3	NO	-	-			-
29	3	SI	0,20	0,45			0,22
30	4	SI	0,30	1,55			0,46
Total rec.			Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
25			5,6	26,5	32,1	410	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					35,45	362,5	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	25,00	67,0	77,88	16,34
Sanitarios	0,85	4,0	2,65	0,98
Otros	3,20	50,0	9,97	12,20
Papel blanco	0,40	12,0	1,25	2,93
Papel blanco de obra	0,05	2,5	0,16	0,61
Papel color	0,30	18,2	0,93	4,44
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,45	4,0	1,40	0,98
Otros papeles	0,90	9,0	2,80	2,20
Cartón corrugado	0,35	13,1	1,09	3,20
Cartón liso	0,65	45,0	2,02	10,98
PET	0,90	50,0	2,80	12,20
PEAD	0,00	0,0	0,00	0,00
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,15	14,2	0,47	3,46
PP	0,15	4,5	0,47	1,10
PS	0,10	6,0	0,31	1,46
Otros plásticos	0,95	50,0	2,96	12,20
Vidrio transparente	0,00	0,0	0,00	0,00
Vidrio color	0,15	1,0	0,47	0,24
Metales ferrosos	0,10	2,0	0,31	0,49
Metales no ferrosos	0,00	0,0	0,00	0,00
Residuos electrónicos	0,50	4,0	1,56	0,98
Categoría incorrecta	0,30	6,0	0,93	1,46
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	25,00	67,0	77,88	16,34
Sanitarios	0,85	4,0	2,65	0,98
Otros	3,20	50,0	9,97	12,20
Papel	2,10	45,7	6,54	11,15
Cartón	1,00	58,1	3,12	14,17
Plásticos	2,25	124,7	7,01	30,41
Vidrio	0,15	1,0	0,47	0,24
Metales	0,10	2,0	0,31	0,49
Residuos electrónicos	0,50	4,0	1,56	0,98
Categoría incorrecta	0,30	6,0	0,93	1,46

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,40	0,25	200	150	0,33
2	3	SI	0,25	1,15	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,47
3	6	SI	0,20	2,40	31,0	191,0	0,43
4	4	SI	0,30	0,55	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,21
5	3	SI	0,15	2,95	0,07	0,33	1,03
6	2	SI	0,75	0,45	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,60
7	3	SI	0,05	1,40	2,27	1,70	0,48
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,65	1,55	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,55
10	3	SI	0,45	1,10	0,40	3,98	0,52
11	7	SI	0,15	1,15			0,19
12	4	SI	0,05	4,90			1,24
13	4	SI	0,05	1,10			0,29
14	4	SI	0,10	0,50			0,15
15	2	SI	0,20	0,30			0,25
16	4	SI	0,10	1,45			0,39
17	2	SI	0,10	1,50			0,80
18	3	SI	0,20	0,60			0,27
19	2	SI	0,30	0,15			0,23
20	2	SI	0,05	0,10			0,08
21	3	NO	-	-			-
22	1	SI	0,05	0,05			0,10
23	3	SI	0,20	0,15			0,12
24	2	SI	0,05	0,40			0,23
25	3	SI	0,00	1,10			0,37
26	2	SI	0,05	0,05			0,05
27	3	SI	0,05	1,15			0,40
28	3	SI	0,05	0,90			0,32
29	3	SI	0,95	0,75			0,57
30	4	SI	0,30	0,55			0,21
Total rec.			Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
			28	28,65	34,85	350	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					32,15	339,3	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	22,50	50,0	64,56	14,29
Sanitarios	0,15	4,0	0,43	1,14
Otros	3,90	50,0	11,19	14,29
Papel blanco	0,05	1,5	0,14	0,43
Papel blanco de obra	0,20	21,2	0,57	6,06
Papel color	0,15	16,2	0,43	4,63
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,05	2,0	0,14	0,57
Otros papeles	0,95	15,2	2,73	4,34
Cartón corrugado	0,00	0,0	0,00	0,00
Cartón liso	0,30	26,3	0,86	7,51
PET	0,55	31,3	1,58	8,94
PEAD	0,10	2,0	0,29	0,57
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,20	24,3	0,57	6,94
PP	0,05	24,3	0,14	6,94
PS	0,10	4,0	0,29	1,14
Otros plásticos	0,70	50,0	2,01	14,29
Vidrio transparente	0,60	1,0	1,72	0,29
Vidrio color	0,75	1,0	2,15	0,29
Metales ferrosos	0,35	5,0	1,00	1,43
Metales no ferrosos	0,15	4,0	0,43	1,14
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,35	6,0	1,00	1,71
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	22,50	50,0	64,56	14,29
Sanitarios	0,15	4,0	0,43	1,14
Otros	3,90	50,0	11,19	14,29
Papel	1,40	56,1	4,02	16,03
Cartón	0,30	26,3	0,86	7,51
Plásticos	1,70	135,9	4,88	38,83
Vidrio	1,35	2,0	3,87	0,57
Metales	0,50	9,0	1,43	2,57
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,35	6,0	1,00	1,71

21 – 10 – 2011

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,25	0,40	215,2	190	0,33
2	3	SI	0,25	0,90	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,38
3	6	SI	0,55	2,15	20,2	114,2	0,45
4	4	SI	0,30	0,55	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,21
5	3	SI	0,35	2,40	0,05	0,26	0,92
6	2	SI	0,15	0,55	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,35
7	3	SI	0,25	1,15	2,56	2,26	0,47
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,05	0,85	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,23
10	3	SI	0,30	0,55	0,31	4,82	0,28
11	7	SI	0,05	0,30			0,05
12	4	SI	0,05	2,50			0,64
13	4	SI	0,30	0,60			0,23
14	4	SI	0,10	0,30			0,10
15	2	SI	0,15	0,10			0,13
16	4	SI	0,15	0,90			0,26
17	2	SI	0,10	0,30			0,20
18	3	NO	-	-			-
19	2	SI	0,10	0,10			0,10
20	2	SI	0,05	0,05			0,05
21	3	NO	-	-			-
22	1	NO	-	-			-
23	3	SI	0,10	0,20			0,10
24	2	SI	0,05	0,85			0,45
25	3	SI	0,15	2,45			0,87
26	2	SI	0,00	0,10			0,05
27	3	SI	0,20	0,90			0,37
28	3	SI	0,10	0,55			0,22
29	3	SI	0,10	1,00			0,37
30	4	SI	0,15	1,00			0,29
		Total rec.	Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
		26	4,35	21,7	26,05	405,2	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					31	348,6	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	19,25	60,0	73,90	14,81
Sanitarios	2,60	22,2	9,98	5,48
Otros	4,60	50,0	17,66	12,34
Papel blanco	0,05	3,0	0,19	0,74
Papel blanco de obra	0,05	4,0	0,19	0,99
Papel color	0,20	7,0	0,77	1,73
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,00	0,0	0,00	0,00
Otros papeles	0,20	4,0	0,77	0,99
Cartón corrugado	0,00	0,0	0,00	0,00
Cartón liso	0,45	29,3	1,73	7,23
PET	0,85	56,0	3,26	13,82
PEAD	0,00	0,0	0,00	0,00
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,15	32,4	0,58	8,00
PP	0,05	3,0	0,19	0,74
PS	0,05	17,2	0,19	4,24
Otros plásticos	0,90	50,0	3,45	12,34
Vidrio transparente	0,00	0,0	0,00	0,00
Vidrio color	1,15	1,5	4,41	0,37
Metales ferrosos	0,30	5,0	1,15	1,23
Metales no ferrosos	0,05	2,0	0,19	0,49
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,10	2,0	0,38	0,49
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	19,25	60,0	73,90	14,81
Sanitarios	2,60	22,2	9,98	5,48
Otros	4,60	50,0	17,66	12,34
Papel	0,50	18,0	1,92	4,44
Cartón	0,45	29,3	1,73	7,23
Plásticos	2,00	158,6	7,68	39,14
Vidrio	1,15	1,5	4,41	0,37
Metales	0,35	7,0	1,34	1,73
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,10	2,0	0,38	0,49

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,15	0,45	250	145	0,30
2	3	SI	0,15	1,90	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,68
3	6	SI	0,45	2,60	27,0	154,5	0,51
4	4	SI	0,25	1,15	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,35
5	3	SI	0,00	0,00	0,08	0,25	0,00
6	2	SI	0,70	0,60	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,65
7	3	SI	0,35	1,05	2,84	1,65	0,47
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,00	1,00	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,25
10	3	SI	0,30	0,55	0,33	4,49	0,28
11	7	SI	0,25	0,70			0,14
12	4	SI	0,30	3,50			0,95
13	4	SI	0,20	1,30			0,38
14	4	SI	0,10	0,40			0,13
15	2	SI	0,40	0,45			0,43
16	4	SI	0,30	1,60			0,48
17	2	SI	0,30	0,10			0,20
18	3	SI	0,15	0,95			0,37
19	2	SI	0,65	0,05			0,35
20	2	SI	0,50	0,10			0,30
21	3	NO	-	-			-
22	1	SI	0,30	0,05			0,35
23	3	SI	0,00	0,15			0,05
24	2	SI	0,25	0,50			0,38
25	3	SI	0,05	0,70			0,25
26	2	SI	0,05	0,30			0,18
27	3	SI	0,25	1,55			0,60
28	3	SI	0,15	0,00			0,05
29	3	SI	0,05	0,20			0,08
30	4	SI	0,15	0,50			0,16
Total rec.			Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
28			6,75	22,4	29,15	395	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					27,2	412	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	18,00	61,2	61,75	15,49
Sanitarios	1,10	17,2	3,77	4,35
Otros	3,10	50,0	10,63	12,66
Papel blanco	0,05	3,5	0,17	0,89
Papel blanco de obra	0,15	16,2	0,51	4,10
Papel color	0,15	19,2	0,51	4,86
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,05	4,0	0,17	1,01
Otros papeles	0,15	19,2	0,51	4,86
Cartón corrugado	0,00	0,0	0,00	0,00
Cartón liso	0,60	38,4	2,06	9,72
PET	0,80	45,0	2,74	11,39
PEAD	0,35	17,2	1,20	4,35
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,15	25,3	0,51	6,41
PP	0,10	26,3	0,34	6,66
PS	0,05	3,0	0,17	0,76
Otros plásticos	0,90	50,0	3,09	12,66
Vidrio transparente	0,40	0,4	1,37	0,10
Vidrio color	0,35	0,7	1,20	0,18
Metales ferrosos	0,00	0,0	0,00	0,00
Metales no ferrosos	0,05	1,0	0,17	0,25
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,70	14,2	2,40	3,59
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	18,00	61,2	61,75	15,49
Sanitarios	1,10	17,2	3,77	4,35
Otros	3,10	50,0	10,63	12,66
Papel	0,55	62,1	1,89	15,72
Cartón	0,60	38,4	2,06	9,72
Plásticos	2,35	166,8	8,06	42,23
Vidrio	0,75	1,1	2,57	0,28
Metales	0,05	1,0	0,17	0,25
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,70	14,2	2,40	3,59

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,10	0,65	256	150	0,38
2	3	SI	0,10	1,30	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,47
3	6	SI	0,15	1,10	36,5	146,7	0,21
4	4	SI	0,85	0,80	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,41
5	3	SI	0,10	0,20	0,11	0,25	0,10
6	2	SI	0,25	1,35	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,80
7	3	SI	1,35	0,45	2,91	1,70	0,60
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,00	0,90	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,23
10	3	SI	0,20	1,20	0,36	4,61	0,47
11	7	SI	0,40	0,55			0,14
12	4	SI	0,30	2,70			0,75
13	4	SI	0,15	1,45			0,40
14	4	SI	0,60	1,10			0,43
15	2	SI	0,00	0,10			0,05
16	4	SI	0,30	1,35			0,41
17	2	SI	0,10	0,25			0,18
18	3	SI	0,05	0,95			0,33
19	2	SI	1,70	0,05			0,88
20	2	SI	0,05	0,00			0,03
21	3	NO	-	-			-
22	1	SI	0,05	0,20			0,25
23	3	SI	0,10	0,55			0,22
24	2	SI	0,10	0,80			0,45
25	3	SI	0,60	0,75			0,45
26	2	SI	0,05	0,40			0,23
27	3	SI	1,05	1,65			0,90
28	3	SI	0,00	0,00			0,00
29	3	SI	0,20	0,85			0,35
30	4	SI	0,45	0,35			0,20
		Total rec.	Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
		28	9,35	22	31,35	406	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					30,8	394,56	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	14,75	40,0	47,05	9,85
Sanitarios	0,90	10,0	2,87	2,46
Otros	5,30	65,0	16,91	16,01
Papel blanco	0,55	10,0	1,75	2,46
Papel blanco de obra	0,05	3,0	0,16	0,74
Papel color	0,25	5,0	0,80	1,23
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,40	3,5	1,28	0,86
Otros papeles	0,65	23,3	2,07	5,74
Cartón corrugado	0,00	0,0	0,00	0,00
Cartón liso	1,40	55,0	4,47	13,55
PET	0,95	56,0	3,03	13,79
PEAD	0,25	1,0	0,80	0,25
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,15	31,3	0,48	7,71
PP	0,15	5,0	0,48	1,23
PS	0,10	5,0	0,32	1,23
Otros plásticos	1,05	50,0	3,35	12,32
Vidrio transparente	1,75	3,5	5,58	0,86
Vidrio color	1,00	1,5	3,19	0,37
Metales ferrosos	0,60	14,2	1,91	3,50
Metales no ferrosos	0,05	2,0	0,16	0,49
Residuos electrónicos	0,25	0,3	0,80	0,06
Categoría incorrecta	0,25	10,0	0,80	2,46
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	14,75	40,0	47,05	9,85
Sanitarios	0,90	10,0	2,87	2,46
Otros	5,30	65,0	16,91	16,01
Papel	1,90	44,8	6,06	11,03
Cartón	1,40	55,0	4,47	13,55
Plásticos	2,65	148,3	8,45	36,53
Vidrio	2,75	5,0	8,77	1,23
Metales	0,65	16,2	2,07	3,99
Residuos electrónicos	0,25	0,3	0,80	0,06
Categoría incorrecta	0,25	10,0	0,80	2,46

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,45	0,80	235	150	0,63
2	3	SI	0,15	0,65	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,27
3	6	SI	0,15	1,50	24,3	212,7	0,28
4	4	SI	0,70	1,60	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,58
5	3	SI	0,20	1,90	0,07	0,39	0,70
6	2	SI	0,25	0,70	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,48
7	3	SI	0,05	1,40	2,87	1,83	0,48
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,10	0,40	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,13
10	3	SI	0,15	0,40	0,46	4,70	0,18
11	7	SI	0,20	2,40			0,37
12	4	SI	0,40	2,55			0,74
13	4	SI	0,00	0,95			0,24
14	4	NO	-	-			-
15	2	SI	0,15	0,95			0,55
16	4	SI	0,90	2,15			0,76
17	2	SI	0,05	1,20			0,63
18	3	SI	0,05	0,05			0,03
19	2	NO	-	-			-
20	2	SI	0,05	0,95			0,50
21	3	NO	-	-			-
22	1	SI	0,05	0,00			0,05
23	3	SI	0,05	0,90			0,32
24	2	SI	0,05	0,45			0,25
25	3	SI	0,05	1,50			0,52
26	2	SI	0,05	0,20			0,13
27	3	SI	0,15	1,15			0,43
28	3	SI	0,50	1,60			0,70
29	3	SI	0,60	2,85			1,15
30	4	SI	0,20	2,70			0,73
		Total rec.	Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
		26	5,7	31,9	37,6	385	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					33,4	370	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	23,70	78,3	63,03	20,34
Sanitarios	0,70	2,0	1,86	0,52
Otros	3,35	50,0	8,91	12,99
Papel blanco	0,55	21,2	1,46	5,51
Papel blanco de obra	0,05	3,0	0,13	0,78
Papel color	0,35	25,3	0,93	6,57
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,10	2,0	0,27	0,52
Otros papeles	0,55	5,0	1,46	1,30
Cartón corrugado	0,05	1,0	0,13	0,26
Cartón liso	0,90	50,0	2,39	12,99
PET	0,70	50,0	1,86	12,99
PEAD	0,00	0,0	0,00	0,00
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,10	13,1	0,27	3,40
PP	0,10	5,5	0,27	1,43
PS	0,00	5,0	0,00	1,30
Otros plásticos	0,50	50,0	1,33	12,99
Vidrio transparente	1,50	6,0	3,99	1,56
Vidrio color	0,00	0,0	0,00	0,00
Metales ferrosos	0,00	0,0	0,00	0,00
Metales no ferrosos	0,05	0,6	0,13	0,16
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,15	2,0	0,40	0,52
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	23,70	78,3	63,03	20,34
Sanitarios	0,70	2,0	1,86	0,52
Otros	3,35	50,0	8,91	12,99
Papel	1,60	56,5	4,26	14,68
Cartón	0,95	51,0	2,53	13,25
Plásticos	1,40	123,6	3,72	32,10
Vidrio	1,50	6,0	3,99	1,56
Metales	0,05	0,6	0,13	0,16
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,15	2,0	0,40	0,52

25 – 10 – 2011

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,20	0,90	200	140	0,55
2	3	SI	0,25	0,75	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,33
3	6	SI	0,85	3,05	28,3	174,6	0,65
4	4	SI	0,25	0,75	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,25
5	3	SI	0,60	3,90	0,07	0,31	1,50
6	2	SI	0,35	0,35	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,35
7	3	SI	0,90	0,90	2,50	1,75	0,60
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,10	1,50	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,40
10	3	SI	0,15	0,30	0,38	4,25	0,15
11	7	SI	0,60	0,50			0,16
12	4	SI	0,00	2,30			0,58
13	4	SI	0,05	1,15			0,30
14	4	NO	-	-			-
15	2	SI	0,05	0,50			0,28
16	4	SI	0,10	0,30			0,10
17	2	SI	0,05	0,30			0,18
18	3	SI	0,15	1,05			0,40
19	2	NO	-	-			-
20	2	SI	0,15	0,80			0,48
21	3	NO	-	-			-
22	1	SI	0,10	0,00			0,10
23	3	SI	0,10	0,80			0,30
24	2	NO	-	-			-
25	3	SI	0,10	1,45			0,52
26	2	SI	0,00	0,15			0,08
27	3	SI	0,05	1,10			0,38
28	3	SI	0,00	0,20			0,07
29	3	SI	0,20	0,80			0,33
30	4	SI	0,30	0,65			0,24
		Total rec.	Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
		25	5,65	24,45	30,1	340	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					33,65	330,83	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	22,95	70,0	76,25	20,59
Sanitarios	0,95	2,0	3,16	0,59
Otros	3,80	50,0	12,62	14,71
Papel blanco	0,15	5,0	0,50	1,47
Papel blanco de obra	0,10	4,0	0,33	1,18
Papel color	0,20	5,0	0,66	1,47
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,05	4,0	0,17	1,18
Otros papeles	0,75	7,0	2,49	2,06
Cartón corrugado	0,05	4,0	0,17	1,18
Cartón liso	0,45	32,4	1,50	9,53
PET	0,90	50,0	2,99	14,71
PEAD	0,00	0,0	0,00	0,00
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,20	26,3	0,66	7,74
PP	0,05	3,5	0,17	1,03
PS	0,05	5,0	0,17	1,47
Otros plásticos	0,60	50,0	1,99	14,71
Vidrio transparente	0,60	2,0	1,99	0,59
Vidrio color	1,10	1,5	3,65	0,44
Metales ferrosos	0,30	5,0	1,00	1,47
Metales no ferrosos	0,05	0,1	0,17	0,04
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,35	4,0	1,16	1,18
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	22,95	70,0	76,25	20,59
Sanitarios	0,95	2,0	3,16	0,59
Otros	3,80	50,0	12,62	14,71
Papel	1,25	25,0	4,15	7,35
Cartón	0,50	36,4	1,66	10,71
Plásticos	1,80	134,8	5,98	39,65
Vidrio	1,70	3,5	5,65	1,03
Metales	0,35	5,1	1,16	1,51
Residuos electrónicos	0,00	0,0	0,00	0,00
Categoría incorrecta	0,35	4,0	1,16	1,18

