

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Santa Fe



Año 2016

Cátedra de Proyecto Integrador

Docentes

Ing. Juan Pablo Acuña

Ing. Oscar Eduardo Maggi

Ing. Hugo Ramb

Proyecto Final de Carrera

Complejo Ambiental del *Consortio para la GIRSU del Área Metropolitana Corredor Ruta N° 1.-*

-Tomo 2-

Alumnos:

DIEHL, Ayelén

MENDOZA, Gonzalo

Director del Proyecto:

Ing. José Francisco Frutos

Codirectora del Proyecto:

Ing. Alejandra Prono

Carrera:

Ingeniería Civil

Índice General

1. Resumen Ejecutivo 	10
1.1. Componentes del Complejo Ambiental	12
1.2. Evaluación Financiera	15
1.3. Análisis Costo-Efectividad (ACE)	15
2. Introducción 	16
2.1. Marco Conceptual	17
2.2. Descripción de la Situación Actual	38
2.3. Reseña de las localidades de Arroyo Leyes y Santa Rosa de Calchines	83
2.4. Diagnóstico	87
3. Enfoque de Marco Lógico 	90
3.1. Problemática General	90
3.2. Predefinición de la Situación Problema	93
3.3. Análisis de la Participación	95
3.4. Análisis de los Problemas - “Árbol de Problemas”	100
3.5. Análisis de los Objetivos - “Árbol de Objetivos”	102
3.6. Naturaleza de las Intervenciones	104
3.7. Alcances del Proyecto	105
3.8. Aportes que se espera realizar con este Proyecto - Finalidad	111
4. Marco Legal del Proyecto 	114
5. Fundamentación del Proyecto 	115
6. Propuesta y Análisis de Alternativas 	117
6.1. Abordaje no Estructural	117
6.2. Abordaje Estructural	123
7. Comparación y Selección de Alternativas 	134
7.1. Conformación de alternativas	134
7.2. Comparación de alternativas	137
7.3. Selección de la alternativa	139
7.4. Alternativa seleccionada	139
8. Diseño de la Alternativa Seleccionada 	141
8.1. Diseño de las naves metálicas	141
8.2. Tratamiento de los RSU	145
8.3. Disposición final	164
8.4. Tratamiento de los líquidos lixiviados 	192
8.5. Procedimiento dentro del Complejo Ambiental	209
8.6. Balance de masa y energía	213
8.7. Plan de Viviendas	217

9. Evaluación Socio-Ambiental del proyecto 	219
9.1. Beneficios que implica la ejecución del Proyecto	219
9.2. Impactos ambientales.....	220
9.3. Análisis de los impactos identificados.....	223
9.4. Medidas de prevención, mitigación y remediación	223
10. Cómputo y Presupuesto 	227
10.1. Beneficios.....	233
10.2. Costos.....	239
11. Evaluación Financiera 	244
11.1. Beneficios extra	251
11.2. Análisis Costo-Efectividad (ACE).....	253
12. Conclusiones 	258
13. Bibliografía y Fuentes Consultadas 	260
13.1. Entrevistas personales	262
13.2. Páginas web.....	263