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,05	0,15	190	160	0,10
2	3	SI	0,20	1,20	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,47
3	6	NO	-	-	17,4	101,3	-
4	4	SI	0,20	0,50	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,18
5	3	SI	0,75	1,25	0,05	0,24	0,67
6	2	SI	0,25	0,65	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,45
7	3	SI	0,45	1,00	2,84	2,39	0,48
8	1	NO	-	-			-
9	4	SI	0,00	1,20	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,30
10	3	SI	0,10	0,70	0,29	5,22	0,27
11	7	SI	0,10	0,40			0,07
12	4	SI	0,05	2,60			0,66
13	4	SI	0,10	1,15			0,31
14	4	NO	-	-			-
15	2	SI	0,15	0,80			0,48
16	4	NO	-	-			-
17	2	SI	0,05	0,10			0,08
18	3	SI	0,00	0,05			0,02
19	2	NO	-	-			-
20	2	SI	0,15	0,70			0,43
21	3	NO	-	-			-
22	1	SI	0,10	0,05			0,15
23	3	SI	0,10	0,65			0,25
24	2	SI	0,20	0,65			0,43
25	3	SI	0,00	0,85			0,28
26	2	NO	-	-			-
27	3	SI	0,15	0,45			0,20
28	3	SI	0,05	0,45			0,17
29	3	NO	-	-			-
30	4	SI	0,10	0,65			0,19
		Total rec.	Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	
		22	3,3	16,2	19,5	350	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					22,75	277,5	

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	14,85	50,0	76,15	14,29
Sanitarios	0,10	2,0	0,51	0,57
Otros	3,95	60,0	20,26	17,14
Papel blanco	0,15	4,0	0,77	1,14
Papel blanco de obra	0,10	3,5	0,51	1,00
Papel color	0,20	5,0	1,03	1,43
Papel de tercera	0,00	0,0	0,00	0,00
Papel de diario	0,15	3,0	0,77	0,86
Otros papeles	0,70	6,0	3,59	1,71
Cartón corrugado	0,00	0,0	0,00	0,00
Cartón liso	0,40	26,3	2,05	7,51
PET	0,55	45,0	2,82	12,86
PEAD	0,05	0,2	0,26	0,06
PVC	0,00	0,0	0,00	0,00
PEBD	0,15	3,0	0,77	0,86
PP	0,20	5,0	1,03	1,43
PS	0,05	5,0	0,26	1,43
Otros plásticos	0,45	50,0	2,31	14,29
Vidrio transparente	0,00	0,0	0,00	0,00
Vidrio color	0,00	0,0	0,00	0,00
Metales ferrosos	0,20	5,0	1,03	1,43
Metales no ferrosos	0,00	0,0	0,00	0,00
Residuos electrónicos	0,20	0,5	1,03	0,14
Categoría incorrecta	0,30	4,0	1,54	1,14
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	14,85	50,0	76,15	14,29
Sanitarios	0,10	2,0	0,51	0,57
Otros	3,95	60,0	20,26	17,14
Papel	1,30	21,5	6,67	6,14
Cartón	0,40	26,3	2,05	7,51
Plásticos	1,45	108,2	7,44	30,91
Vidrio	0,00	0,0	0,00	0,00
Metales	0,20	5,0	1,03	1,43
Residuos electrónicos	0,20	0,5	1,03	0,14
Categoría incorrecta	0,30	4,0	1,54	1,14

Referencias bibliográficas y fuentes consultadas

- Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes, Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines), Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, 2002.
- CEMPRE (Compromiso empresarial para el reciclaje), 1998.
- CEMPRE, <http://www.cempre.org.uy/>
- Current anaerobic digestion technologies used for treatment of municipal organic solid waste, Joshua Rapport, Ruihong Zhang, Bryan M. Jenkins, Robert B. Williams, 2008.
- Design of a Materials Recovery Facility (MRF) For Processing the Recyclable Materials of New York City's Municipal Solid Waste, Department of Earth & Environmental Engineering, Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, 2000
- Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Eva Röben, 2002.
- Estadística Aplicada, Lothar Sachs, 1984.
- Estandarización de la fuerza laboral requerida para la limpieza de las área administrativas de C.V.G. Alcasa. República Bolivariana de Venezuela, UNEXPO, 2007.
- Estudio caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la región metropolitana, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Grupo de residuos sólidos, 2006.
- Estudio de Mercado: Materiales Reciclables de Residuos Sólidos Urbanos, 2003.
- Estudio de Pre Factibilidad Técnica y Económica para la Instalación de Capacidad de Generación de Energía a partir de Residuos (WTE) en Uruguay, Themelis Associates, 2012.
- Gestión Integral de Residuos Sólidos, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, 1994.
- IM, www.montevideo.gub.uy
- Manual Mc. Graw-Hill de Reciclaje, Herbert R. Lund, 1996.
- Norma A.130 “Requisitos de Seguridad”, Perú.
- Norma ASTM D5231-92 (2008).
- Norma NMX-AA-061-1985.
- Norma ASTM D6311-98 (2009).
- PDRS (Plan director de residuos sólidos de Montevideo y Área Metropolitana), 2005.
- Plan Director de Limpieza, Intendencia de Montevideo, 2011.
- Planta de incineración de residuos sólidos urbanos con tecnología de parrilla y recuperación energética, Alejandro Fernández Martínez, 2007.

- Proyecto PNUD/91/008 (Uselo y tírelo... para que otros lo reciclen), 1996.
- SIG (IM), <http://sig.montevideo.gub.uy/> .
- Sitio de Disposición Final de Montevideo. Estudio de Revisión Ambiental de Felipe Cardozo, LKSur, 2006.
- Tecnologías de tratamiento y disposición final de residuos sólidos domiciliarios, Comisión nacional del medio ambiente, Gobierno de Chile, 2001.
- Tratamiento Estadístico de datos ambientales, Prof. Victor Martinez, 1995.
- Waste Incineration, European Commission, 2006.
- <http://municipioch.montevideo.gub.uy/clasifica>



Universidad de la República
Facultad de Ingeniería

Instituto de Mecánica de los Fluídos e Ingeniería Ambiental



ESTUDIO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY



Informe Final
Proyecto Hidráulica-Ambiental
Julio 2012

MEMORIA DE CÁLCULO

Tutores:

Dra. Elizabeth Gonzalez
Ing. Julieta López
Ing. Nicolás Rezzano

Mauro D'Angelo
Pablo Kok

Índice

Acrónimos.....	3
Índice de figuras.....	4
Índice de tablas.....	5
1. Estudio de la composición de los RSD.....	6
1.1. Diseño del muestreo.....	6
1.2. Validación del muestreo realizado.....	8
1.3. Planillas tipo utilizadas para procesamiento de datos.....	13
2. Alternativas de gestión consideradas.....	16
2.1. Proyección de la generación de residuos para la ciudad de Montevideo.....	16
2.2. Comparación de alternativas.....	22
2.2.1. Área necesaria.....	22
3. Anteproyecto de la alternativa preseleccionada.....	25
3.1. Planta de clasificación de materiales reciclables.....	25
3.2. Planta de incineración.....	39
3.3. Celda tipo para cenizas de incineración.....	41
4. Análisis de costos.....	43
4.1. Planta de clasificación de materiales reciclables.....	43
4.1.1. Ingresos.....	43
4.1.2. Costos.....	52
Referencias bibliográficas y fuentes consultadas.....	55

Acrónimos

- CEMPRE: Compromiso Empresarial para el Reciclaje.
- DINAMA: Dirección Nacional de Medio Ambiente.
- IM: Intendencia de Montevideo.
- INE: Instituto Nacional de Estadística.
- MVOTMA: Ministerio de Vivienda Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente.
- PDRS: Plan Director de Residuos Sólidos de Montevideo y Área Metropolitana.
- PNUD: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.
- RSD: Residuos sólidos domiciliarios.
- TRESOR: Tratamiento de Residuos Orgánicos.

Índice de figuras

1. División de Montevideo en 48 barrios (INE).
2. Proyección de la población de Montevideo, INE.
3. Detalle de la cinta de clasificación.
4. Generación de energía eléctrica Uruguay, 2010.
5. Evolución de precios reciclables.
6. Evolución de precios reciclables ajustados por IPC.
7. Evolución de precios papel y cartón ajustados por IPC.
8. Monto percibido por ventas, 100 % de eficiencia de clasificación.
9. Monto percibido por ventas, 80 % de eficiencia de clasificación.
10. Monto percibido por ventas, 50 % de eficiencia de clasificación.
11. Monto percibido por ventas, 30 % de eficiencia de clasificación.
12. Monto percibido por ventas por tipo de residuo.

Índice de tablas

1. Proyección del V.L. al 2010.
2. Norma ASTM D5231-92 (2008).
3. Norma NMX-AA-061-1985.
4. Norma ASTM D6311-98 (2009).
5. Planillas de cálculo utilizadas.
6. Planillas de cálculo utilizadas.
7. Planillas de cálculo utilizadas.
8. Planillas de cálculo utilizadas.
9. Planillas de cálculo utilizadas.
10. Cantidad de personas por hogar promedio por barrio.
11. Teste de D'Agostino.
12. Producción de residuos estimada.
13. Clasificadores por tipo de material.
14. Equipamiento para el personal.
15. Gabinetes higiénicos en función de la cantidad de personal.
16. Duchas en función de la cantidad de personal.
17. División de los caudales de aporte.
18. Verificaciones de los colectores de pluviales.
19. Caudales típicos para equipamientos sanitarios.
20. Verificaciones de los colectores.
21. Caudales de diseño.
22. Verificaciones de los colectores.
23. Criterios utilizados.
24. Pérdidas de carga calculadas.
25. Dimensiones de la celda tipo.
26. Precio por tipo de residuo.
27. Ingresos estimados según eficiencia de clasificación.
28. Ahorro en disposición final.
29. Balance económico Papel.
30. Balance económico Cartón.
31. Balance económico Vidrio.
32. Balance económico Plástico.
33. Balance económico Metales.

1. Estudio de la composición de los RSD.

1.1. Diseño del muestreo.

Primeramente, fue necesario recurrir a datos censales¹ de forma de obtener la cantidad de habitantes y de hogares por barrio de la ciudad de Montevideo. Se utilizaron los datos que agrupan a la población de Montevideo en 48 barrios. Este agrupamiento puede observarse en la siguiente figura.

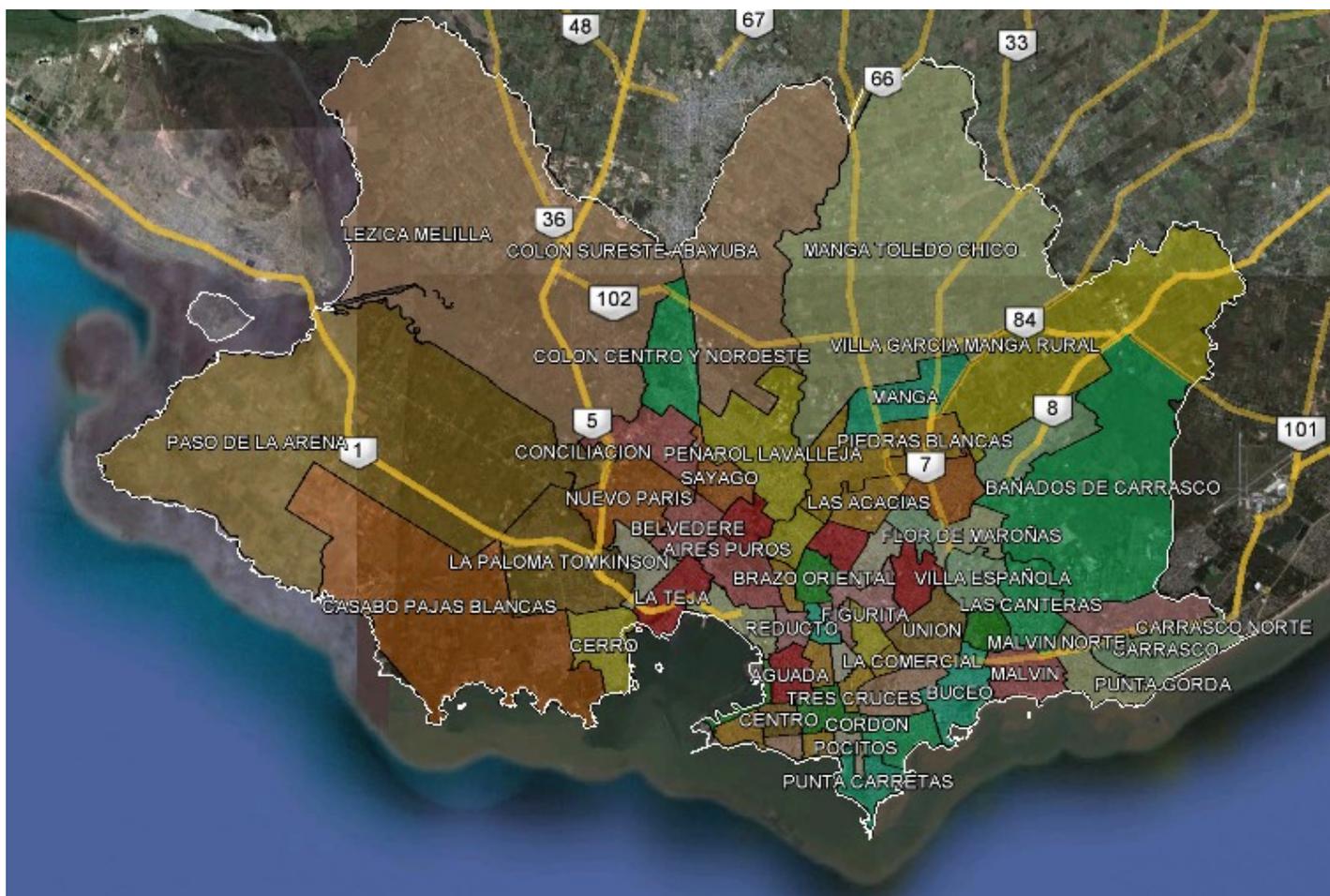


Figura 1: División de Montevideo en 48 barrios (INE).

Seguidamente, con el fin de dividir a los barrios de Montevideo en dos áreas homogéneas según sus niveles socioeconómicos, se utilizó el parámetro ingreso total del hogar

¹INE, censo 2004.

con valor locativo per cápita.

Se obtuvieron los valores promedio para cada barrio de este parámetro correspondientes al año 2006.²

El criterio aplicado fue el siguiente: si un barrio de Montevideo presentaba un valor de este parámetro menor o igual a \$ 6500, este barrio era incluido en el área homogénea 2, de lo contrario pasaba a formar parte del área homogénea 1.

Si se multiplica el valor límite del parámetro (\$ 6500) por el IPC medio de 2010 y se lo divide por el IPC medio de 2006 se obtiene una estimación de cuanto representa esta cantidad al 2010.

IPC 2006	IPC 2010	V.L. al 2010	Salario mínimo 2010 (Decreto 33/010 1/1/2010)
73,04	97,31	\$8.660,00	\$4.799,00

Tabla 1: Proyección del V.L. Al 2010.

Al año 2010 el valor del parámetro representa aproximadamente, 2 salarios mínimos. A partir de esto, se concluye que el valor límite escogido resulta adecuado para dividir a la población montevideana en dos áreas homogéneas.

Una vez agrupados los barrios en las dos áreas homogéneas se calculó la población de cada una de ellas:

$$P_1 = 704.385 \text{ hab} ; P_2 = 621.583 \text{ hab} ; P = P_1 + P_2 = 1.325.968 \text{ hab} \quad ;$$

Seguidamente se calcularon los coeficientes W_1 y W_2 que reflejan la proporción de la población de cada área homogénea en el total:

$$W_1 = \frac{P_1}{P} = 0,53 ; W_2 = \frac{P_2}{P} = 0,47 \quad ;$$

A continuación se calculan, para cada área homogénea, el valor medio, la desviación estándar y la varianza del ingreso total del hogar con valor locativo per cápita, resultando:

$$\bar{X}_1 = \$ 10822,96 ; \bar{X}_2 = \$ 5013,43 ; \sigma_1 = \$ 3622,51 ; \sigma_2 = \$ 810,42 \quad ;$$

$$S_1 = \sigma_1^2 = 13.122.601,04 ; S_2 = \sigma_2^2 = 656.778,89 \quad .$$

A partir de lo anterior se obtiene la media y la varianza ponderada:

$$\bar{X}_p = W_1 * \bar{X}_1 + W_2 * \bar{X}_2 = \$ 8099,59 \quad ; \quad S_p = W_1 * S_1 + W_2 * S_2 = 7.278.913,16 \quad .$$

² www.montevideo.gub.uy.

Fue necesario definir un error (e) admisible para el cálculo del número de muestras necesarias. Éste se fijó en 5 %.

Finalmente se calcula el número mínimo de muestras a tomar para representar el comportamiento de la población con un nivel de confianza del 95 % asumiendo que la misma se distribuye de forma normal según la siguiente expresión:

$$n = \frac{S_p}{\left(\frac{e * \bar{X}_p}{1,96}\right)^2} = 171 \quad ;$$

A partir de este resultado, se calcula el número de muestras a tomar en cada área homogénea según:

$$n_1 = W_1 * n = 91 ; n_2 = W_2 * n = 80 \quad ;$$

Sabiendo la cantidad de hogares por barrio, puede calcularse la cantidad de hogares en cada área homogénea y luego, el promedio de personas por hogar en cada área homogénea, dividiendo la cantidad de personas entre la cantidad de hogares.

Finalmente, dividiendo la cantidad de habitantes a muestrear en cada área homogénea entre la cantidad promedio de personas por hogar en cada área, se obtiene la cantidad de hogares a muestrear en cada área homogénea para un nivel de confianza del 95 % y un error del 5 %:

$$n_{H1} = 35 ; n_{H2} = 24 \quad .$$

Una vez obtenida la cantidad de muestras a tomar, se evalúa durante qué período de tiempo realizar el muestreo. Se consideraron recomendaciones de Normas para este tipo de muestreo y luego se tomó la opción de realizarlo durante 10 días. De este modo se obtiene un período que cubre la variación semanal en la generación de residuos sólidos y también se tiene por duplicado algunos de los días, en particular los primeros que usualmente son días en los cuales puede ocurrir algún error en los procedimientos.

1.2. Validación del muestreo realizado.

Seguidamente se aplicaron diversas normas técnicas referidas al muestreo de residuos sólidos con el fin de validar el muestreo efectuado.

La Norma ASTM D5231-92 (2008) brinda una manera de calcular el mínimo número de muestras a tomar para cierto tipo de residuo, conociendo su media y desviación en la composición de los residuos sólidos y fijando un nivel de confianza y un nivel de precisión. La

fórmula, que se presenta a continuación, utiliza la distribución de probabilidad de Student.

$$n = \left(\frac{t * s}{e * \bar{x}} \right)^2 ;$$

Donde:

- n: Número mínimo de muestras a tomar.
- t: Estadístico t- Student correspondiente al nivel de confianza deseado.
- s: Desviación estándar estimada del componente de los residuos considerado.
- e: Nivel de precisión deseado.
- \bar{x} : Media estimada del componente de los residuos considerado.

Como resultado del muestreo realizado se obtuvieron medias y desviaciones en la composición de los RSD para cada componente de los residuos considerado. Por lo tanto se está en condiciones de aplicar esta Norma y obtener, para cada componente, el número mínimo necesario de muestras a tomar. De esta forma se validará o no el trabajo realizado.

A continuación se describe el procedimiento de cálculo necesario para determinar el número mínimo necesario de muestras a tomar según esta Norma:

- Se elige e (0,1) y el nivel de confianza (0,90).
- Se selecciona t correspondiente a n tendiendo a infinito para el nivel de confianza elegido.
- Se calcula el número de muestras n' con la fórmula presentada anteriormente utilizando el valor de t elegido en el paso anterior para \bar{x} y s correspondientes al componente de los RSD considerado.
- Usando n' se vuelve a elegir t.
- Se recalcula n con el nuevo t elegido.
- Se repite el procedimiento hasta que ambos valores difieran en menos del 10 % tomándose como n definitivo el mayor valor.

En la tabla siguiente se muestra el procedimiento de cálculo seguido para cada componente considerado en los RSD y los números mínimos de muestras a tomar para cada uno de ellos. En verde se muestran los números de muestras que se cumplieron en este trabajo, en amarillo aquellos que no se cumplieron por una diferencia pequeña y en rojo aquellos que estuvieron lejos de cumplirse.

Componente	\bar{x}	s	t* n→ inf	n0	t*	n'	dif con n0 (%)	t*	n''	dif con n' (%)	t*	n'''	dif con n'' (%)
RA	0.66	0.07	1.645	3	2.92	10	215	1.833	4	-61	2.353	6	65
					t*	n'''	dif con n''' (%)	t*	n''''	dif con n'''' (%)	t*	n''''	dif con n'''' (%)
					2.015	5	-27	2.132	5	12	2.132	5	0
Sanitarios	0.03	0.02	1.645	144	1.656	146	1	-	-	-	-	-	-
Otros	0.12	0.04	1.645	32	1.697	34	6	-	-	-	-	-	-
Papel limpio	0.04	0.02	1.645	54	1.676	56	4	-	-	-	-	-	-
Cartón limpio	0.02	0.01	1.645	53	1.676	55	4	-	-	-	-	-	-
Plásticos limpios	0.07	0.01	1.645	14	1.771	16	16	1.753	15	-2	-	-	-
Vidrio	0.04	0.03	1.645	181	1.653	183	1	-	-	-	-	-	-
Metales	0.01	0.01	1.645	129	1.658	131	2	-	-	-	-	-	-
RE	0.01	0.01	1.645	545	1.645	545	0	-	-	-	-	-	-
CI	0.01	0.01	1.645	92	1.662	94	2	-	-	-	-	-	-

Tabla 2: Norma ASTM D5231-92 (2008).

Se observa que, según esta Norma, los únicos dos componentes de los RSD para los que se obtuvo una muestra representativa con el error asumido de antemano fueron los residuos alimenticios y los residuos plásticos. Siendo estos componentes los más significativos en peso y en volumen respectivamente, este resultado es positivo.

La Norma NMX-AA-061-1985 Protección del Ambiente, contiene un procedimiento para verificar a partir de un tamaño de premuestra elegido, el tamaño de la misma. Se calcula el tamaño real de la muestra, con base en la desviación estándar de la premuestra, y empleando la distribución de probabilidad de Student. La determinación del tamaño de la muestra se realiza con la siguiente expresión: $n1 = \left(\frac{t*s}{E}\right)^2$;

Donde:

- n1: Tamaño real de la muestra.
- E: Error muestral en kg/hab.d, se recomienda un valor comprendido en el siguiente intervalo: $0,07 \text{ kg/hab.d} \leq E \leq 0,4 \text{ kg/hab.d}$.
- s: Desviación estándar de la premuestra.
- t: Percentil de la distribución “t” de Student, correspondiente al nivel de confianza definido por el riesgo empleado en el muestreo.

Respecto al riesgo empleado en el muestreo, el mismo se refiere a un valor que se adopta inicialmente al momento de realizar la premuestra. El mismo depende de los siguientes factores:

- Conocimiento de la localidad.
- Calidad técnica del personal participante.
- Facilidad para realizar el muestreo.
- Características de la localidad a muestrear.
- Exactitud de la báscula por emplear.

Se seleccionó un valor de riesgo igual a 0,05, obteniéndose así un nivel de confianza de 95 %.

Para determinar la desviación estándar de la muestra, la Norma indica calcular el promedio de generación per cápita en cada hogar, y luego calcularla para estos valores. También indica realizar un análisis de rechazo de observaciones sospechosas, para concluir sobre el elemento máximo o mínimo de la premuestra. Para el caso de estudio el mismo no fue realizado por no existir elementos que se aparten de lo esperado, ya que el tamaño de la muestra permitía realizar diversas verificaciones.

A continuación se presentan los datos obtenidos y el resultado del tamaño muestral.

Error muestral (Kg/hab.d)	Desviación (Kg/hab.d)
0,05	0,16
Tamaño real de la muestra	t 95
29	1,697

Tabla 3: Norma NMX-AA-061-1985.

Se observa que se seleccionó un error muestral menor al recomendado, de modo de trabajar con una situación más exigente en ese punto.

A partir del tamaño real de la muestra obtenido (29), la Norma indica que si el mismo es menor al tamaño de la premuestra (30), se toma el valor de la premuestra como el valor real, por lo que no deben eliminarse los elementos sobrantes de la premuestra, ya que pueden ampliar en un momento dado el nivel de confianza del muestreo. A su vez, los estadísticos obtenidos para la premuestra, se consideran válidos también para la muestra, por lo que no hay necesidad de realizar un nuevo análisis estadístico.

En función de los resultados obtenidos, se puede concluir que el muestreo realizado es validado por la Norma utilizada. A su vez es interesante destacar que el muestreo realizado además de satisfacer lo exigido por la Norma, lo hace de modo muy ajustado (la Norma indicaba 29 muestras necesarias y se realizaron 30), lo cual indica una elección del número de muestras eficaz y eficiente.

La Norma ASTM D6311-98 (2009) brinda diversos elementos a considerar y aplicar al momento de diseñar un muestreo y también métodos para optimizar la selección del número de muestras. A su vez, indica cómo determinar el número de muestras necesario para representar una variable, considerando un determinado error. Para el siguiente trabajo se realizó el mismo método descrito en la Norma, pero en sentido inverso, de modo de determinar para el muestreo realizado, con qué error se determinaron la PPC y el VPC.

A continuación se describe el procedimiento indicado por la Norma, y se observan las modificaciones realizadas de modo de obtener los resultados buscados:

- Se elije un margen de error p.
- Se calcula el coeficiente de variación: $CV = \left(\frac{\text{desviación estándar}}{\text{media}} \right)$.
- Se define un intervalo de confianza.
- Se calcula el número de muestras a tomar: $n = \left(\frac{Z\alpha * CV}{p} \right)^2$

Para el caso de análisis se trabaja con $n = 30$, CV determinado a partir de los datos calculados para cada variable y un intervalo de confianza del 95 % , $Z\alpha = 1,645$. Es importante aclarar que la Norma considera una distribución Normal respecto a la media de la variable a analizar.

A partir de estos valores, se despeja el margen de error p de la fórmula presentada, para la PPC y el VPC respectivamente.

PPC promedio (kg/hab.d)	VPC promedio (L/hab.d)
0.4	4.7
Desviación	Desviación
0.1	0.5
CV(Coef de variación)	CV
0.25	0.11
Margen de error	Margen de error
0.08	0.03

Tabla 4: Norma ASTM D6311-98 (2009).

A partir de los cálculos realizados se tiene que el margen de error en la determinación de la PPC y el VPC es de 8 % y 3 % respectivamente. Dichos resultados permiten concluir que se tiene un margen de error muy aceptable para las variables analizadas, permitiendo utilizar dichos valores como insumos para estudios posteriores.

1.3. Planillas tipo utilizadas para procesamiento de datos

- Planilla diaria para registro por hogar y promedios diarios

N° de hogar	N° Habitantes	Recolectado	Peso R (kg)	Peso NO R (kg)	Volumen R tot (L)	Volumen NO R tot (L)	Pomedio por día (Kg/hab.d)
1	2	SI	0,25	1,2	300	150	0,73
2	3	SI	0,6	0,4	Densidad R tot (kg/m3)	Densidad NO R tot (kg/m3)	0,33
3	6	SI	0,55	0,6	38,5	219	0,19
4	4	SI	0,4	0,45	PPC R tot (kg/hab.d)	PPC NO R tot (kg/hab.d)	0,21
5	3	SI	0,8	2,55	0,13	0,38	1,12
6	2	SI	0,65	0,65	VPC R tot (L/hab.d)	VPC NO R tot (L/hab.d)	0,65
7	3	SI	0,95	0,95	3,49	1,74	0,63
8	1	SI	0,1	0,35			0,45
9	4	SI	0	0,3	PPC tot (kg/hab.d)	VPC tot (L/hab.d)	0,08
10	3	NO	-	-	0,52	5,23	-
11	7	SI	0,6	0,95			0,22
12	4	SI	0,45	1,3			0,44
13	4	SI	0,2	1,55			0,44
14	4	SI	0,7	2,65			0,84
15	2	SI	0,25	0,2			0,23
16	4	SI	0,15	2,5			0,66
17	2	SI	0,2	0,1			0,15
18	3	SI	0	0,65			0,22
19	2	SI	0,05	0,1			0,08
20	2	SI	0	1,3			0,65
21	3	SI	0,2	1			0,40
22	1	SI	0,05	0,3			0,35
23	3	SI	0,35	2,6			0,98
24	2	SI	0,25	0,45			0,35
25	3	SI	0,4	4,35			1,58
26	2	SI	0,05	0,2			0,13
27	3	NO	-	-			-
28	3	SI	0,4	2			0,80
29	3	SI	2,3	1,15			1,15
30	4	SI	0,65	2,05			0,68
		Total rec.	Peso R tot (kg)	Peso NO R tot (kg)	Peso tot (kg)	Volumen tot (L)	Peso tot (kg) y Peso tot componentes (kg) no tienen porque coincidir porque en un día pueden ser clasificados residuos correspondientes a otra fecha.
		28	11,55	32,85	44,4	450	
					Peso tot componentes (kg)	Volumen tot componentes (L)	
					36,55	375,9	

Tabla 5: Planillas de cálculo utilizadas.

- *Planillas diarias por componentes con sus porcentajes relativos*

Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	23,5	70,2	52,8	15,6
Sanitarios	2,2	19,2	4,8	4,3
Otros	2,1	62	4,6	13,8
Papel blanco	0,1	2	0,2	0,4
Papel blanco de obra	0,0	0	0,0	0,0
Papel color	0,1	2	0,1	0,4
Papel de tercera	0,0	0	0,0	0,0
Papel de diario	0,3	2	0,6	0,4
Otros papeles	0,3	1,5	0,7	0,3
Cartón corrugado	0,1	0	0,1	0,0
Cartón liso	1,0	46	2,3	10,2
PET	1,2	85	2,7	18,9
PEAD	0,0	0	0,0	0,0
PVC	0,0	0	0,0	0,0
PEBD	0,2	10	0,5	2,2
PP	0,4	5	0,8	1,1
PS	0,1	1	0,1	0,2
Otros plásticos	0,7	50	1,6	11,1
Vidrio transparente	0,4	0	0,8	0,0
Vidrio color	3,7	4	8,2	0,9
Metales ferrosos	0,2	0	0,5	0,0
Metales no ferrosos	0,1	0	0,2	0,0
Residuos electrónicos	0,0	0	0,0	0,0
Categoría incorrecta	0,4	16	0,8	3,6
Componente	Peso (kg)	Volumen (L)	% en peso del total (%)	% en volumen del total (%)
Residuos alimenticios	23,5	70,2	52,8	15,6
Sanitarios	2,2	19,2	4,8	4,3
Otros	2,1	62,0	4,6	13,8
Papel	0,7	7,5	1,6	1,7
Cartón	1,1	46,0	2,4	10,2
Plásticos	2,5	151,0	5,6	33,6
Vidrio	4,0	4,0	9,0	0,9
Metales	0,3	0,0	0,7	0,0
Residuos electrónicos	0,0	0,0	0,0	0,0
Categoría incorrecta	0,4	16,0	0,8	3,6

Tabla 6: Planillas de cálculo utilizadas.

- *Planillas por componente para cada día relevado*

Día	17/10/11	18/10/11	19/10/11	20/10/11	21/10/11	22/10/11
Componente	% en peso del total (%)					
RA	52,8	60,8	77,9	64,6	73,9	61,7
Sanitarios	4,8	3,0	2,6	0,4	10,0	3,8
Otros	4,6	5,9	10,0	11,2	17,7	10,6
Papel limpio	1,6	2,5	6,5	4,0	1,9	1,9
Cartón limpio	2,4	1,9	3,1	0,9	1,7	2,1
Plásticos limpios	5,6	6,9	7,0	4,9	7,7	8,1
Vidrio	9,0	1,6	0,5	3,9	4,4	2,6
Metales	0,7	0,7	0,3	1,4	1,3	0,2
RE	0,0	1,6	1,6	0,0	0,0	0,0
CI	0,8	1,0	0,9	1,0	0,4	2,4

Tabla 7: Planillas de cálculo utilizadas.

Día	23/10/11	24/10/11	25/10/11	26/10/11
Componente	% en peso del total (%)			
RA	47,0	63,0	76,2	76,2
Sanitarios	2,9	1,9	3,2	0,5
Otros	16,9	8,9	12,6	20,3
Papel limpio	6,1	4,3	4,2	6,7
Cartón limpio	4,5	2,5	1,7	2,1
Plásticos limpios	8,5	3,7	6,0	7,4
Vidrio	8,8	4,0	5,6	0,0
Metales	2,1	0,1	1,2	1,0
RE	0,8	0,0	0,0	1,0
CI	0,8	0,4	1,2	1,5

Tabla 8: Planillas de cálculo utilizadas.

Día	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Componente	Porcentaje en peso del total promedio (%)	Porcentaje en peso del total desviación (%)
RA	65.6	6.9
Sanitarios	3.3	2.4
Otros	11.6	4.0
Papel limpio	3.9	1.7
Cartón limpio	2.3	1.0
Plásticos limpios	6.6	1.5
Vidrio	4.2	3.5
Metales	0.9	0.6
RE	0.5	0.7
CI	1.1	0.6

Tabla 9 Planillas de cálculo utilizadas.

2. Alternativas de gestión consideradas

2.1. Proyección de la generación de residuos para la ciudad de Montevideo.

A partir del muestreo realizado, se determinó la producción de residuos per cápita para cada hogar participante y para cada día de recolección. Se propone extender estos resultados para estimar la generación diaria de residuos sólidos domiciliarios de la ciudad de Montevideo.

Se consideran los 48 barrios utilizados por el INE en el censo del año 2004 para dividir a la población montevideana y se utilizan los datos censales correspondientes al año 2004³ que indican la cantidad de habitantes y de hogares por barrio. Dividiendo la cantidad de habitantes entre la cantidad de hogares de un barrio en particular, se obtiene la cantidad promedio de habitantes por hogar en el barrio en cuestión. Los datos relevados así como los cálculos de habitantes por hogar para cada barrio se presentan en la Tabla 1.

³ INE, censo 2004.

n° de barrio	Nombre del barrio	Cantidad de personas (Censo 2004)	N° de hogares (Censo 2004)	Cantidad de personas por hogar promedio
	Montevideo	1325968	457425	2.9
1	Aguada	17983	7194	2.5
2	Aires Puros y Paso de las Duranas	28778	9950	2.9
3	Atahualpa. Brazo Oriental	25435	9179	2.8
4	Bañados de Carrasco y Villa García. Manga rural	35518	10084	3.5
5	Belvedere	21765	7368	3.0
6	Buceo	38033	14707	2.6
7	Capurro. Bella Vista	16593	6104	2.7
8	Carrasco Norte y Las Canteras	36699	11538	3.2
9	Carrasco y Punta Gorda	30905	9445	3.3
10	Casabó. Pajas Blancas	30712	8638	3.6
11	Casavalle	36450	9555	3.8
12	Centro	20841	9937	2.1
13	Cerrito	18385	6239	2.9
14	Cerro	29227	9145	3.2
15	Ciudad Vieja. Barrio Sur y Palermo	38419	16001	2.4
16	Conciliación. Colón Centro Noreste	47642	14472	3.3
17	Cordón	42063	19315	2.2
18	Flor de Maroñas	19828	6372	3.1
19	Ituzaingó y Castro. Castellanos	28439	9303	3.1
20	Jacinto Vera y La Figurita	20753	7645	2.7
21	Jardines del Hipódromo	21840	6671	3.3
22	La Blanqueada y Larrañaga	27625	10970	2.5
23	La Paloma. Tomkinson	40196	10979	3.7
24	La Teja	20254	6759	3.0
25	Las Acacias	22574	6827	3.3
26	Lezica. Melilla y Colón Sureste y Abayubá	32603	10014	3.3
27	Malvín	28634	10872	2.6
28	Malvín Norte	20271	6964	2.9
29	Manga	19073	5745	3.3
30	Manga. Toledo Chico	23781	7083	3.4
31	Maroñas. Parque Guaraní	20113	6542	3.1
32	Mercado Modelo. Bolívar	15712	5771	2.7
33	Nuevo París	27406	8259	3.3
34	Parque Batlle. Villa Dolores	32292	12726	2.5
35	Paso de la Arena	23012	6290	3.7
36	Peñarol. Lavalleya	33732	10249	3.3
37	Piedras Blancas	22431	6379	3.5
38	Pocitos	69636	29560	2.4
39	Prado. Nueva Savona	20672	6947	3.0
40	Punta Carretas y Parque Rodó	38035	15572	2.4
41	Punta de Rieles. Bella Italia	25239	6969	3.6
42	Reducto	14259	5366	2.7
43	Sayago	15339	5388	2.8
44	Tres Cruces y La Comercial	27767	11929	2.3
45	Tres Ombúes. Victoria	19279	6069	3.2
46	Unión	41473	15024	2.8
47	Villa Española	23849	7984	3.0
48	Villa Muñoz. Retiro	14403	5326	2.7

Tabla 10: Cantidad de personas por hogar promedio por barrio.

En la Tabla 10 se observa que la cantidad promedio de personas por hogar de los barrios montevideanos varía entre 2 y 4. En este sentido, se trabaja con las PPC de residuos sólidos domiciliarios calculadas durante el muestreo correspondientes a hogares con 2, 3 y 4 habitantes de forma de verificar si tienen un comportamiento particular de manera de poder predecir cuales serán sus valores para el resto de la población.

Las series de PPC calculadas durante el procedimiento de caracterización correspondientes a hogares de 2, 3 y 4 habitantes serán analizadas por separado siendo sometidas, en primera instancia, a un proceso de filtrado de modo de eliminar aquellos registros que pudieran ser incorrectos.

El proceso de filtrado consiste en descartar todos aquellos valores que se aparten de la media más de tres veces la desviación estándar de la serie. El método utilizado corresponde a un criterio usual para filtrar elementos en series de datos. En este caso se entiende adecuado ya que considera un rango de variación suficiente para la variable analizada.

Se aplicará el test de normalidad de D'Agostino a las series filtradas de modo de saber si las mismas poseen o no distribución normal.

Test de D'Agostino:

Este test permite trabajar con un pequeño número de muestras. Primeramente se definen dos hipótesis:

- H_0 : La muestra proviene de una población normal.
- H_1 : No H_0 .

Los valores muestrales x_1, x_2, \dots, x_n son ordenados de menor a mayor, obteniendo y_1, y_2, \dots, y_n .

El estadístico a calcular es:

$$D(w) = \frac{\sum_{k=1}^{k=n} (k - \frac{n+1}{2}) * y_k}{\sqrt{n^3 * S_{xx}}} ;$$

Siendo: $S_{xx} = \sum_{k=1}^{k=n} (x_k - \bar{x})^2$.

La región crítica es aquella tal que si el estadístico pertenece a la misma, se rechaza la hipótesis H_0 . En este caso la región crítica W es: $W = (-\infty, k_1] \cup [k_2, +\infty)$, donde k_1 y k_2 salen de las tablas de D'Agostino en función del número de muestras y del nivel de precisión deseado.

El nivel de precisión se materializa a través del error tipo 1 (α). Éste corresponde a la probabilidad de rechazar H_0 siendo esta cierta. En este caso se utiliza $\alpha = 10\%$.

Análisis de las series de PPC determinadas en el procedimiento de caracterización.

N° de habitantes	2	3	4
Valores filtrados	1	2	1
Media (kg/hab.d)	0.33	0.45	0.38
Desviación estandar (kg/hab.d)	0.25	0.27	0.21
Cantidad de datos	74	94	64
Sxx (kg/hab.d)²	4.5	6.97	2.79
D(w)	0.2803	0.276	0.2808
α	0.1	0.1	0.1
k1	0.275	0.2759	0.2737
k2	0.2857	0.2855	0.286
RESULTADO	Se acepta H_0	Se acepta H_0	Se acepta H_0

Tabla 11: Test de D'Agostino.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos mediante el empleo del test de D'Agostino, las PPC consideradas por separado para hogares de 2, 3 y 4 habitantes siguen una distribución normal. Si se le asigna a cada barrio de la ciudad de Montevideo la PPC media correspondiente a su número medio de habitantes por hogar, se está en condiciones de extrapolar los resultados del muestreo de forma de obtener la generación diaria en peso de RSD de la ciudad de Montevideo. Utilizando la densidad media calculada en el procedimiento de caracterización ($88,4 \text{ kg/m}^3$), se obtiene también la estimación del volumen diario de RSD generado por cada barrio montevideano.