Índice de Figuras

Figura 2.1 Efecto de la temperatura en la digestión anaerobia.-.....	23
Figura 2.2 Datos de composición de líquido lixiviado. Fuente: Desechos Sólidos. Principios de Ingeniería y Administración.-.....	28
Figura 2.3 Composición de los RSU.-.....	30
Figura 2.4 Ciudad de San José del Rincón, integrante del Gran Santa Fe. Fuente: Google Maps.-..	38
Figura 2.5 Corredor de la Costa, atravesado por la RPN1. Fuente: Google Maps.-.....	39
Figura 2.6 Ciudad de San José del Rincón: Límites jurisdiccionales. Fuente: Google Maps.-.....	39
Figura 2.7 Ingreso a Ruta Provincial N°1 – La Guardia, ciudad de Santa Fe. Fuente: Internet.-.....	40
Figura 2.8 Parte del valle de inundación del Río Paraná. Fuente: Google Maps.-.....	41
Figura 2.9 Calle Zapata Gollán, 400 metros al Oeste de la RPN°1 -entre Argentina Molinari y Rodolfo Farías Paez, zona inundable-. Época de bajos niveles de la Laguna Setúbal (13/11/2015).-.....	42
Figura 2.10 Calle Zapata Gollán, 400 metros al Oeste de la RPN°1 -entre Argentina Molinari y Rodolfo Farías Paez, zona inundable-. Época de creciente con defensa parcial temporal (30/12/2015). Fuente: http://www.airedesantafe.com.ar/ -.....	42
Figura 2.11 Playa de San José del Rincón habilitada en época estival, sobre el Arroyo Ubajay. Fuente: https://www.santafe.gob.ar. -.....	43
Figura 2.12 Playa de San José del Rincón inundada, sobre el Arroyo Ubajay. Febrero de 2016.-....	43
Figura 2.13 Defensa Este reconstruida. Sobre sus taludes se ha desarrollado una buena cubierta vegetal, fundamental para su protección contra el oleaje y los factores climáticos.-.....	44
Figura 2.14 Canal de recolección de las aguas de infiltración de la defensa de tierra, recientemente acondicionado y desmalezado.-.....	44
Figura 2.15 A la derecha de la imagen, construcción de una vivienda irregular sobre el talud del terraplén, frente a una estación de bombeo.-.....	45
Figura 2.16 Concentración de la población rinconense en la zona central de la ciudad. Fuente: Google Maps.-.....	46
Figura 2.17 Condición de la Población Económicamente Activa.-.....	50
Figura 2.18 Ocupación de los trabajadores de la ciudad de San José del Rincón.-.....	50
Figura 2.19 Asentamiento irregular en las cercanías de un vertedero clandestino.-.....	51
Figura 2.20 Asentamiento de familias sobre el talud Este de la defensa Juan Domingo Perón, en las cercanías de un vertedero clandestino.-.....	51
Figura 2.21 Vivienda y corral para animales construidos sobre el talud mojado del Terraplén Juan Domingo Perón.-.....	52
Figura 2.22 Ubicación de establecimientos educativos en la ciudad. Zona centro.-.....	53
Figura 2.23 S.A.M.Co. San José del Rincón. Fuente: http://www.ellitoral.com. -.....	54
Figura 2.24 Calle Gamboa: Al fondo, intersección con la Ruta Provincial N° 1. Fuente: Internet.-.....	55
Figura 2.25 Calle Gamboa: Intersección con la Ruta Provincial N° 1. Fuente: Google Street View.-..	55
Figura 2.26 Calle San Martín: Intersección con la Ruta Provincial N° 1, en obra de adecuación. Ingreso al centro de la ciudad hacia la derecha. Fuente: Google Street View.-.....	55
Figura 2.27 Calles en mal estado luego de un evento lluvioso. Fuente: http://www.comunaderincon.gob.ar. -.....	56
Figura 2.28 Calles en mal estado luego de un evento lluvioso. Fuente: Google Street View.-.....	56