Estos resultados se presentan en la siguiente tabla.

n° de barrio	Nombre del barrio	Cantidad de personas por hogar promedio	PPC (Kg/hab.d)	Ton/d	m3/d
1	Aguada	2,5	0,33	5,93	67,13
2	Aires Puros y Paso de las Duranas	2,9	0,45	12,95	146,49
3	Atahualpa. Brazo Oriental	2,8	0,45	11,45	129,48
4	Bañados de Carrasco y Villa García. Manga rural	3,5	0,38	13,5	152,68
5	Belvedere	3,0	0,45	9,79	110,79
6	Buceo	2,6	0,45	17,11	193,61
7	Capurro. Bella Vista	2,7	0,45	7,47	84,47
8	Carrasco Norte y Las Canteras	3,2	0,45	16,51	186,82
9	Carrasco y Punta Gorda	3,3	0,45	13,91	157,32
10	Casabó. Pajas Blancas	3,6	0,38	11,67	132,02
11	Casavalle	3,8	0,38	13,85	156,69
12	Centro	2,1	0,33	6,88	77,8
13	Cerrito	2,9	0,45	8,27	93,59
14	Cerro	3,2	0,45	13,15	148,78
15	Ciudad Vieja. Barrio Sur y Palermo	2,4	0,33	12,68	143,42
16	Conciliación. Colón Centro Noreste	3,3	0,45	21,44	242,52
17	Cordón	2,2	0,33	13,88	157,02
18	Flor de Maroñas	3,1	0,45	8,92	100,93
19	Ituzaingó y Castro. Castellanos	3,1	0,45	12,8	144,77
20	Jacinto Vera y La Figurita	2,7	0,45	9,34	105,64
21	Jardines del Hipódromo	3,3	0,45	9,83	111,18
22	La Blanqueada y Larrañaga	2,5	0,45	12,43	140,63
23	La Paloma. Tomkinson	3,7	0,38	15,27	172,79
24	La Teja	3,0	0,45	9,11	103,1
25	Las Acacias	3,3	0,45	10,16	114,91
26	Lezica. Melilla y Colón Sureste y Abayubá	3,3	0,45	14,67	165,97
27	Malvín	2,6	0,45	12,89	145,76
28	Malvín Norte	2,9	0,45	9,12	103,19
29	Manga	3,3	0,45	8,58	97,09
30	Manga. Toledo Chico	3,4	0,45	10,7	121,06
31	Maroñas. Parque Guaraní	3,1	0,45	9,05	102,39
32	Mercado Modelo. Bolívar	2,7	0,45	7,07	79,98
33	Nuevo París	3,3	0,45	12,33	139,51
34	Parque Batlle. Villa Dolores	2,5	0,45	14,53	164,38
35	Paso de la Arena	3,7	0,38	8,74	98,92
36	Peñarol. Lavalleja	3,3	0,45	15,18	171,71
37	Piedras Blancas	3,5	0,38	8,52	96,42
38	Pocitos	2,4	0,33	22,98	259,95
39	Prado. Nueva Savona	3,0	0,45	9,3	105,23
40	Punta Carretas y Parque Rodó	2,4	0,33	12,55	141,99
41	Punta de Rieles. Bella Italia	3,6	0,38	9,59	108,49
42	Reducto	2,7	0,45	6,42	72,59
43	Sayago	2,8	0,45	6,9	78,08
44	Tres Cruces y La Comercial	2,3	0,33	9,16	103,66
45	Tres Ombúes. Victoria	3,2	0,45	8,68	98,14
46	Unión	2,8	0,45	18,66	211,12
47	Villa Española	3,0	0,45	10,73	121,4
48	Villa Muñoz. Retiro	2,7	0,45	6,48	73,32

Tabla 12: Producción de residuos estimada.

Sumando los valores para cada barrio se obtienen las producciones diarias en peso y volumen de RSD para la ciudad de Montevideo. Estas resultan ser aproximadamente:

- PP: 550 Ton/d.
- PV: 6235 m³/d.

El peso de RSD producido diariamente estimado se asemeja al informado en el PDRS⁴.

Estos resultados serán utilizados en el dimensionado de las unidades de valorización y disposición final de RSD en la ciudad de Montevideo.

Considerando una vida útil de 20 años para las unidades de valorización y disposición final de RSD a dimensionar en el presente trabajo, se estima la cantidad de RSD producidos diariamente en la ciudad de Montevideo para el horizonte de proyecto asumido y se informa el porcentaje de estos residuos capaces de ser tratados por las unidades diseñadas en el presente trabajo.

Para proyectar la generación de residuos, se toma como hipótesis que las PPC asignadas a cada barrio de la ciudad de Montevideo permanecen incambiadas. Para realizar la proyección de la población de cada barrio montevideano, se estima el porcentaje de variación de la población de toda la ciudad de Montevideo entre el año 2004 y el año 2032 y se le asigna el mismo porcentaje de variación a la población de cada barrio. Luego se repite el procedimiento mostrado en párrafos anteriores para estimar la generación diaria de RSD.

Con el fin de estimar la población de la ciudad de Montevideo al año 2032 se recurre a las proyecciones brindadas por el INE⁵. Las mismas corresponden al período 1996 – 2025. En la siguiente figura se muestran las proyecciones de población brindadas por el INE para la ciudad de Montevideo. Es posible ajustar un polinomio a los datos graficados. Utilizando el polinomio ajustado, se estima la población de Montevideo al año 2032. Esta resulta ser: 1.200.000 hab.

Teniendo en cuenta la población de Montevideo al año 2004 (1.325.968 hab), puede estimarse que al año 2032 la misma se redujo un 10 %. Siguiendo el procedimiento expuesto en párrafos anteriores se estima la generación de RSD al año 2032 en peso y en volumen, resultando:

- PP: 500 Ton/d.
- PV: 5600 m³/d.

4 El PDRS informa una producción de RSD igual a 685 ton/d. Este estudio data del año 2005.

5 Población Total de Ambos Sexos proyectada según grupos de edades al 30 de junio de cada año. Período 1996 – 2025.

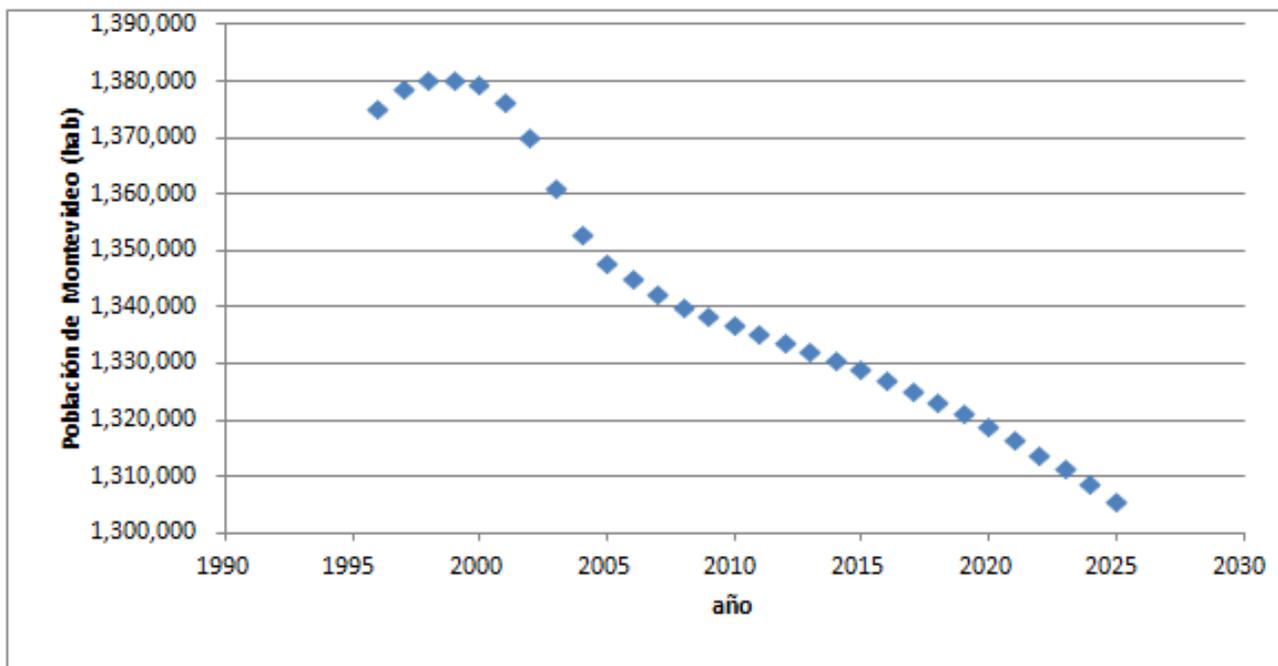


Figura 2: Proyección de la población de Montevideo, INE.

Por lo tanto, las unidades de valorización y disposición final de RSD diseñadas en el presente estudio serán capaces de brindar tratamiento a la totalidad de los RSD generados durante toda la vida útil de las instalaciones ya que la población (y por lo tanto también la generación de RSD) decrece a lo largo del tiempo.

2.2. Comparación de alternativas

2.2.1. Área necesaria

A partir de la cantidad de residuos producidos, en peso y en volumen, estimados para la ciudad de Montevideo, se analizan las áreas necesarias para cada una de las 3 alternativas consideradas.

- Peso total generado: 550 ton/día
- Volumen total generado: 6235 m³/día
- Densidad: 88,4 kg/m³
- Peso NO reciclable: P residuos alimenticios + P categoría incorrecta + P residuos sanitarios + P otros = 450 ton/día (81,6 %)
- Peso reciclable: P papel + P cartón + P plásticos + P vidrio + P metales + P residuos electrónicos = 100 ton/día (18,4 %)
- Volumen NO reciclable: 2263 m³/día (36,3 %)

- Volumen reciclable: 3972 m³/día (63,7 %)

Alternativa 1:

A la planta de clasificación llegarán los residuos reciclables. Como primera aproximación se supone que todos los residuos procesados por esta planta son comercializados, es decir, no se producen descartes a disponer en un sitio de disposición final.

La planta de incineración tratará entonces los residuos no reciclables. Según referencias bibliográficas, para la producción estimada en peso de residuos no reciclables se necesitará un área de 0,4 Ha. También se describen los residuos que se generan en forma de cenizas durante el proceso de incineración por tonelada de residuos que ingresan. Este valor es: 350 kg/ton de residuo incinerado. Por lo tanto se generan en el proceso: 158 ton/día de cenizas y considerando que la densidad de las cenizas se puede aproximar a 1,59 ton/m³, el volumen producido resulta ser: 99 m³/día. Las cenizas producidas deberán disponerse en un relleno sanitario. Se supone una vida útil del relleno de 20 años, por lo tanto el volumen de cenizas que llegará a lo largo de toda su vida útil será de: 940*10³ m³. En este volumen se incluye un factor de 1,3 que representa al material de cobertura utilizado en la construcción del relleno. Considerando un factor de relación entre el volumen del relleno y su área superficial, f=10, el área necesaria para el mismo es de: 9,4 Ha. Por lo tanto, el área total necesaria para la Alternativa 1 a los efectos de esta comparación es de 9,8 Ha.

Alternativa 2:

A la planta de clasificación llegarán los residuos reciclables. Como primera aproximación se supone que todos los residuos procesados por esta planta son comercializados, es decir, no se producen descartes a disponer en un sitio de disposición final.

El resto de los residuos se disponen en un relleno sanitario con una vida útil estimada en 20 años. El volumen total a disponer es: 17*10⁶ m³. Considerando un factor de relación entre el volumen del relleno y su área superficial, f=10, el área necesaria para el mismo es de: 170 Ha. Por lo tanto, el área total necesaria para la Alternativa 2 es de 170 Ha.

Alternativa 3:

A la planta de clasificación llegarán los residuos reciclables. Como primera aproximación se supone que todos los residuos procesados por esta planta son comercializados, es decir, no se producen descartes a disponer en un sitio de disposición final.

El biodigestor anaerobio trata solamente los residuos alimenticios, éstos son en peso y en volumen: 360 ton/día y 1047 m³/día respectivamente. Dado el peso de entrada, se genera un efluente de 180 ton/día, el cual puede ser utilizado como mejorador de suelo. Asumiendo que el volumen destinado al almacenamiento de los gases generados en la metanogénesis es

aproximadamente un 15 % del volumen total del reactor y que se generan $0,15 \text{ m}^3$ de biogás por kg de basura que ingresa al reactor, puede calcularse el volumen necesario para la acumulación de gases y en función de éste, el volumen total del reactor. $V_{\text{gas}} = 54000 \text{ m}^3$, $V_{\text{reactor}} = 360 * 10^3 \text{ m}^3$. Considerando un factor de relación entre el volumen y el área del reactor, $f=10$, el área necesaria para la ubicación del reactor es de: 3,6 Ha. El volumen del relleno necesario para disponer los residuos de la biodigestión y el resto de los residuos no reciclables, dependerá de las características del efluente generado en el proceso de biodigestión anaerobia. Si el mismo puede ser utilizado como mejorador de suelo en su totalidad, el volumen del relleno necesario será: $9 * 10^6 \text{ m}^3$, con $f=10$, el área necesaria es: 90 Ha. Si se supone que el efluente de la biodigestión no es utilizado como mejorador de suelo y debe disponerse en el relleno, el volumen resultante para el sitio de disposición es: $10 * 10^6 \text{ m}^3$, con $f=10$, el área necesaria es: 100 Ha. En ambos casos se supone que el relleno tiene una vida útil de 20 años.

Finalmente, si el residuo del proceso de biodigestión es utilizado como mejorador de suelo, el área total necesaria para la Alternativa 3 es de 93,6 Ha. De lo contrario es de 103,6 Ha.

3. Anteproyecto de la alternativa preseleccionada

3.1. Planta de clasificación de materiales reciclables

A continuación se describen los cálculos relativos al diseño de algunos de los componentes de la planta de clasificación.

Cintas de clasificación

Dimensionado de las correas

Se definen:

- u: Ancho de la cinta (m)
- h: Altura de residuos en la cinta (m)
- v: Velocidad de la cinta (m/min)
- V_p : Volumen procesado por una cinta (m^3/min) = $u \cdot h \cdot v$
- t: Tiempo de funcionamiento diario (hs)
- V_d : Volumen procesado diariamente por una cinta (m^3/d) = $V_p \cdot t$
- N: N° de cintas necesarias = $3972 \text{ m}^3/d / V_d$
- L_T : Largo total de la correa (m)
- L: Largo de cada correa (m)

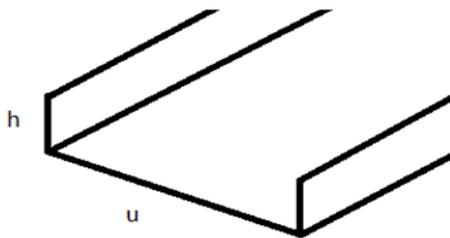


Figura 3: Detalle de la cinta de clasificación.

Seguindo las recomendaciones que brinda el CEMPRE⁶, se fijan:

- $u = 0,8 \text{ m}$
 - $h = 0,20 \text{ m}$
 - $v = 6 \text{ m/min}$
 - $t = 18 \text{ hs (tres turnos de 6 hs)}$
- $V_p = 0,96 \text{ m}^3/\text{min}$
 $V_d = 1037 \text{ m}^3/\text{d}$
 $\rightarrow N = 4$

Personal necesario para clasificación

Utilizando datos bibliográficos⁷, se consideran las siguientes eficiencias de clasificación para un día de operación:

Material	Peso (Ton/turno)	Tasa de clasificación (Ton/h/per)	Horario laboral (horas)	Clasificación (Ton/per)	N° de personas necesarias por turno	N° de personas asignadas por turno
Papel	8	0,75	6	4,5	2	8
Cartón	5	0,75	6	4,5	2	8
Vidrio	8	0,45	6	2,7	3	8
Plástico	12	0,07*	6	0,4	30	32
Metales	2	0,02*	6	0,12	17	12

* Se consideran tasas de clasificación menores a las reportadas en bibliografía ya que, debido a su elevado precio de venta, se pretende recuperar la mayor cantidad posible de estos tipos de material.

Tabla 13: Clasificadores por tipo de material.

El número de personas asignadas para cada material difiere del número de personas necesarias. Esto se debe a diferentes aspectos:

- Se considera un mínimo de dos personas por material y por cinta. Por lo tanto se tendrá un mínimo de ocho personas por material.
- Se considera un número igual de trabajadores por material por cinta.
- En el caso de los metales, se considera un mismo número de trabajadores por cinta pero

⁶ Residuos Sólidos Urbanos, Manual de Gestión Integral, CEMPRE, 1998

⁷ Design of a Materials Recovery Facility (MRF) For Processing the Recyclable Materials of New York City's, Municipal Solid Waste, 2000.

menor al número necesario calculado ya que se prevé la instalación de un imán para separar los metales ferrosos.

A partir de lo anterior: N° de personas por turno = 68

Se consideran tres turnos diarios de 6 hs → **Personal de clasificación = 204 personas.**

Longitud de las cintas

Se suponen⁸:

- 1 persona/metro de cinta
 - 1 persona a cada lado de la cinta
- } $L_T = 102 \text{ m}$

$N = 4 \rightarrow L = 26 \text{ m.}$

Los camiones recolectores descargarán en una única cinta de 3 m de ancho que luego se dividirá para dar lugar a las cuatro cintas calculadas como necesarias en donde se dará la separación de los materiales reciclables.

Equipamiento necesario para la clasificación

En la siguiente tabla se muestra el cálculo del número de vaciados de los contenedores escogidos por operario, por turno y por material:

⁸ CEMPRE, 1998

Material	m3/d	m3/turno	N° de personas	N° de recipientes	Capacidad de los recipientes (m3)	N° de vaciados/turno	Por operario/turno
Papel	661	221	8	8	3	74	10
Cartón	686	229	8	8	3	77	10
Vidrio	44	15	8	8	3	5	<1
Plástico	2488	830	32	32	12	70	3
Metales no ferrosos	19	7	12	12	4	2	<1
Metales ferrosos	69	23	1	1	1,1	21	21

Tabla 14: Equipamiento para el personal.

Depósito

Área necesaria para residuos

A continuación se hace referencia a las áreas necesarias para las volquetas previstas para acopio de vidrio, metales y residuos electrónicos en volquetas.

Las capacidades ofrecidas son de 1,5 m³, 6 m³ y 10 m³. Para las cantidades entrantes de residuos reciclables que no son compactados se estima el número de volquetas necesarias para almacenarlos durante una semana:

- Vidrio: $V_V = 43,6 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow V_V = 305,2 \text{ m}^3/\text{sem} \rightarrow 31 \text{ volquetas de } 10 \text{ m}^3$.
- Metales: $V_M = 81,1 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow V_M = 567,7 \text{ m}^3/\text{sem} \rightarrow 57 \text{ volquetas de } 10 \text{ m}^3$.
- Residuos electrónicos: $V_{RE} = 6,2 \text{ m}^3/\text{d} \rightarrow V_{RE} = 43,4 \text{ m}^3/\text{sem} \rightarrow 5 \text{ volquetas de } 10 \text{ m}^3$.

En base a las dimensiones de las volquetas consideradas y a la altura estimada de las pilas de residuos compactados, se estima el área necesaria. Esta resulta ser: $\dot{A}_{RES} = 894,7 \text{ m}^2 + 595,2 \text{ m}^2 = 1490 \text{ m}^2$.

Área necesaria para maquinaria y espacios adicionales.

- Compactadoras de residuos: El área ocupada por una compactadora es $0,6 \text{ m}^2$ (Prensas para residuos BRAMIDAN), cada fardo producido por éstas tiene un volumen de $0,23 \text{ m}^3$. Sabiendo que los residuos son compactados un 90 %, un fardo equivale a un volumen de residuos de $2,3 \text{ m}^3$. Teniendo en cuenta que ingresan diariamente a la planta 3836 m^3 de residuos a compactar (papel, cartón y plástico) se producirán 1686 fardos diarios. El tiempo de compactación reportado es de 18 s, se asume que se produce un fardo cada 5 min. Entonces, considerando ocho compactadoras se necesitan 17,5 hs diarias para producir los fardos necesarios. Como la jornada laboral total es de 18 hs, se propone colocar 8 compactadoras. De todas maneras, se considera un 25 % extra de maquinaria para prevenir inconvenientes $\rightarrow N^\circ$ de compactadoras = 10 $\rightarrow \dot{A}_{\text{COMP}} = 6 \text{ m}^2$.
- Elevadores:
 - Largo = 3 m
 - Ancho = 1,10 m
 - Radio de giro necesario = 1,517 m $\rightarrow \dot{A} = 7,2 \text{ m}^2$Se consideran tres autoelevadores $\rightarrow \dot{A}_{\text{ELEV}} = 21,6 \text{ m}^2$
- Retiro de volquetas: Se supone que los vidrios, los metales y los residuos electrónicos se acumulan en volquetas \rightarrow es necesario prever espacio para las maniobras del camión que las retire. Se consideran las dimensiones de un camión marca Hyundai, modelo HD 270. El camión considerado resulta tener un área de 19 m^2 . Para garantizar un correcto movimiento del camión en el depósito se destina un espacio igual a cuatro veces su área $\rightarrow \dot{A}_{\text{CAMIÓN}} = 76 \text{ m}^2$.

A partir de lo anterior, se calcula el área necesaria de depósito. Esta resulta ser 1594 m^2 . Se agrega un 25 % del área calculada para la circulación del personal. Por lo tanto, el área del depósito resulta ser **1993 m^2** .

Personal adicional

- Personal de limpieza: Según “Estandarización de la fuerza laboral requerida para la limpieza de las áreas administrativas de C.V.G. ALCASA (Venezuela)” 1 obrero es requerido para garantizar la limpieza de 585 m². Si se considera el área parcial total de la planta de clasificación (3501 m², ver piezas gráficas) → Personal de limpieza = 6 personas/turno → Personal de limpieza = 18 personas.
- Personal de depósito:
 - Personal para traslado y vaciado de contenedores: Se tiene un total de 249 contenedores a vaciar por turno. Se estima en 5 min el tiempo necesario para el vaciado de un contenedor. Se sabe que los turnos laborales son de 6 hs. Por lo tanto serán necesarios 4 operarios por turno para el vaciado de los contenedores de residuos → Personal = 12 personas.
 - Maquinistas: Por turno funcionan ocho compactadoras en simultáneo y tres autoelevadores. Por lo tanto, serán necesarias 11 personas por turno → Personal = 33 personas.

De lo anterior se desprende: **Personal de depósito = 45 personas.**

- Oficiales, auxiliares y administrativos:
 - 1 oficial mecánico por turno
 - 1 oficial eléctrico por turno
 - 1 oficial electro-mecánico por turno
 - 1 supervisor del área de clasificación por turno
 - 1 supervisor del área de depósito por turno
 - 1 oficial sanitario
 - 2 administrativos para registro y pesaje de camiones por turno
 - 1 coordinador general por turno

Teniendo en cuenta lo anterior y el cálculo del personal necesario para la clasificación de materiales reciclables realizado anteriormente, el personal total necesario para el funcionamiento de la planta es el siguiente:

Personal de la planta = 292 personas → 97 personas/turno aproximadamente.

Áreas adicionales

Se consideran áreas adicionales en la planta correspondientes a baños, vestuarios, comedor, oficinas y taller.

Para el cálculo de éstas áreas adicionales se utilizará el decreto 89/995 del Ministerio de Trabajo y Seguridad Social (MTSS) titulado “Seguridad e higiene en la industria de la construcción” ya que, si bien no está dirigido a plantas como la proyectada, el mismo constituye una buena referencia y tiene aplicación en todo el territorio nacional. El mismo plantea, en su artículo 5to las dimensiones mínimas a considerar en los gabinetes higiénicos. Estas son:

- Ancho = 1 m
- Largo = 1,2 m
- Altura = 2,2 m

Además, en su artículo 7mo indica el número de gabinetes higiénicos a colocar en relación con la cantidad de trabajadores por turno existentes en la instalación. Estas indicaciones se resumen en la siguiente tabla:

Número de trabajadores	Número de gabinetes higiénicos
Hasta 100	Uno cada 15 trabajadores o fracción
De 101 hasta 200	Uno cada 20 trabajadores o fracción
De 201 hasta 300	Uno cada 30 trabajadores o fracción
Más de 300	Uno cada 30 trabajadores sin limitación

Tabla 15: Gabinetes higiénicos en función de la cantidad de personal.

Dado el número de trabajadores por turno calculados para la planta de clasificación, considerando el área mínima recomendada para los gabinetes higiénicos y dejando espacio en el baño para circulación y colocación de lavatorios, el área total para baños resulta ser:

$$\mathbf{Á_{BAÑOS} = 26 \text{ m}^2.}$$

Este mismo decreto tiene una sección referente a la cantidad de duchas necesarias a instalar para el correcto aseo de los trabajadores de la planta. La información referida a este punto se resume en la siguiente tabla:

Número de trabajadores	Número de duchas
Hasta 5	1
De 6 hasta 20	1 cada 5 trabajadores o fracción
Por los siguientes 20	1 cada 10 trabajadores o fracción
Por los siguientes 60	1 cada 20 trabajadores o fracción
Para más de 100	1 cada 30 trabajadores o fracción

Tabla 16: Duchas en función de la cantidad de personal.

Teniendo en cuenta la cantidad de trabajadores por turno, asignándole a las duchas la misma área que la de los gabinetes higiénicos y previendo espacios adicionales necesarios, se calcula el área necesaria de vestuarios, resultando: $\dot{A}_{\text{VEST}} = 52 \text{ m}^2$.

Para estimar el área ocupada por el comedor y las oficinas se utiliza la Norma A.130 “Requisitos de seguridad” de Perú. La misma recomienda, en lo referente al comedor, $1,5 \text{ m}^2/\text{persona}$. Sabiendo el número de trabajadores de la planta se estima el área de comedor necesaria. Ésta resulta ser: $\dot{A}_{\text{COMEDOR}} = 146 \text{ m}^2$.

Con respecto a las oficinas, esta norma recomienda disponer $9,3 \text{ m}^2/\text{persona}$. Teniendo en cuenta la cantidad de personas por turno que trabajarán en oficinas se estima el área necesaria, resultando: $\dot{A}_{\text{OF}} = 84 \text{ m}^2$.

Está prevista la construcción de un taller para reparaciones dentro del predio de la planta. En una primera instancia, su área se estima en 35 m^2 .

Considerando el área de la planta de clasificación estimada anteriormente y las áreas adicionales calculadas en los párrafos anteriores, se calcula el área total a ocupar por la planta de clasificación de materiales reciclables. Ésta resulta ser: $\dot{A}_{\text{PLANTA}} = 3844 \text{ m}^2$.

Instalaciones sanitarias

Desagüe de pluviales

Se diseña el desagüe de pluviales relativo a los techos del depósito, de la zona de clasificación, de la zona de vestuarios y comedor, y de la zona de oficinas. Se determina el aporte parcial de cada zona y hacia qué lado vierten. Para ésto se toma como referencia que se coloca un colector pluvial sobre la izquierda de la zona edificada y un colector pluvial sobre la derecha de la misma.

A continuación se indica cómo se considera que se desagua cada zona.

Referencia	Colector pluvial sobre el cual vierten
Depósito	Mitad sobre la derecha, mitad sobre la izquierda
Zona de clasificación	Izquierda
Zona de vestuarios y comedor	Derecha
Zona de oficinas	Derecha

Tabla 17: División de los caudales de aporte.

Para la determinación de caudales de aporte se utiliza el Método Racional. A partir de su fórmula de cálculo: $Q = c \cdot i \cdot A$, siendo:

- Q: caudal (m³/s)
- c: coeficiente de escorrentía, se toma $c = 1$ para escurrimiento sobre techos y azoteas
- i: intensidad (mm/h); se toma $i = 120$ como recomendación bibliográfica
- A: área (m²)

A partir de éste método y en función de las áreas relativas se calculan los caudales de aporte para cada colector pluvial. A su vez, se considera para el diseño la colocación de tuberías de bajada en PVC 110 mm cada 100 m² de área drenada. Dichas tuberías cuentan con una cámara de conexión con el colector de pluviales, que incluye un desarenador.

Por otro lado se definen los diámetros a utilizar para cada tubería de pluviales, en PVC, calculándose luego el y/D obtenido y la velocidad que resulta (para esta parte se considera que las tuberías se colocan con una pendiente del 2 %).

PLUVIALES		
	Colector izquierda	Colector derecha
c	1	1
i (mm/h)	120	120
A (m2)	2221.22	1243.44
Q (L/s)	74.04	41.45
diámetro (mm)	250	250
y/D (%)	60	43
v (m/s)	2.4	2.1

Tabla 18: Verificaciones de los colectores de pluviales.

De la tabla anterior se desprende que las tuberías cumplen con las condiciones de operación recomendadas.

Colectores de desagüe

A continuación se describen las verificaciones realizadas para los colectores de desagüe. Por un lado se verifica el funcionamiento del colector más exigido en la zona de duchas y baños, y por otro se verifica el funcionamiento de los colectores que recolectan los líquidos de lavado de pisos.

Para la zona de vestuarios, baños y comedor se utilizan valores de caudales típicos relativos a los distintos aparatos existentes. A su vez se toma una simultaneidad del 100 % del equipamiento debido a la dinámica de funcionamiento de la planta. Dichos valores se muestran en la siguiente tabla.

	Cantidad	Q típico (L/s)
Lavamanos	12	0.1
Inodoros	7	0.1
Duchas	9	0.1
Piletas cocina	8	0.15

Tabla 19: Caudales típicos para equipamientos sanitarios.

A partir de las consideraciones realizadas se muestra el caudal obtenido y las dimensiones utilizadas. También se muestran las verificaciones realizadas para el colector que acumula el aporte de los distintos equipos (para esta parte se considera que las tuberías se colocan con una pendiente del 2 %).

Q (L/s)	4
<i>Simultaneidad del 100 %</i>	
diámetro (mm)	110
y/D (%)	50
v (m/s)	1
Tensión (Pa)	5.1

Tabla 20: Verificaciones de los colectores.

De la tabla anterior se puede concluir que las dimensiones utilizadas en el diseño, verifican condiciones adecuadas de operación.

Por otro lado se analizaron los colectores que desaguan el agua de lavado de pisos. En este caso se consideran dos zonas diferenciadas. Una corresponde a la zona del depósito y otra corresponde a la zona de clasificación. En ambas zonas se propone una captación de las aguas mediante canaletas con rejillas. Luego de acumular, las canaletas se conectan mediante una cámara, a un colector de PVC, previo pasaje por un desarenador.

Para la determinación del caudal de aporte, en este caso también se utilizan valores de caudales típicos para los grifos que suministran el agua para lavado. Como en el pre-diseño realizado se consideran 4 grifos tanto para el lavado de la zona de depósito como para el lavado de la zona de clasificación, los colectores diseñados presentan idénticas características.

A partir de los caudales típicos utilizados, se obtienen los siguientes caudales de diseño.

	Cantidad	Q típico (L/s)	Q (L/s)
Grifo limpieza depósito	4	0.2	0.8
Grifo limpieza clasificación	4	0.2	0.8

Tabla 21: Caudales de diseño.

Luego se realizan las verificaciones correspondientes en función de los caudales obtenidos (para esta parte se considera que las tuberías se colocan con una pendiente del 2 %).

Se presentan los resultados obtenidos que corresponden a cualquiera de las 2 situaciones en análisis.

Q (L/s)	0.8
diámetro (mm)	110
y/D	0.2
v (m/s)	0.7

Tabla 22: Verificaciones de los colectores.

De la tabla anterior se desprende que las dimensiones utilizadas en el diseño, verifican condiciones adecuadas de operación.

Red de agua potable

A continuación se presentan las verificaciones realizadas para la red de agua potable propuesta. Se parte para las mismas de algunas suposiciones referidas a:

- Punto de conexión a la red de agua de OSE
- Carga en el punto de conexión (18 m.c.a.)
- Distribución estimada en longitud y traza

Se estimará la presión en la ducha más comprometida considerando un suministro directo desde la red de OSE. Para ésto se utilizan las longitudes de los tramos intermedios y las singularidades de la red, de modo de calcular las perdidas de carga localizadas y distribuidas. Para dichos cálculos se utiliza la fórmula de Hazen-Williams para las pérdidas de carga distribuidas.

Se utilizan los siguientes coeficientes y valores iniciales:

H inicial (m.c.a.)	18
altura ducha (m)	2
diámetro (mm)	19
C	150
K codo	0.75

Tabla 23: Criterios utilizados.

A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada tramo.

tramo	longitud (m)	n° de codos	Q (L/s)	v (m/s)	pérdida de carga (m)
A	1	0	1.46	5.15	1.37
B	4.55	1	0.99	3.49	3.51
C	5.52	0	0.85	3.00	2.79
D	9.27	0	0.52	1.83	1.89
E	5.93	1	0.61	2.15	1.80
F	0.4	1	0.57	2.01	0.25
G	1	0	0.54	1.90	0.22
H	1.05	0	0.52	1.83	0.21
I	8.66	1	0.52	1.83	1.89

Tabla 24: Pérdidas de carga calculadas.

Finalmente, se obtiene en función de lo anterior, la pérdida de carga total. Luego se calcula la presión que se logra en la ducha más comprometida.

$$H_{\text{ducha}} = 18 - 13,93 - 2 = 2,07 \text{ m.c.a.}$$

Se observa que el valor que se obtiene, cumple con las recomendaciones de presiones mínimas (1 m.c.a.).

Por otra parte se estimó cual sería la carga que se obtiene en el grifo más comprometido para el lavado de pisos. En este caso, no se obtiene un valor acorde a lo recomendado, básicamente por la longitud de los tramos de red que se proponen. Por lo tanto, se observa que para este caso se debería considerar un suministro indirecto, de modo lograr una presión acorde a la demanda.

3.2. Planta de incineración

Respecto a la planta de incineración se describe el método utilizado para la estimación de la generación eléctrica.

Según los ensayos realizados en el LATU, el poder calorífico superior en base húmeda de los RSD no reciclables es, en promedio, 5193 J/g con una desviación estándar promedio de 202 J/g. Este valor medio equivale a 1,44 MWh/Ton. Asumiendo que las pérdidas térmicas en el horno, las cenizas y gases de chimenea son del 10 % (WTE, DINAMA, 2012), a la turbina llegan 1,3 MWh/Ton en forma de vapor. Considerando que la temperatura del vapor es 400 °C a 40 bar de presión y que la turbina tiene un 28 % (WTE, DINAMA, 2012) de eficiencia, se obtienen 0,36 MWh de electricidad por tonelada de residuo procesada. Si la planta consume el 15 % para uso propio, implicaría que se pueden exportar a la red 0,31 MWh/Ton. Sabiendo que ingresan a la planta 450 Ton/d de residuos no reciclables, en un año se exportarían a la red aproximadamente 51 GWh de energía eléctrica.

En la siguiente figura se muestra la generación de energía eléctrica producida en el año 2010 por distintas fuentes nacionales:

Instalación generadora	Generación 2010 (GWh/ año)
Represa de Terra (Generación hidráulica)	959
Represa de Baygorria (Generación hidráulica)	604
Represa de Palmar (Generación hidráulica)	1.938
Represa de Salto Grande (Generación hidráulica – Cuota de generación correspondiente a Uruguay)	5.165
"Sierra de los Caracoles" (Generación eólica)	56
Generadores Privados	284
TOTAL Generación térmica	1.426
TOTAL Generación hidráulica	8.393
TOTAL Generación eólica	68
TOTAL	9.887

Figura 4: Generación de energía eléctrica Uruguay, 2010.

Se puede observar que la energía obtenida a partir de la planta de incineración de RSD es muy similar a la obtenida en el parque eólico ubicado en la Sierra de los Caracoles. A su vez, se nota que la energía producida en esta instalación es muy inferior a la generada por las represas.

En el presente trabajo se supone la incineración de los residuos reciclables en caso de que la planta de clasificación de materiales reciclables se encuentre fuera de servicio. Con el fin de estimar la generación de energía en estos casos se hace referencia a un documento elaborado en Enero del 2012⁹. En el mismo se considera la incineración de todos los residuos generados en el Área Metropolitana de Montevideo. En el citado trabajo se estima el poder calorífico de los residuos generados en 10000 J/g. Siguiendo un razonamiento análogo al descrito en párrafos anteriores, el valor medio de la energía eléctrica generada para las tres alternativas de incineración propuestas en el mencionado trabajo es 510 GWh/año.

Se observa que la energía obtenida en este caso es mucho mayor a la estimada considerando únicamente la incineración de los residuos no reciclables (comparable a la generación energética de algunas de las represas nacionales en el año 2010). De todas formas, cabe destacar que la incineración en estas condiciones significará un proceso ambientalmente mucho más riesgoso al proyectado en este trabajo ya que se incinerarían residuos potencialmente generadores de contaminantes atmosféricos de mayor riesgo como ser los plásticos y los metales.

A modo de complemento se presenta una comparación entre el poder calorífico medio medido en laboratorio y valores presentados en bibliografía¹⁰.

En la citada bibliografía se presenta una estimación teórica del poder calorífico de los residuos sólidos, según los componentes que los integran. Considerando los principales componentes de los residuos no reciclables, se procedió al cálculo teórico del poder calorífico. Para esto se consideraron los siguientes tipos de residuos:

- Residuos alimenticios, poder calorífico teórico: 4,18 MJ/kg.
- Residuos sanitarios, poder calorífico teórico: 9,81 MJ/kg.
- Otros, poder calorífico teórico: 10,70 MJ/kg.

Teniendo en cuenta el porcentaje de cada uno en el total de residuos no reciclables, el poder calorífico teórico estimado resulta ser: 5350 J/g. Este valor resulta ser muy próximo al poder calorífico medio obtenido experimentalmente (5193 J/g).

⁹ Estudio de pre-factibilidad técnica y económica para la instalación de capacidad de generación de energía a partir de residuos (WTE) en Uruguay.

¹⁰ Tchobanoglous, 1994.

3.3. Celda tipo para cenizas de incineración

Diseño de la celda tipo

Dimensiones de la celda tipo

En cuanto a la celda tipo, en primer lugar se parte del valor de volumen de cenizas compactadas para un día, $V = 105 \text{ m}^3$.

Altura de la celda: **$h = 1,5 \text{ m}$** . Con este valor de altura se logra una buena compactación y se generan condiciones operativas adecuadas.

Las celdas se consideran rectangulares y se fijan pendientes para los taludes laterales 1:3. Este criterio se toma en función del tipo de material con el que se trabaja y de las capacidades de la maquinaria a utilizar. A su vez, estos criterios son concordantes con la experiencia existente en instalaciones que desarrollan tareas similares a nivel nacional.

Una celda tipo se apoya sobre los taludes de las 2 celdas que la rodean. Por lo tanto su geometría consta de un núcleo rectangular, 4 taludes (2 sobre los taludes de las celdas existentes y 2 que se generan con la nueva celda) y 4 tetraedros irregulares en las esquinas de la celda.

Para determinar las dimensiones de la celda tipo, deben definirse su ancho (a) y largo (b), de modo que los taludes queden definidos. Para esto nuevamente se consideran las características de la maquinaria a utilizar, de modo de obtener condiciones operativas adecuadas.

Celda tipo	
h (m)	1,5
a (m)	5
b (m)	7,5
V1 (m3)	2,3
V2 (m3)	50,6
V3 (m3)	33,8
V4 (m3)	20,3
V celda (m3)	107
A superficial (m2)	104

Tabla 25: Dimensiones de celda tipo.

En la tabla anterior los volúmenes corresponden a:

- V_1 : prisma central
- V_2 : talud lateral (incluye los 2 laterales)
- V_3 : talud lateral (incluye los 2 laterales)
- V_4 : tetraedro irregular en la esquina de la celda (se repite en las 4 esquinas)

Por otro lado se determina el volumen de cobertura diario necesario. Éste se puede determinar en función del área superficial diaria y la altura de cobertura diaria (20 cm de tierra natural o compost). El área mencionada corresponde al área superior de la celda y el área de los taludes laterales.

En función de las dimensiones determinadas, la misma es de 71 m² diarios. Por lo tanto el volumen de cobertura diaria es de: 14,2 m³/d. La cobertura diaria evita las voladuras de material, la generación de olores (problema menor para el caso de las cenizas), y parte de la infiltración de agua en las celdas.

4. Análisis de costos

4.1. Planta de clasificación de materiales reciclables

4.1.1. Ingresos

Con el fin de estimar los ingresos obtenidos al operar la planta de clasificación de materiales reciclables proyectada, resulta fundamental conocer dos aspectos de nuestra realidad local, estos son:

- El mercado existente para la comercialización de los materiales recuperados.
- El precio de venta actual, pasado y esperable en el futuro de dichos materiales.

A continuación se describe el análisis realizado para determinar el precio de venta a utilizar para la estimación de ingresos.

Precios de venta de los materiales recuperados

Para estimar las ganancias obtenidas al vender los materiales reciclables recuperados se analizan los precios de venta reportados por el CEMPRE correspondientes al período Diciembre del 2004 - Marzo del 2012. A continuación se presenta la evolución de los mismos con el tiempo para los residuos agrupados en las siguientes categorías: Papel y Cartón; Plásticos; Vidrio y Metales:

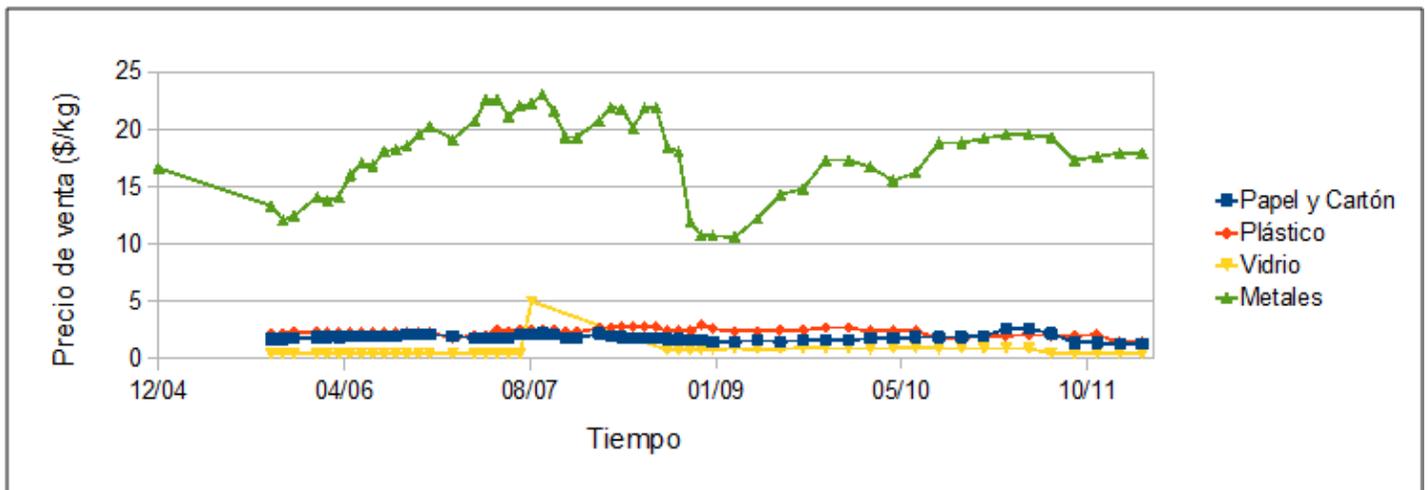


Figura 5: Evolución de precios reciclables.