Figura 2.29 Tramada a 45°, la zona abastecida de agua de red por la Cooperativa Provisión de Agua Potable.-	58
Figura 2.30 Puntos de extracción. Se ubican dentro de un cuadrado de 5 cuadras de lado, en la zona centro.-	58
Figura 2.31 Cestos de residuos en altura. Se comercializaban en dos tamaños estandarizados. Fuente: Facebook San José del Rincón.-	67
Figura 2.32 A la izquierda: residuos en la vía pública al nivel de vereda; a la derecha: Bolsa de residuos colocada sobre un cesto improvisado, unido a un árbol -.....	68
Figura 2.33 Basural a Cielo Abierto, sito en Callejón Pintos en su extremo Oeste. Zona inundable. Fuente: Google Maps.-	70
Figura 2.34 Camión volcador ingresando al predio del Basural a Cielo Abierto. Fuente: Captura de pantalla del documental “Cielo Abierto”, de la Asociación Civil Tramatierra.-	70
Figura 2.35 Imagen satelital del Basural a Cielo Abierto. Fuente: Google Maps.-.....	71
Figura 2.36 Camión volcador vertiendo los RSU al predio del Basural a Cielo Abierto. Fuente: Captura de pantalla del documental “Cielo Abierto”, de la Asociación Civil Tramatierra.-	71
Figura 2.37 Recuperadores informales seleccionando materiales. Fuente: Captura de pantalla del documental “Cielo Abierto”, de la Asociación Civil Tramatierra.-	72
Figura 2.38 Zonas de acopio de materiales recuperados. Fuente: Captura de pantalla del documental “Cielo Abierto”, de la Asociación Civil Tramatierra.-	73
Figura 2.39 Acopio dentro de bolsa de gran tamaño. Fuente: Captura de pantalla del documental “Cielo Abierto”, de la Asociación Civil Tramatierra.-	73
Figura 2.40 Vertedero clandestino incipiente.-	75
Figura 2.41 Vertedero clandestino incipiente con restos de quema. Práctica recurrente en este sitio.-	76
Figura 2.42 Personal de la Municipalidad de San José del Rincón recolectando restos vegetales. Fuente: http://www.comunaderincon.gob.ar .-	77
Figura 2.43 Personal de la Municipalidad de San José del Rincón recolectando restos vegetales. Uso de maquinaria pesada. Fuente: http://www.comunaderincon.gob.ar .-.....	77
Figura 2.44 Vehículo de la Municipalidad de San José del Rincón volcando residuos de poda sobre el talud Oeste (mojado) de la defensa.-	78
Figura 2.45 Gran cantidad de residuos vegetales sobre el talud Oeste de la defensa.-	78
Figura 2.46 Depósito de residuos vegetales junto con otros residuos domiciliarios.-	79
Figura 2.47 Depósito de residuos vegetales junto con otros residuos domiciliarios.-	79
Figura 2.48 Quema de residuos sobre el talud Oeste.-	80
Figura 2.49 Quema de residuos sobre el talud Oeste. En la fotografía se puede observar la presencia del tendido eléctrico, que podría ser afectado por las llamas.-	80
Figura 2.50 Depósito de metales y electrodomésticos sobre el talud Este (seco) del terraplén.-.....	81
Figura 2.51 Carrocería prácticamente completa de un automóvil sobre el coronamiento del terraplén.-	81
Figura 2.52 Estación de transferencia en terreno privado. Maquinarias de la empresa Ecopen trabajan en el lugar.-	83
Figura 3.1 Río completamente contaminado con residuos en Indonesia.-	91
Figura 3.2 Esquema básico de Producción-Consumo.-.....	92
Figura 3.3 Árbol de Problemas.-.....	101

Figura 3.4 Árbol de Objetivos.-	103
Figura 6.1 Terreno en Barrio San José.-.....	127
Figura 6.2 Terreno en Barrio Acería.-	128
Figura 6.3 Terreno en Barrio Villa Añatí.-.....	129
Figura 6.4 Terreno en Barrio Villa Añatí.-.....	129
Figura 6.5 Terrenos con posibilidad de expropiación.-	130
Figura 6.6 En azul: terreno a expropiar para la construcción del Relleno Sanitario.-.....	131
Figura 6.7 En amarillo: terreno a expropiar para la construcción de las demás dependencias del Complejo Ambiental.-.....	131
Figura 6.8 Terreno del Complejo Ambiental.-.....	132
Figura 6.9 Camino de acceso al Complejo Ambiental.-.....	132
Figura 6.10 En anaranjado: Terreno para la construcción del Plan de Viviendas.-	133
Figura 8.1 Dimensiones de la nave que alberga la Planta Clasificadora.-	142
Figura 8.2 Dimensiones de la nave que alberga el Taller.-.....	142
Figura 8.3 Chapa trapezoidal T-98 – Fuente: Curia S.A.C.I.-	143
Figura 8.4 Tolva de recepción.-	150
Figura 8.5 Tornillo sin fin.-	151
Figura 8.6 Cinta elevadora.-	151
Figura 8.7 Compactador de materiales recuperables.-.....	152
Figura 8.8 Sección micro-turbina marca Capstone.-	160
Figura 8.9 Partes componentes de una E.R.M.-	161
Figura 8.10 Generador de energía eléctrica a biogás.-	163
Figura 8.11 Terreno para relleno sanitario.-	164
Figura 8.12 Ábaco para la determinación de la superficie necesaria de un relleno sanitario.-	165
Figura 8.14 Paquete estructural del relleno sanitario.-	170
Figura 8.15 Perfil básico del módulo de enterramiento.-	170
Figura 8.17 Ubicación de la capa líquida.-.....	176
Figura 8.18 Corte transversal del módulo de enterramiento.-.....	177
Figura 8.19 Ábaco 1.-.....	177
Figura 8.20 Ábaco 2.-.....	178
Figura 8.21 Ábaco 3.-.....	178
Figura 8.22 Distribución de las perforaciones en el caño de PVC.-.....	179
Figura 8.23 Detalle del dren longitudinal.-.....	180
Figura 8.24 Terraplenes del Módulo M1.-	182
Figura 8.25 Detalle de componentes de la cubierta final.-.....	187
Figura 8.26 Cercos móviles para elementos volantes.-.....	188
Figura 8.27 Rampa con reja para lavado. Planta.-	189
Figura 8.28 Rampa con reja para lavado. Corte A-B.-.....	189
Figura 8.29 Rampa con reja para lavado. Corte C-D.-	189
Figura 8.30 Dispositivo de entrada al decantador.-	196

Figura 8.31 Regulación de horizontalidad de la pared del vertedero. A la izquierda, el tornillo pivotante; a la derecha, el tornillo con agujero largo.-	196
Figura 8.32 Estructura de salida de sedimentación y entrada a depuración.-	197
Figura 8.33 Esquema de un biodisco.-	202
Figura 8.34 Separación entre el contorno del disco y las paredes del tanque.-	204

Índice de Tablas

Tabla 1.1 Indicadores económicos.-	15
Tabla 1.2 Indicadores de Costo-Efectividad del proyecto.-	15
Tabla 2.1 Sub-clasificación de materiales recuperables.-	35
Tabla 2.2 Censos poblacionales San José del Rincón. Fuente: INDEC.-	47
Tabla 2.3 Instituciones educativas en la ciudad y su nivel de enseñanza.-	53
Tabla 2.4 Composición típica de los RSU en Argentina. Fuente: Observatorio GIRSU.-	62
Tabla 2.5 Composición de los RSU en San José del Rincón según materiales.-.....	62
Tabla 2.6 Precio promedio de los materiales recuperables en Argentina - Noviembre 2015.-....	63
Tabla 2.7 Valoración diaria de Residuos Sólidos Recuperables en San José del Rincón.-	64
Tabla 2.8 Valoración mensual de Residuos Sólidos Recuperables en San José del Rincón.- ..	64
Tabla 2.9 Valoración anual de Residuos Sólidos Recuperables en San José del Rincón.-	64
Tabla 2.10 Generación per Cápita y Total para cada provincia del país y para CABA. Fuente: Observatorio Nacional GIRSU.-	66
Tabla 2.11 Censos poblacionales San José del Rincón. Fuente: INDEC.-.....	83
Tabla 2.12 Estimación de la población en Arroyo Leyes y Santa Rosa de Calchines.-.....	84
Tabla 2.13 Generación diaria de residuos en Arroyo Leyes y Santa Rosa de Calchines.-	84
Tabla 2.14 Composición de los RSU en Arroyo Leyes según materiales.-.....	84
Tabla 2.15 Composición de los RSU en Santa Rosa de Calchines según materiales.-	84
Tabla 2.16 Valoración diaria de Residuos Sólidos Recuperables en Arroyo Leyes.-	85
Tabla 2.17 Valoración diaria de Residuos Sólidos Recuperables en Santa Rosa de Calchines.-	85
Tabla 2.18 Valoración mensual de Residuos Sólidos Recuperables en Arroyo Leyes.-	85
Tabla 2.19 Valoración mensual de Residuos Sólidos Recuperables en Santa Rosa de Calchines.-.....	85
Tabla 2.20 Valoración anual de Residuos Sólidos Recuperables en Arroyo Leyes.-	86
Tabla 2.21 Valoración anual de Residuos Sólidos Recuperables en Santa Rosa de Calchines.-	86
Tabla 2.22 Resumen generación diaria de Residuos Sólidos Urbanos en el Corredor de la Costa en 2016.-	86
Tabla 3.1 Análisis de la Participación.-	99
Tabla 6.1 Generación diaria para el año 2016.-	125
Tabla 6.2 Generación diaria para el año 2026.-	125
Tabla 6.3 Generación diaria para el año 2036.-	125
Tabla 7.1 Alternativas propuestas.-	136
Tabla 7.2 Valoración y comparación de las alternativas propuestas.-	138
Tabla 8.1 Secciones Finales.-.....	144
Tabla 8.2 Sub-clasificación de materiales recuperables de la Planta Clasificadora de la ciudad de Santa Fe.-	148