Se observa que los metales presentan una fuerte variación temporal. Seguidamente, se corrigen los precios presentados en el gráfico anterior utilizando el Índice de Precios al Consumo (IPC). Se toma como período base al mes de Marzo del 2012.

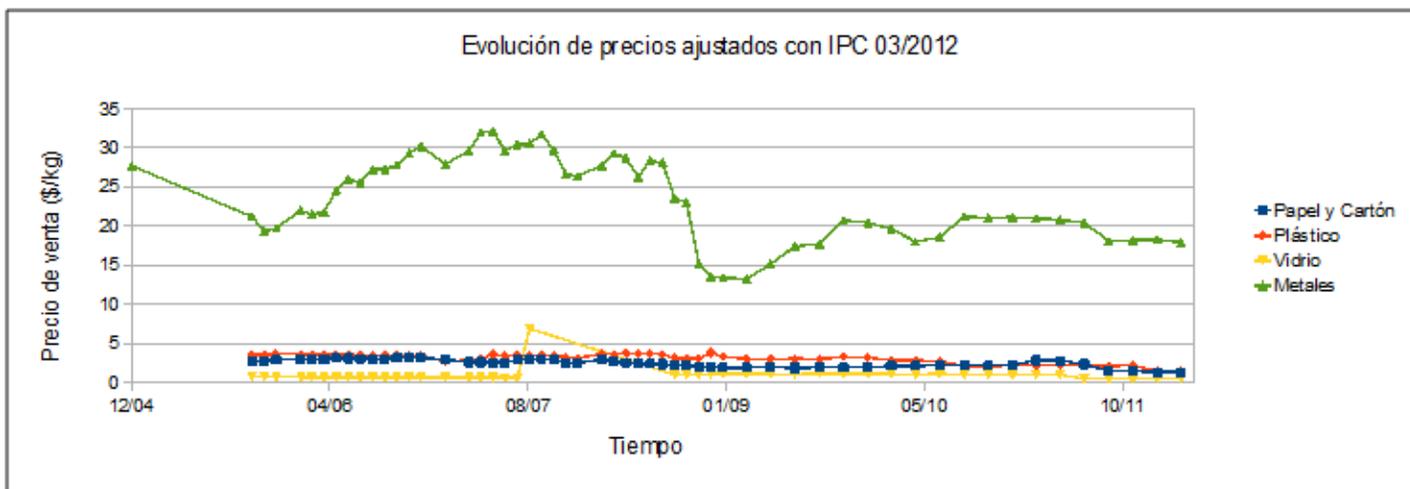


Figura 6: Evolución de precios reciclables ajustados por IPC.

Tal como se observa en la gráfica anterior, la corrección realizada no elimina la variación temporal de los precios de venta de los materiales reciclables mostrada en el gráfico previo.

A continuación se muestra la evolución de los precios presentados por el CEMPRE para la categoría de residuos de papel y cartón desglosada en los distintos componentes considerados y ajustados con el IPC correspondiente a Marzo del 2012:

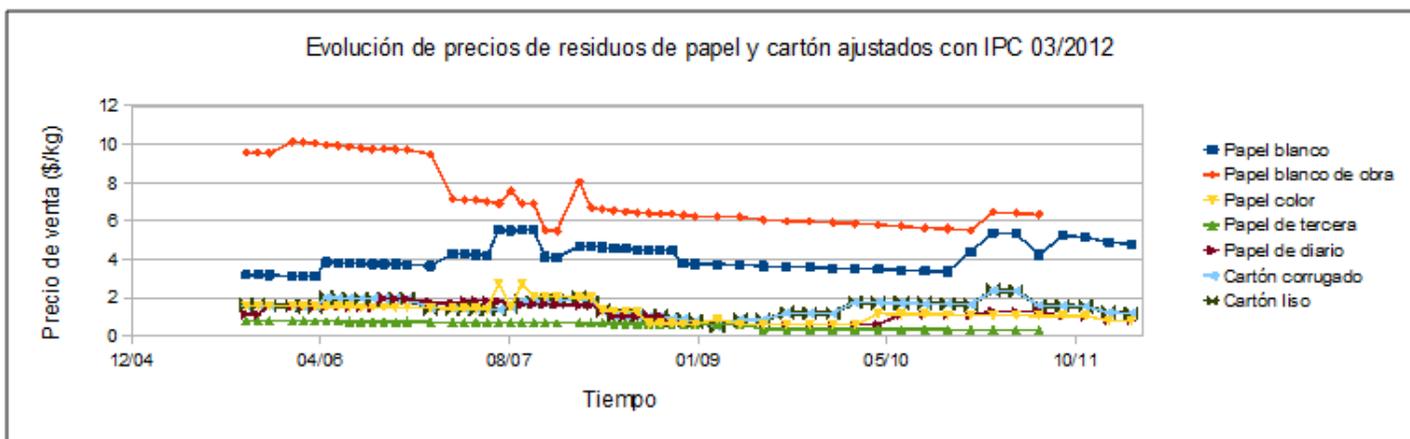


Figura 7: Evolución de precios papel y cartón ajustados por IPC.

En la gráfica anterior se observa que los distintos componentes presentes en la categoría de residuos de papel y cartón presentan diferentes tendencias de evolución. Por ejemplo, el precio de venta del Papel blanco tiende a crecer con el tiempo, el del Cartón corrugado permanece aproximadamente incambiado, mientras que el precio del Papel blanco de obra tiende a decrecer a lo largo del período temporal analizado.

Para el presente análisis se utilizarán los precios de venta más recientes reportados por el CEMPRE. Este criterio resulta conservador en el caso de que los precios de un cierto material tengan una tendencia creciente, riesgoso en el caso de que la tendencia sea decreciente y adecuado para los materiales que no experimentan cambios apreciables en su precio de venta a lo largo del período considerado.

De todas maneras, en caso de que el presente proyecto sea implementado, se recomienda la realización, por parte de profesionales competentes, de un estudio de viabilidad económica del mismo. Se entiende que este tipo de estudio está fuera del alcance del presente proyecto.

En la siguiente tabla se presentan los precios de venta utilizados:

Residuo	Unidad	Precio
Papel y Cartón		
Papel blanco	\$/kg	4.8
Papel blanco de obra (Julio 2011)	\$/kg	6
Papel color	\$/kg	0.8
Papel de tercera (Julio 2011)	\$/kg	0.3
Papel de diario	\$/kg	0.8
Otros papeles	\$/kg	-
Cartón corrugado	\$/kg	1.2
Cartón liso	\$/kg	1.2
Plástico		
PET	\$/kg	8.5
PEAD (Julio 2010)	\$/kg	1.2
PVC (Julio 2010)	\$/kg	1.2
PEBD (Julio 2010)	\$/kg	1.2
PP (Julio 2010)	\$/kg	1.2
PS (Julio 2010)	\$/kg	1.2
Otros plásticos (Julio 2010)	\$/kg	1.2
Vidrio (reuso)		
Vidrio transparente	\$/kg	0.45
Vidrio color	\$/kg	0.45
Metales		
Metales ferrosos	\$/kg	3.38
Metales no ferrosos	\$/kg	32,39

Tabla 26: Precio por tipo de residuo.

Dentro de la información brindada por el CEMPRE, para los componentes analizados para los que no se contaba con un precio de venta actualizado, se tomó el último precio de venta reportado por el CEMPRE.

Estimación de la ganancia obtenida de la venta de los RSD reciclables recolectados:

Utilizando las composiciones en peso obtenidas como resultado del procedimiento de caracterización de RSD realizado y considerando la estimación de la cantidad de RSD generados diariamente en la ciudad de Montevideo (550 ton/d), se obtienen las cantidades generadas de RSD por componente para cada día de muestreo.

Se utilizan los precios estimados por CEMPRE para el mercado de materiales reciclados correspondientes al mes de Marzo del 2012. De esta manera se obtienen estimaciones de las ganancias obtenidas por la venta de RSD reciclables para cada día de muestreo y para la composición promedio.

Se estudian cuatro escenarios diferentes correspondientes a distintos grados de eficiencia en la clasificación de RSD por parte de la población generadora (100 %, 80 %, 50 % y 30 %). Se entiende que, de implementarse un sistema de clasificación de RSD, la eficiencia de clasificación comenzará siendo baja, incrementándose luego. A su vez se aclara que, para escenarios de baja eficiencia de clasificación, los precios de venta obtenidos deberían ser algo menores a los reportados ya que los materiales recuperados estarían en peor estado debido a que seguramente hayan estado en contacto directo con residuos no reciclables erróneamente clasificados.

En la siguiente tabla se presenta la información y los cálculos descriptos en los párrafos anteriores para la composición en peso promedio:

Componente	Peso (ton)	Eficiencia de clasificación (%)			
		100	80	50	30
		Monto percibido por ventas (\$)			
Papel blanco	4.0	19097.1	15277.7	9548.6	5729.1
Papel blanco de obra	1.5	8855.2	7084.2	4427.6	2656.6
Papel color	3.9	3119.8	2495.8	1559.9	935.9
Papel de tercera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Papel de diario	2.8	2277.0	1821.6	1138.5	683.1
Otros papeles	9.3	-	-	-	-
Cartón corrugado	1.0	1148.3	918.6	574.2	344.5
Cartón liso	11.8	14124.4	11299.5	7062.2	4237.3
PET	15.2	129101.0	103280.8	64550.5	38730.3
PEAD	1.4	1735.3	1388.3	867.7	520.6
PVC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PEBD	2.8	3395.1	2716.1	1697.5	1018.5
PP	2.2	2665.1	2132.1	1332.6	799.5
PS	1.1	1376.5	1101.2	688.2	412.9
Otros plásticos	13.6	16280.5	13024.4	8140.2	4884.1
Vidrio transparente	9.0	4061.2	3249.0	2030.6	1218.4
Vidrio color	14.3	6435.1	5148.1	3217.6	1930.5
Metales ferrosos	4.0	13457.9	10766.3	6728.9	4037.4
Metales no ferrosos	0.9	30369.8	24295.9	15184.9	9111.0
	suma	257499	205999	128750	77250

Tabla 27: Ingresos estimados según eficiencia de clasificación.

Estos resultados se muestran, de forma más desarrollada en las siguientes figuras:

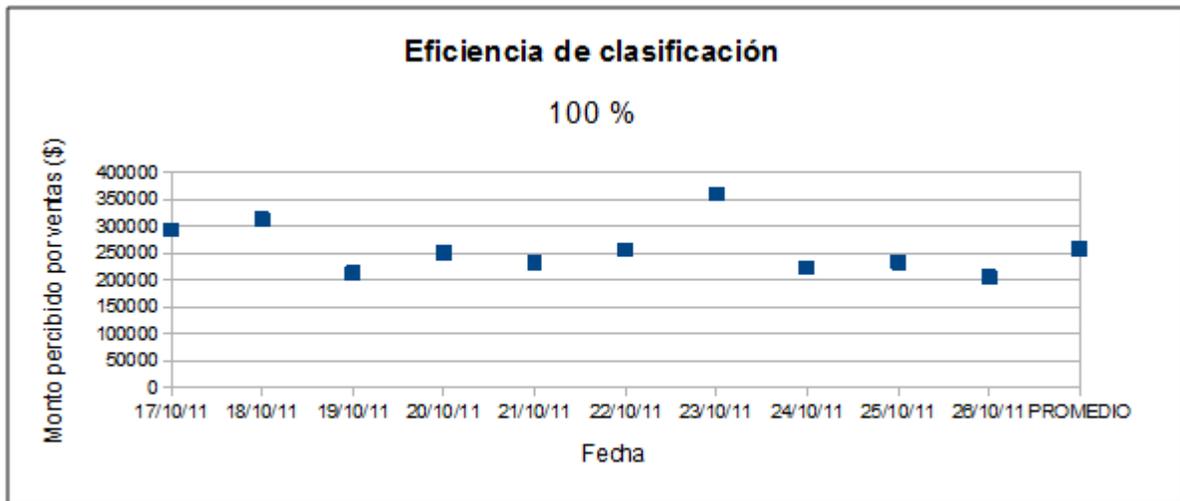


Figura 8: Monto percibido por ventas, 100 % de eficiencia de clasificación.

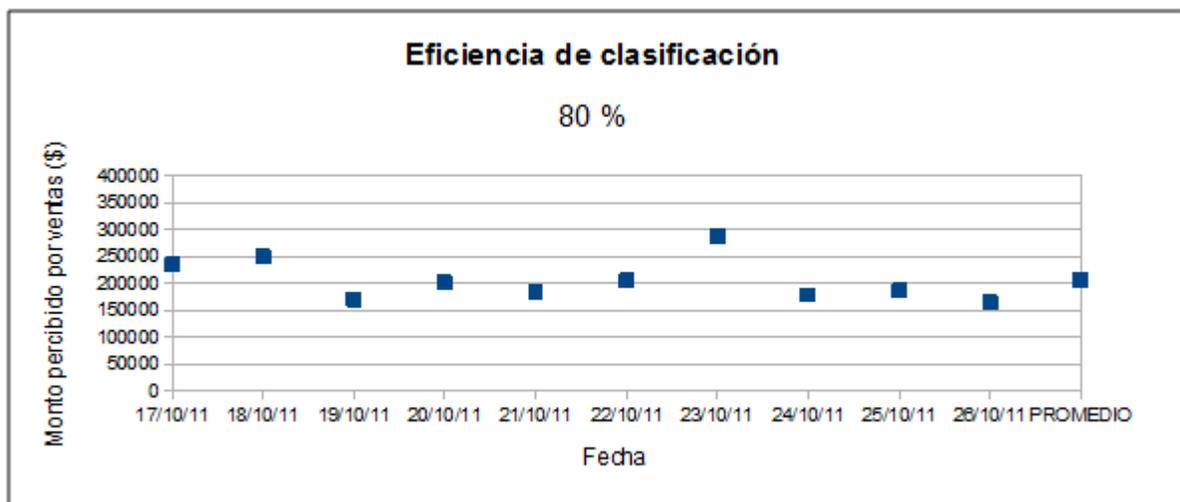


Figura 9: Monto percibido por ventas, 80 % de eficiencia de clasificación.

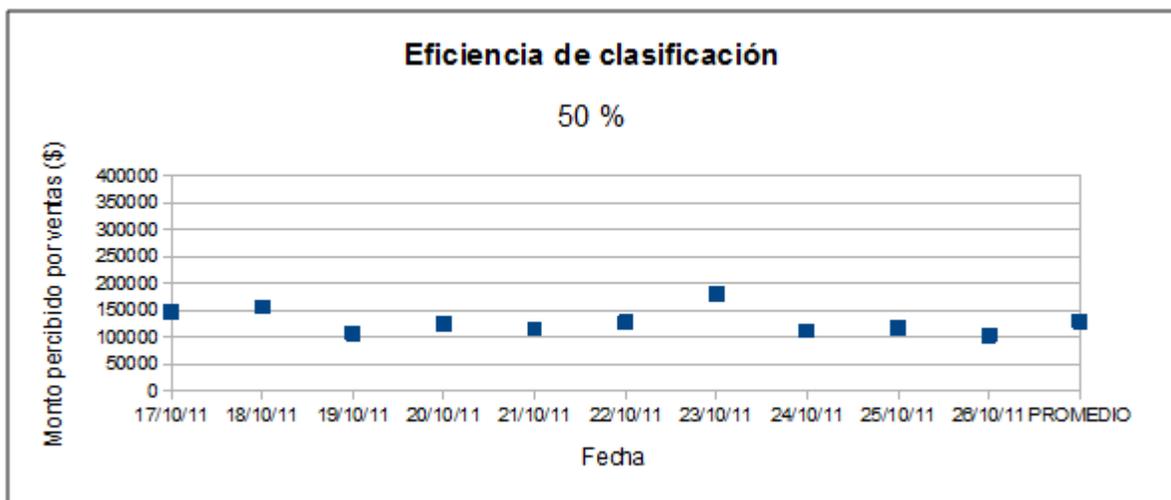


Figura 10: Monto percibido por ventas, 50 % de eficiencia de clasificación.

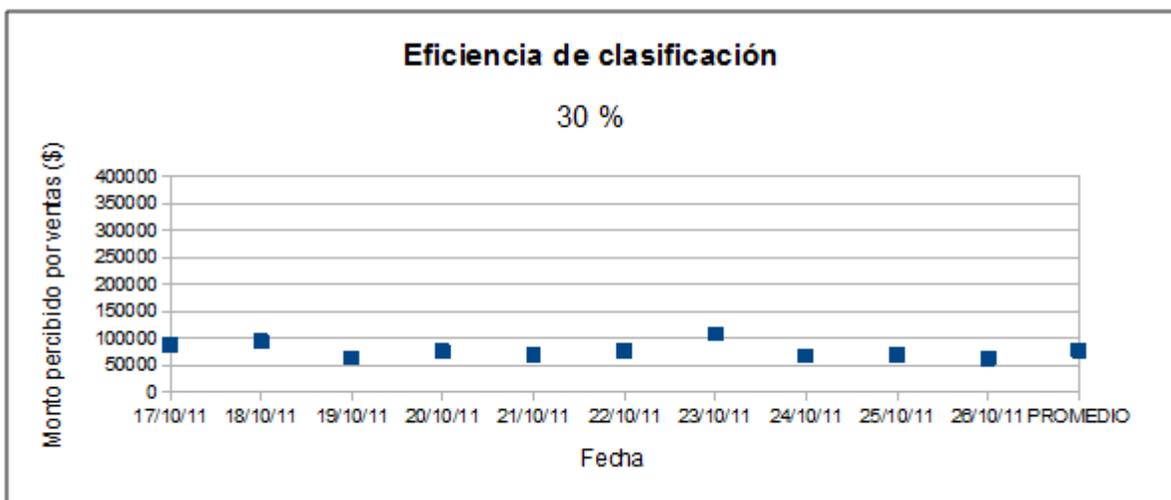


Figura 11: Monto percibido por ventas, 30 % de eficiencia de clasificación.

En los gráficos anteriores puede observarse que, a medida que la eficiencia de clasificación disminuye, también disminuye el rango de variación de los montos obtenidos pasando de aproximadamente \$ 150000 para 100 % de eficiencia de clasificación a aproximadamente \$ 50000 para 30 % de eficiencia de clasificación.

En el siguiente gráfico se observan los montos percibidos por componente para la composición promedio en peso y una eficiencia de clasificación del 80 %:

**Eficiencia de clasificación = 80 %
Composición promedio**

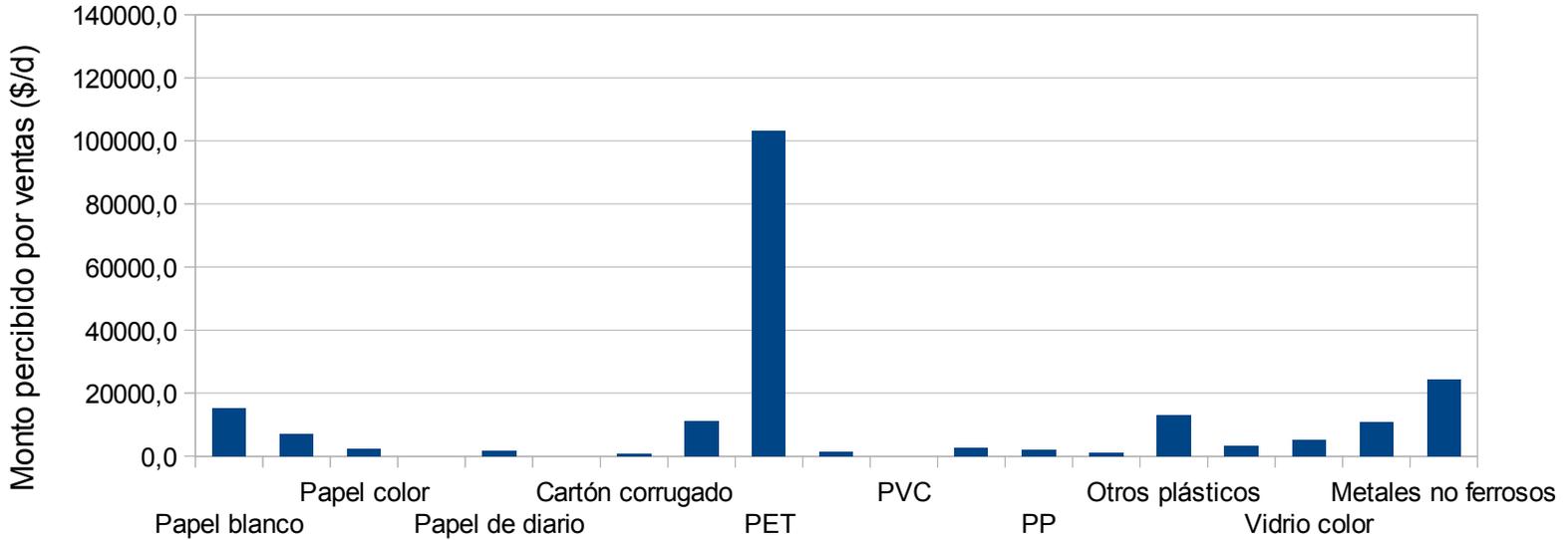


Figura 12: Monto percibido por ventas por tipo de residuo.