Tabla 8.3 Tiempos de digestión recomendados.-.....	155
Tabla 8.4 Diferentes aportes de abono.-.....	158
Tabla 8.5 Densidades según la condición del residuo.-	167
Tabla 8.6 Referencias de la Figura 8.13.-.....	168
Tabla 8.7 Presión ejercida por cada estrato.-	169
Tabla 8.8 Presión total del paquete estructural.-	170
Tabla 8.9 Área de cada módulo de enterramiento.-	172
Tabla 8.10 Tiempos de vida útil del relleno sanitario.-	172
Tabla 8.11 Variables para dimensionamiento de la red de drenaje de lixiviados.-	176
Tabla 8.12 Tiempo de llenado del módulo M1.-.....	182
Tabla 8.13 Caudal de aporte de cada módulo.-.....	194
Tabla 8.14 Composición de los residuos recuperables.-.....	215
Tabla 10.1 Cómputo y presupuesto de la obra.-.....	232
Tabla 10.2 Costo de transporte expresado por tonelada de residuos para las 3 localidades del Consortio.-	234
Tabla 10.3 Costo de transporte al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consortio.-	234
Tabla 10.4 Costo de ingreso al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consortio.-	235
Tabla 10.5 Costo total de traslado al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consortio.-	236
Tabla 10.6 Costo total de traslado al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consortio expresado anualmente.-	237
Tabla 10.7 Ingresos obtenidos de la venta de energía.-	238
Tabla 10.8 Costos de ejecución del módulo 1.-.....	239
Tabla 10.9 Costos de ejecución de los sucesivos módulos.-	240
Tabla 10.10 Costos de recolección.-.....	241
Tabla 10.11 Costos de operativos del Complejo Ambiental.-.....	242
Tabla 10.12 Costos de campañas de educación y concientización de la población.-	242
Tabla 10.13 Costos operativos.-	243
Tabla 11.1 Cuota de devolución del préstamo.-	245
Tabla 11.2 Costos de campañas de educación y concientización de la población.-	246
Tabla 11.3 Indicadores económicos.-	246
Tabla 11.4 Beneficios extra de la venta de energía.-	247
Tabla 11.5 Aumento de la TGI para devolución del préstamo.-	248
Tabla 11.6 Aumento de la TGI para solventar costos operativos.-	248
Tabla 11.7 Aumento de la TGI para solventar costos de ejecución de módulos sucesivos de enterramiento.-	249
Tabla 11.8 Aumento total de la TGI.-	250

Tabla 11.9 Composición de materiales recuperados.-	251
Tabla 11.10 Precio de materiales recuperados.-	252
Tabla 11.11 Ganancias obtenidas de la recuperación de materiales.-	252
Tabla 11.12 Costos y Efectos del Tratamiento de Residuos.-.....	255
Tabla 11.13 Indicadores Costo-Efectividad del proyecto.-	256
Tabla 11.14 Indicadores Costo-Efectividad del proyecto para el año 2018.-	257

6. Propuesta y Análisis de Alternativas |

En base a las posibles soluciones del problema identificadas en el *Árbol de Objetivos*, es decir los medios determinados para alcanzar el objetivo deseado, se definirán las potenciales medidas a adoptar.

Cada medida planteada deberá ser formulada desde la perspectiva de su posibilidad de ser llevada adecuadamente a la práctica.

Estas medidas se abordan desde dos enfoques distintos, pero complementarios entre sí. Se trata de las Intervenciones no Estructurales y de las Intervenciones Estructurales.

Tal como se expresó anteriormente, las primeras son aquellas denominadas "*Intervenciones Blandas*", ligadas a medidas económicas y financieras, gestiones institucionales, elaboración del marco normativo que legisle las distintas etapas del proyecto, entre otras; y las segundas son las llamadas "*Intervenciones Duras*", entendidas como las Obras de Ingeniería.

Para determinar las medidas a evaluar en el proyecto, se define por cada etapa de la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (GIRSU), las posibles soluciones que, en su conjunto, serán las que lograrán el objetivo deseado. Pero además, se indica cuáles son aquellas medidas que acompañan todo el proceso, independientemente de las etapas, con el fin de realizar con éxito la gestión.

A modo de mención, se recuerdan las 5 etapas de la GIRSU:

2. Generación
3. Disposición inicial
4. Recolección y transporte
5. Tratamiento
6. Disposición final

Se desprende de la observación de las etapas de la GIRSU, que las 3 primeras etapas estarán más ligadas a las llamadas Intervenciones no Estructurales, mientras que las últimas 2 se solucionarán mediante Intervenciones Estructurales.

Una de las alternativas a evaluar en cada etapa implica la *No Intervención*. Esto significa que la gestión actual de residuos se siga desarrollando como lo viene haciendo hasta el momento. Esta alternativa será considerada como base para la posterior comparación cuali y cuantitativa con las alternativas propuestas.

6.1. Abordaje no Estructural

Se plantean pautas ligadas a los medios para alcanzar el objetivo y lograr los fines del *Árbol de Objetivos*. Estas medidas abarcan toda la gestión, independientemente de sus etapas, y están orientadas a la optimización de recursos económicos y humanos por parte de los municipios.

Para mejorar la disponibilidad de recursos económicos se proyecta:

- Incorporación de maquinaria adecuada y moderna para la recolección de residuos, de manera de garantizar que los mismos transportados a los sitios habilitados mediante

métodos que prevengan y minimicen los impactos negativos sobre el ambiente y la calidad de vida de la población, tal como lo establece el Artículo 43, inciso g, de la Ley Provincial 13055 de “Basura Cero”; así como su adecuado mantenimiento por parte de los empleados municipales.

- Designación previa de recursos económicos a la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos por parte de cada municipio, realizando balances de control periódicos que permitan ajustar de manera efectiva la proporción asignada.
- Campañas de información por parte de los municipios, donde se indiquen las acciones realizadas por los mismos, haciendo notar la importancia del aporte de todos los contribuyentes para poder ofrecer efectivamente los servicios que corresponden, y fomentando de esta manera la contribución obligatoria de todos los vecinos. También se puede recurrir a la Audiencia Pública (a modo de información, de incentivo, y de escuchar las voces de todos los grupos de interés).
- Campañas de información, educación y concientización acerca de la nueva GIRSU de manera de fomentar la colaboración por parte de los ciudadanos en su rol de generadores.

Los medios a través de los cuales puede darse un contacto con la población, y de esa manera transmitir los nuevos hábitos, podrían ser: Diario El Litoral, Radio Local, Radios Regionales (It9, It10, FM 91.5, etc.), Canal de Cable de Rincón, Canales Regionales (Canal 13, Cable y Diario, etc.), medios web (Página web oficial de los municipios, Facebook de los municipios, Facebook de las vecinales, etc.), Revés de la Tasa municipal.

Sobre la base que se establece en el Artículo 14 de la Ley Nacional N° 25675 “Ley General del Ambiente”, donde se determina que la educación ambiental constituye el instrumento básico para generar en los ciudadanos, valores, comportamientos y actitudes que sean acordes con un ambiente equilibrado, propendan a la preservación de los recursos naturales y su utilización sostenible, y mejoren la calidad de vida de la población; se propone la creación de programas de concientización a través de distintas metodologías, y con participación de instituciones educativas -previa capacitación docente-.

Serán los municipios los encargados de elaborar un programa especial de educación y concientización de la población, tal como lo establece el Artículo 11° de la Ley Provincial 13055 de “Basura Cero”, el cual promoverá la reducción de la generación de residuos y la utilización de productos más duraderos o reutilizables, la separación en origen, reutilización y el reciclaje de productos susceptibles de serlo, y la promoción de medidas tendientes al reemplazo gradual de envases descartables por reutilizables.

La educación ambiental constituirá un proceso continuo y permanente, sometido a constante actualización que, como resultado de la orientación y articulación de las diversas disciplinas y experiencias educativas, deberá facilitar la percepción integral del ambiente y el desarrollo de una conciencia ambiental, tal como lo establece el Artículo 15 de la Ley Nacional N° 25675 “Ley General del Ambiente”.

La capacitación docente está establecida dentro de la resolución provincial 080/2011, y persigue que las instituciones escolares (jardines, escuelas primarias y secundarias, y

otras instituciones locales (clubes, etc.)) eduquen a los alumnos en cuanto a la generación racional de residuos, el uso racional de productos -preferentemente de aquellos que provengan de una elaboración en base a materiales reciclados, de mayor vida útil, y que no posean en su composición sustancias contaminantes-, disminución del uso de productos descartables, e incremento de aquellos reutilizables, recuperación y reciclado de materiales.

Por otro lado resulta fundamental la instrucción en la disposición inicial de residuos en los sitios correspondientes a cada categoría, prohibiéndose la colocación de cualquier residuo en otro sitio.