Del gráfico anterior se desprende claramente que los residuos de PET representan el mayor ingreso resultante de la venta de los materiales reciclables recuperados. Como consecuencia de esto, se podría pensar en separar los residuos de PET en recipientes distintos a los demás plásticos de forma de poder comercializar los residuos de PET de forma independiente.

Estimación de la ganancia obtenida por no disponer los residuos reciclables en el vertedero de Felipe Cardozo

Según datos actualizados al año 2011, la disposición de una tonelada de residuos en el vertedero Felipe Cardozo cuesta USD 15. En la siguiente tabla se muestra, para cada eficiencia de clasificación considerada y para la composición promedio en peso de los RSD reciclables, el dinero ahorrado por no disponer estos residuos

Eficiencia de clasificación	Ton/d de RSD reciclables	Ahorro (USD/d)
100 %	100	1500
80 %	80	1200
50 %	50	750
30 %	30	450

Tabla 28: Ahorro en disposición final.

Se observa que el ahorro al no disponer en el relleno de Felipe Cardozo es considerable.

4.1.2. Costos

En esta sección se compararán, para cada tipo de material recuperado y para cada eficiencia de clasificación analizada, los ingresos obtenidos al venderlo y al no disponerlo en relleno sanitario con los costos de los salarios del personal asignado para su clasificación. Cabe destacar que en este análisis se deberían considerar otros costos intervinientes en la recuperación de los materiales, que no dependen del tipo de material (gasto de energía eléctrica, agua potable, salarios de personal técnico, administrativo y de limpieza, etc.). A su vez, dependiendo de la eficiencia de clasificación, también deberían considerarse los costos asociados a la incineración de los residuos reciclables erróneamente clasificados. Por lo tanto, si la diferencia entre ingresos y costos para un material dado es pequeña, podría decirse que en realidad los costos superarán a los ingresos. A partir de este análisis podrá considerarse la viabilidad económica de clasificación de los materiales.

Material	Eficiencia de clasificación	Monto percibido (\$/d) (composición media)	Ahorro disposición (\$/d)	Personal asignado	Costo personal (\$/d)	Balance (\$/d)
Papel	100 %	33350	6447	24	18240	21557
	80 %	26680	5158	24	18240	13598
	50 %	16675	3224	24	18240	1659
	30 %	10005	1934	24	18240	-6301

Tabla 29: Balance económico Papel.

Material	Eficiencia de clasificación	Monto percibido (\$/d) (composición media)	Ahorro disposición (\$/d)	Personal asignado	Costo personal (\$/d)	Balance (\$/d)
Cartón	100 %	15273	3819	24	18240	852
	80 %	12218	3055	24	18240	-2967
	50 %	7637	1910	24	18240	-8693
	30 %	4582	1146	24	18240	-12512

Tabla 30: Balance económico Cartón.

Material	Eficiencia de clasificación	Monto percibido (\$/d) (composición media)	Ahorro disposición (\$/d)	Personal asignado	Costo personal (\$/d)	Balance (\$/d)
Vidrio	100 %	10496	6999	24	18240	-745
	80 %	8397	5599	24	18240	-4244
	50 %	5248	3500	24	18240	-9492
	30 %	3149	2100	24	18240	-12991

Tabla 31: Balance económico Vidrio.

Material	Eficiencia de clasificación	Monto percibido (\$/d) (composición media)	Ahorro disposición (\$/d)	Personal asignado	Costo personal (\$/d)	Balance (\$/d)
Plástico	100 %	154553	10920	96	72960	92513
	80 %	123642	8736	96	72960	59418
	50 %	77277	5460	96	72960	9777
	30 %	46366	3276	96	72960	-23318

Tabla 32: Balance económico Plástico.

Material	Eficiencia de clasificación	Monto percibido (\$/d) (composición media)	Ahorro disposición (\$/d)	Personal asignado	Costo personal (\$/d)	Balance (\$/d)
Metales	100 %	43828	1476	36	27360	17944
	80 %	35062	1181	36	27360	8883
	50 %	21914	738	36	27360	-4708
	30 %	13148	443	36	27360	-13769

Tabla 33: Balance económico Metales.

De los cuadros anteriores pueden extraerse algunas conclusiones. Por un lado, se observa una fuerte relación entre la eficiencia de clasificación experimentada por la población generadora y la ganancia neta obtenida al vender los materiales recuperados. Por otro lado, se puede ver que la clasificación de algunos materiales resulta inviable desde el punto de vista económico (los casos más claros son los de los residuos de cartón y de vidrio). De todas maneras existen otras razones que podrían justificar de buena manera estas pérdidas económicas como ser el ahorro de materia prima virgen en la fabricación de productos o el ahorro de espacio en el sitio de disposición final.

Referencias bibliográficas y fuentes consultadas

- Anaerobic digestion of biodegradable organics in municipal solid wastes, Department of Earth & Environmental Engineering (Henry Krumb School of Mines), Fu Foundation School of Engineering & Applied Science Columbia University, 2002.
- CEMPRE (Compromiso empresarial para el reciclaje), 1998.
- CEMPRE, <http://www.cempre.org.uy/>
- Current anaerobic digestion technologies used for treatment of municipal organic solid waste, Joshua Rapport, Ruihong Zhang, Bryan M. Jenkins, Robert B. Williams, 2008.
- Diseño, Construcción, Operación y Cierre de Rellenos Sanitarios Municipales, Eva Röben, 2002.
- Estadística Aplicada, Lothar Sachs, 1984.
- Estudio caracterización de residuos sólidos domiciliarios en la región metropolitana, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería, Grupo de residuos sólidos, 2006.
- Estudio de Pre Factibilidad Técnica y Económica para la Instalación de Capacidad de Generación de Energía a partir de Residuos (WTE) en Uruguay, Themelis Associates, 2012.
- Gestión Integral de Residuos Sólidos, G. Tchobanoglous, H. Theisen, S. Vigil, 1994.
- Manual Mc. Graw-Hill de Reciclaje, Herbert R. Lund, 1996.
- Norma ASTM D5231-92 (2008).
- Norma NMX-AA-061-1985.
- Norma ASTM D6311-98 (2009).
- PDRS (Plan director de residuos sólidos de Montevideo y Área Metropolitana), 2005.
- Plan Director de Limpieza, Intendencia de Montevideo, 2011.
- Planta de incineración de residuos sólidos urbanos con tecnología de parrilla y recuperación energética, Alejandro Fernández Martínez, 2007.
- Proyecto PNUD/91/008 (Uselo y tírelo... para que otros lo reciclen), 1996.
- SIG (IM), <http://sig.montevideo.gub.uy/> .
- Tecnologías de tratamiento y disposición final de residuos sólidos domiciliarios, Comisión nacional del medio ambiente, Gobierno de Chile, 2001.
- Tratamiento Estadístico de datos ambientales, Prof. Víctor Martínez, 1995.
- Waste Incineration, European Commission, 2006.

Universidad de la República
Facultad de Ingeniería
Instituto de Mecánica de los Fluídos e Ingeniería Ambiental

ESTUDIO DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (RSD) EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY



Informe Final
Proyecto Hidráulica-Ambiental
Julio 2012

PIEZAS

GRÁFICAS

Tutores:

Dra. Elizabeth Gonzalez
Ing. Julieta López
Ing. Nicolás Rezzano

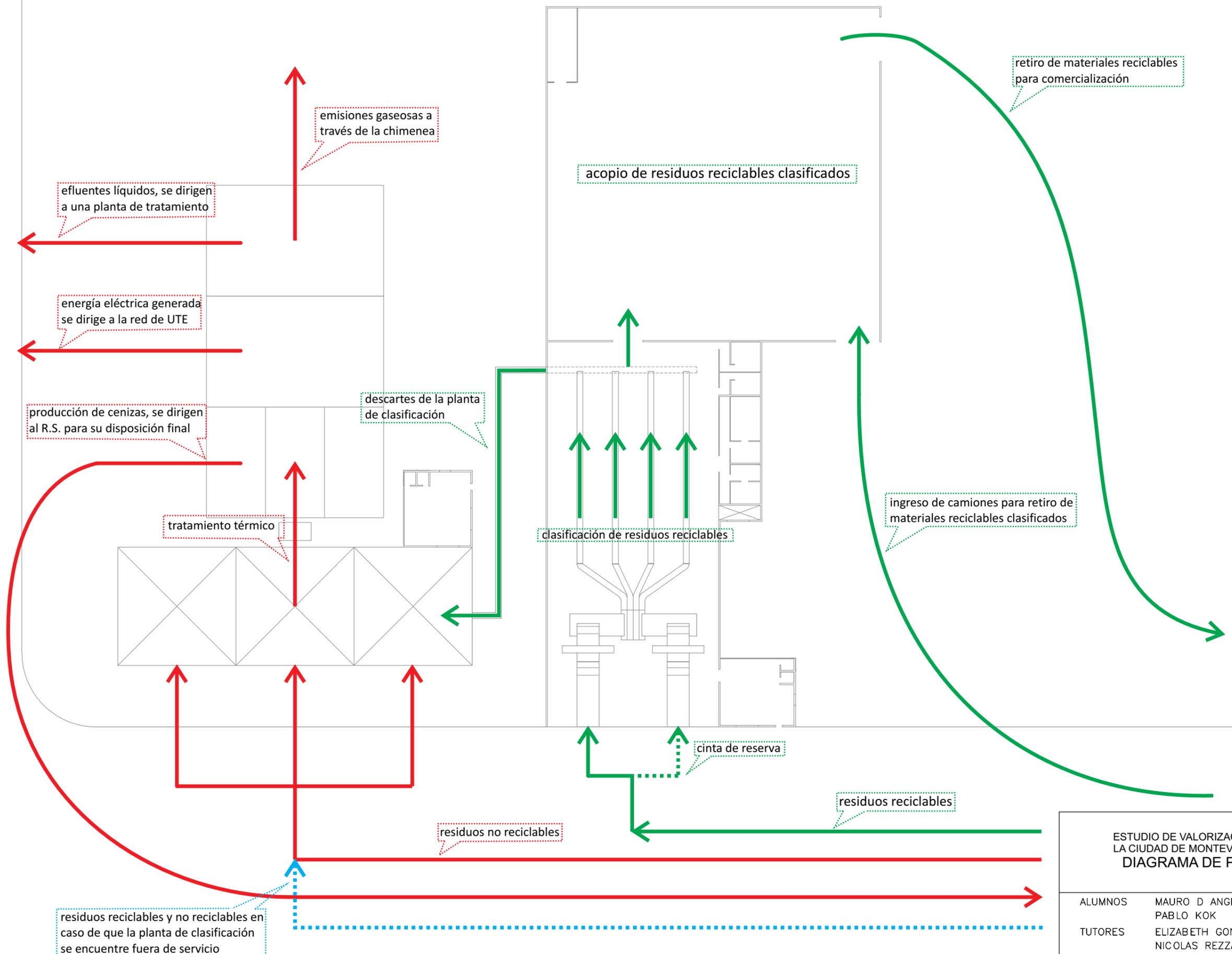
Mauro D'Angelo
Pablo Kok

Índice de Piezas Gráficas

1. DP – Diagrama de procesos
2. P 1 – Planta general
3. P 2 – Cintas de clasificación
4. P 3 – Diagrama de procesos – Planta de incineración
5. C 1 – Detalle de celda tipo
6. S 1 – Diagrama sanitaria y pluviales

PLANTA DE INCINERACIÓN

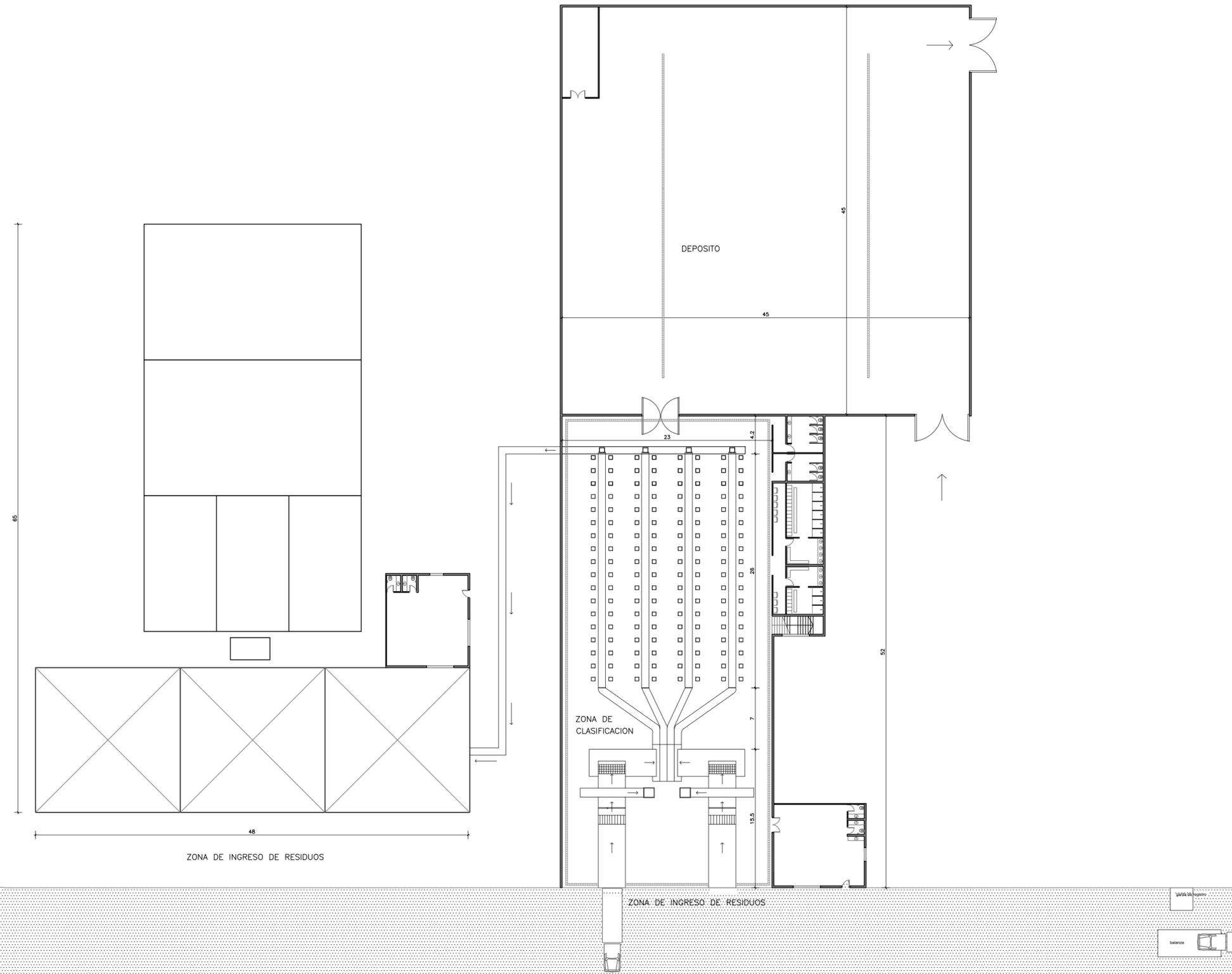
PLANTA DE CLASIFICACIÓN



ESTUDIO DE VALORIZACION DE RSD EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY		DP
DIAGRAMA DE PROCESOS		
ALUMNOS	MAURO D ANGELO PABLO KOK	ESCALA
TUTORES	ELIZABETH GONZALEZ NICOLAS REZZANO JULIETA LOPEZ	1:500
FECHA JULIO 2012		

PLANTA DE INCINERACION

PLANTA DE CLASIFICACION



NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS

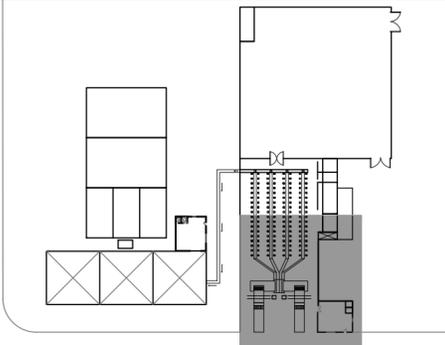
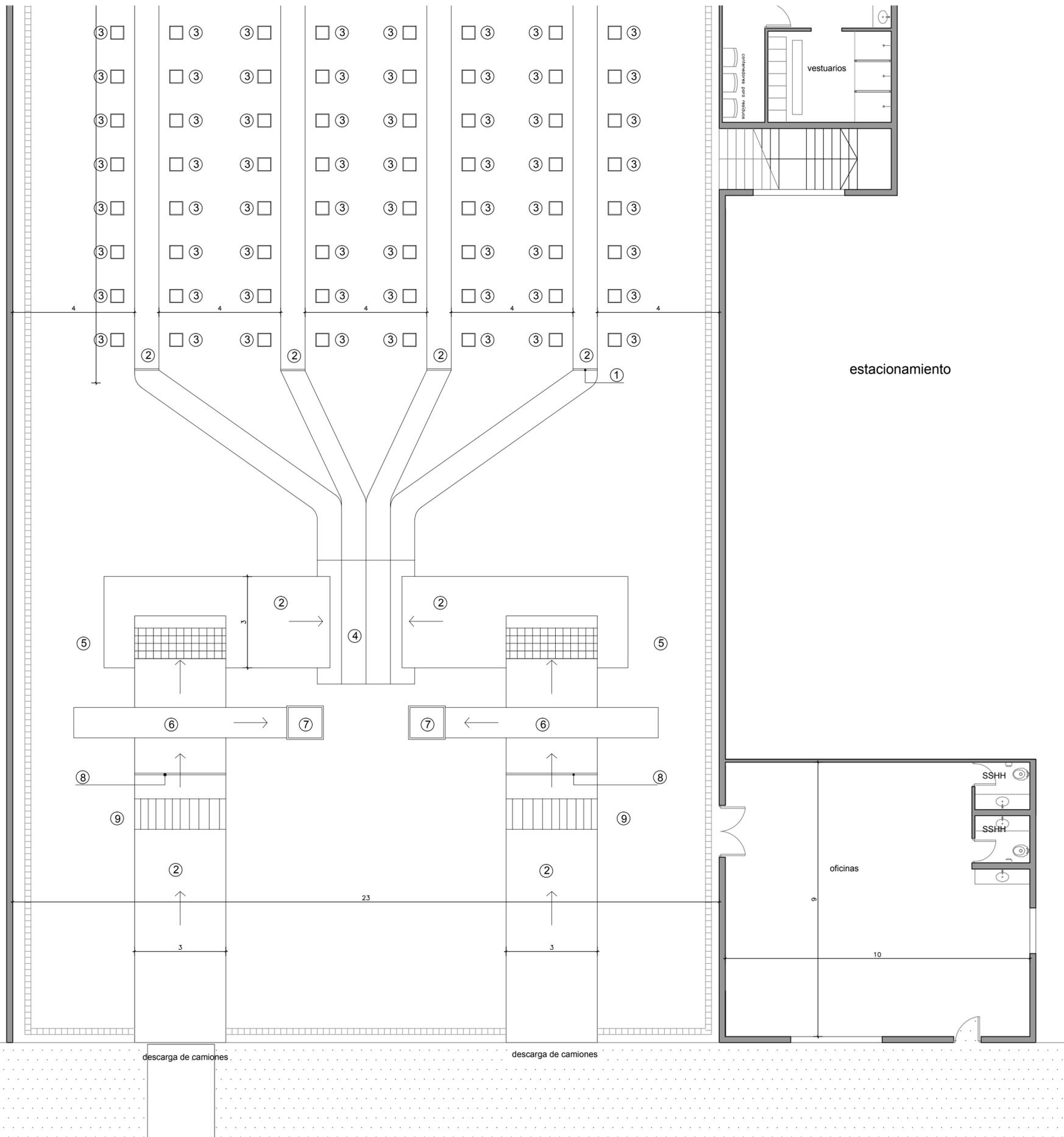
ESTUDIO DE VALORIZACION DE RSD EN
LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY
PLANTA GENERAL

P 1

ALUMNOS MAURO D ANGELO
PABLO KOK
TUTORES ELIZABETH GONZALEZ
NICOLÁS REZZANO
JULIETA LÓPEZ

FECHA JULIO 2012

ESCALA
1:350



REFERENCIAS

1	compuertas de cierre y regulación de altura
2	cintas de clasificación
3	puesto de trabajo
4	distribuidor de flujo
5	rejilla vibratoria para separación de finos
6	imán
7	acopio de metales ferrosos
8	compuerta de cierre y regulación de altura
9	cuchillas para rotura de bolsas

NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS

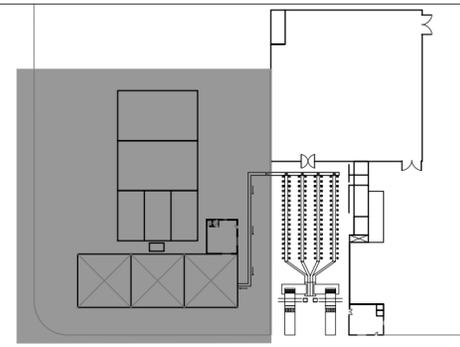
ESTUDIO DE VALORIZACION DE RSD EN
LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY
CINTAS DE CLASIFICACIÓN

P 2

ALUMNOS MAURO D ANGELO
PABLO KOK
TUTORES ELIZABETH GONZALEZ
NICOLÁS REZZANO
JULIETA LÓPEZ

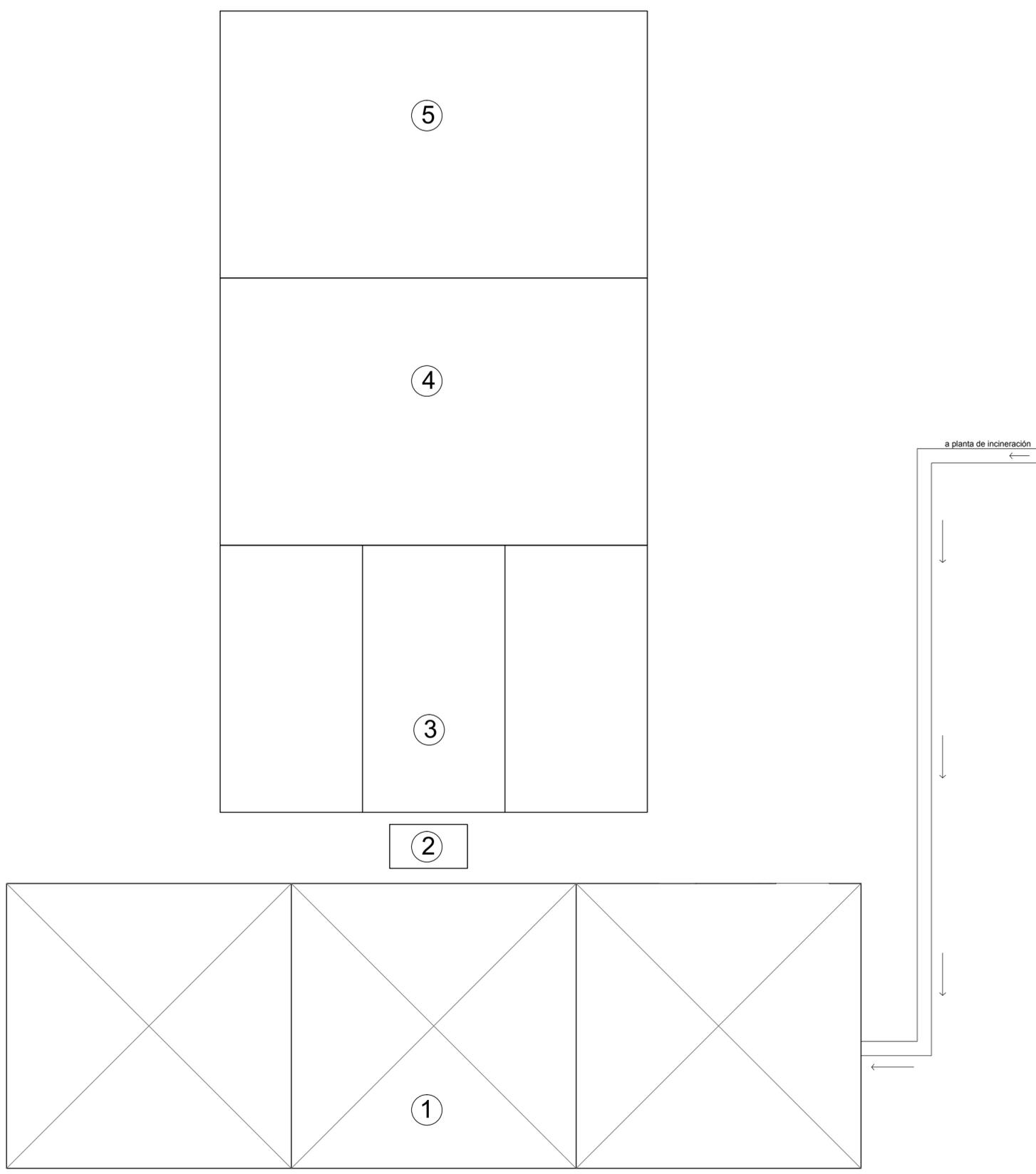
ESCALA
1:100

FECHA JULIO 2012



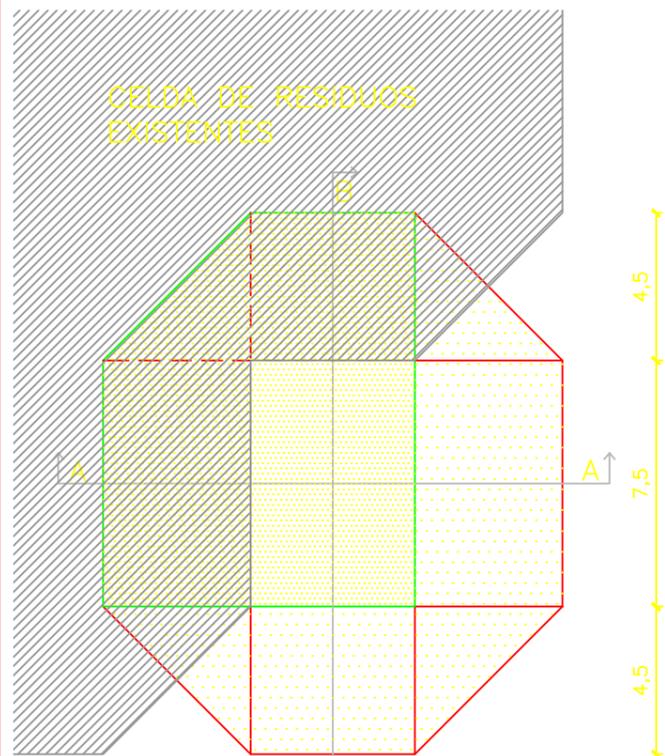
REFERENCIAS

1	fosos para residuos
2	grapo para alimentar los hornos
3	calderas
4	recuperación energética
5	chimenea y tratamiento de gases

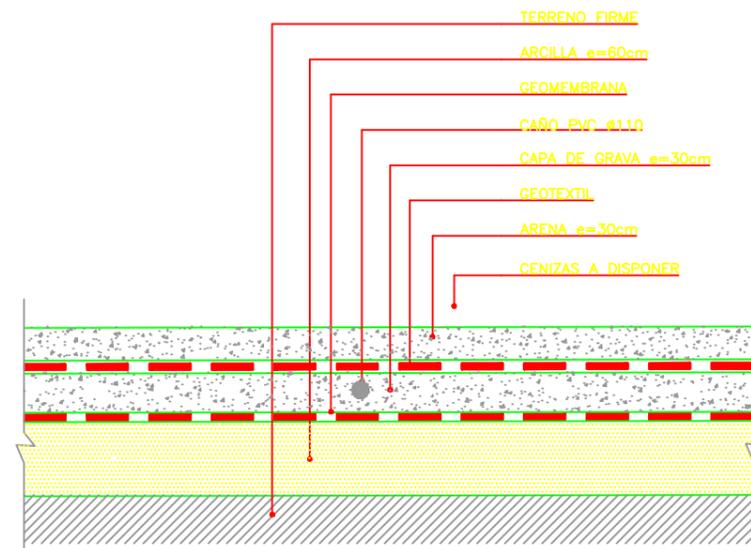


NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS

ESTUDIO DE VALORIZACION DE RSD EN LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY		P 3
DIAGRAMA DE PROCESOS / PLANTA DE INCINERACIÓN		
ALUMNOS	MAURO D ANGELO PABLO KOK	ESCALA
TUTORES	ELIZABETH GONZALEZ NICOLÁS REZZANO JULIETA LÓPEZ	1:200
	FECHA JULIO 2012	

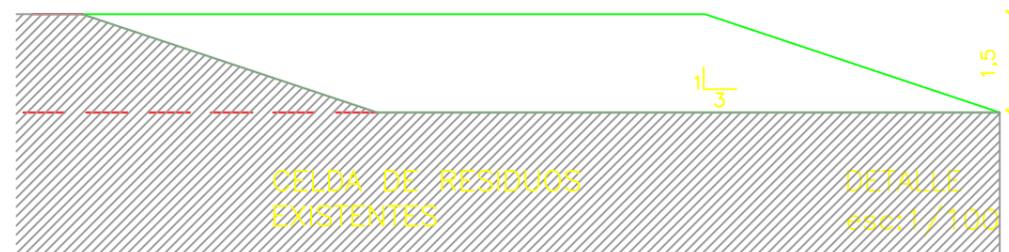


PLANTA CELDA TIPO
esc:1/200



SISTEMA DE IMPERMEABILIZACION DE FONDO
esc:1/50

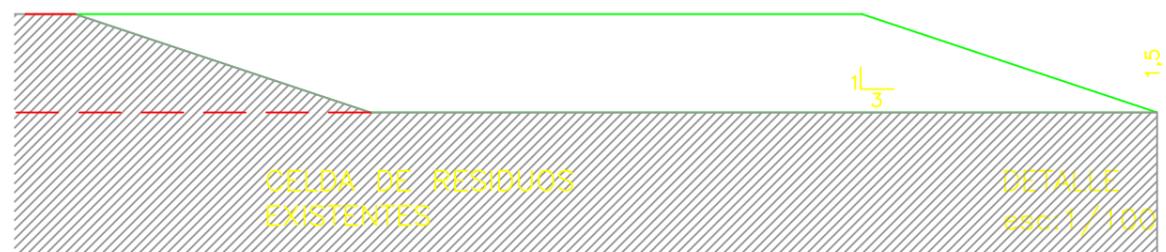
A-A



CELDA DE RESIDUOS EXISTENTES

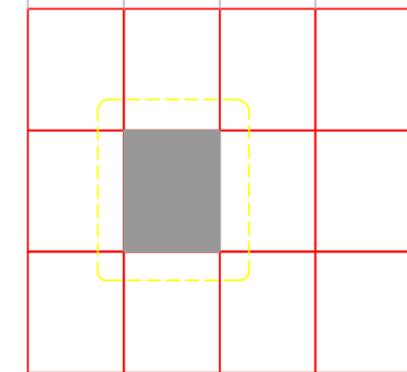
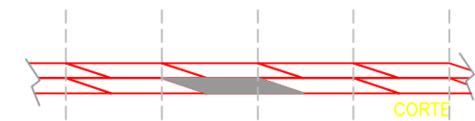
DETALLE
esc:1/100

B-B



CELDA DE RESIDUOS EXISTENTES

DETALLE
esc:1/100



PLANTA

**UBICACION DE CELDA TIPO EN
RELLENO SANITARIO DE CENIZAS
DE INCINERACION**

NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS

**ESTUDIO DE VALORIZACION DE RSD EN
LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY
DETALLE DE CELDA TIPO**

C 1

ALUMNOS MAURO D ANGELO
PABLO KOK
TUTORES ELIZABETH GONZALEZ
NICOLÁS REZZANO
JULIETA LÓPEZ
FECHA JULIO 2012

ESCALA
1:100
1:200

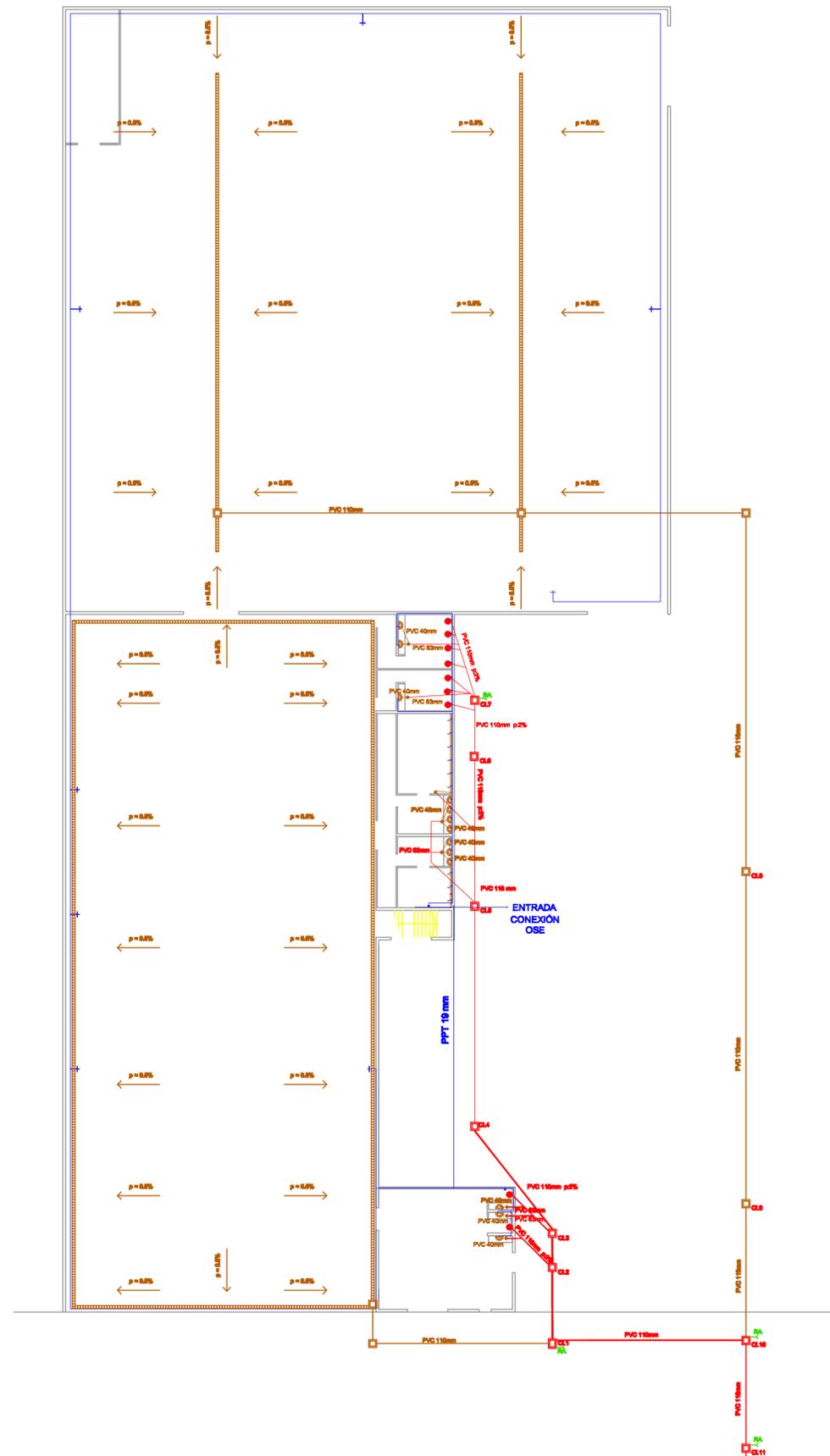


DIAGRAMA DE SANITARIA

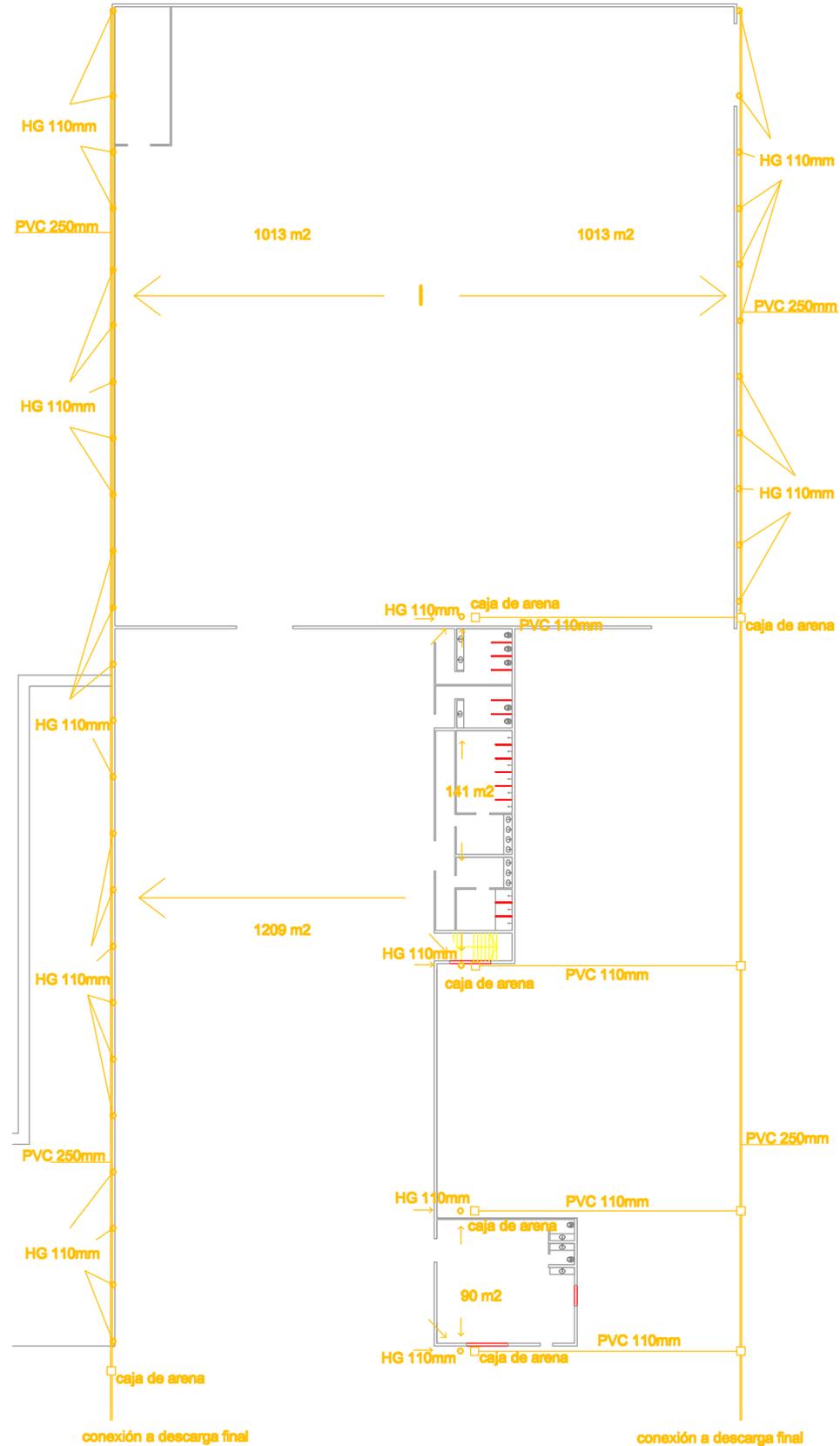


DIAGRAMA DE PLUVIALES

REFERENCIAS

- INODORO PEDESTAL
- CAMARA DE INSPECCION 60X60
- REJILLA DE ASPIRACION
- LAVATORIO
- ◇ CAJA SIFONADA
- + GRIFO
- REGUERA
- TUBERIA DE BAJADA DE PLUVIALES

NOTA: TODAS LAS DIMENSIONES ESTAN EN METROS

ESTUDIO DE VALORIZACION DE RSD EN
LA CIUDAD DE MONTEVIDEO, URUGUAY
DIAGRAMA SANITARIA Y PLUVIALES

S 1

ALUMNOS	MAURO D ANGELO PABLO KOK	ESCALA	1:300
TUTORES	ELIZABETH GONZALEZ NICOLÁS REZZANO JULIETA LÓPEZ	FECHA	JULIO 2012