- Elaboración del marco normativo que regule la GIRSU a nivel municipal y de consorcio.

Por otra parte, tal como se observó en la definición de la Situación Problema, debido al escenario laboral de los Recuperadores Urbanos (RU), se define -independientemente de cuál sea la alternativa seleccionada- la incorporación de los mismos al Programa GIRSU a través de la formación de una cooperativa bajo el régimen de inclusión social, de manera de formalizar el trabajo de estas familias.

Los RU serán incluidos en el régimen tributario a través del monotributo social, debido a que la naturaleza de sus actividades -preservación del ambiente- están incluidas en el mismo. Al respecto, la Administración Federal de Ingresos Públicos (AFIP), define:

El Monotributo Social es una categoría tributaria permanente, creada con el objeto de facilitar y promover la incorporación a la economía formal de aquellas personas en situación de vulnerabilidad que han estado históricamente excluidas de los sistemas impositivos y de los circuitos económicos.

A partir del reconocimiento de sus actividades y de su inclusión como contribuyentes, trabajadoras y trabajadores están en condiciones de emitir facturas oficiales, acceden a las prestaciones de las obras sociales del Sistema Nacional de Salud tanto para sí como para sus familias, y realizan aportes jubilatorios.

El monotributo social contempla dentro de sus compatibilidades: seguros de desempleo, pensiones no contributivas, pensiones contributivas mínimas que no superen el salario mínimo vital y móvil, jubilaciones mínimas que no supere el salario mínimo vital y móvil, asignaciones universales por hijo, entre otras.

Esto resulta fundamental ya que la mayoría de las familias percibe asignaciones y/o pensiones, que de resultar incompatibles con el programa, dificultarían la aceptación de los trabajadores.

La AFIP exime a estas entidades del pago de los impuestos derivados de sus actividades, reconociendo el contexto en el que fueron creadas.

Los trabajadores deberán llevar a cabo las tareas correspondientes a desarrollarse en el Complejo Ambiental, repartiendo por partes iguales los excedentes obtenidos de la comercialización de los materiales recuperables.

Una vez analizadas las medidas propuestas, se definirá su rol en el proyecto, pero su inclusión y la búsqueda de la mejora en sus condiciones laborales y de vida es concluyente.

Una vez definidas las medidas que contemplan el proyecto en su conjunto, se definirán - como se mencionó precedentemente- las posibles medidas en función de las primeras etapas de la GIRSU.

Vale destacar que las dos primeras etapas de la GIRSU están a cargo del generador, por lo que las medidas propuestas implican campañas educativas del 100% de la población, a través de todos los medios disponibles.

Las últimas 3 etapas están a cargo del municipio, por lo que la capacitación del personal que trabajará en las mismas es fundamental.

6.1.1. Medidas propuestas

6.1.1.1. Generación

- Una propuesta proactiva está relacionada a la reducción en la generación de residuos. Esta medida implica la reducción de recursos destinados a todas las etapas posteriores.

Se trata de disminuir el volumen de los residuos domiciliarios destinados a la recolección por parte del municipio, acorde a lo establecido en los Artículos 2º, 7º (inciso a) y 43º (inciso c) de la Ley de “Basura Cero” donde consta que se deben adoptar un conjunto de medidas orientadas a promover la reducción del volumen y la cantidad total de residuos sólidos urbanos que se producen, así como el cambio cultural instando a los generadores a modificar su accionar en la materia.

La Ley General del Ambiente, insta a impulsar cambios en los valores y conductas sociales que posibiliten el desarrollo sustentable, a través de una educación ambiental, tanto en el sistema formal como en el no formal.

Por una parte, se trata de reducir la cantidad de materiales reutilizables desechados, fundamentalmente envases. En este punto se procura, a través de campañas de concientización, incentivar a los usuarios a consumir -siempre que sea factible- productos que se puedan comercializar a través de envases retornables, a granel, o al por mayor; lo que implique la menor utilización posible de envoltorios desechables, acorde a lo establecido en el Artículo 19º (inciso e) de la Ley de “Basura Cero” donde indica que se debe disminuir el uso de productos descartables.

A su vez, se busca promover la utilización de productos de uso continuo o mayor vida útil, dejando de lado aquellos de un solo uso, de “usar-tirar”, o descartables, acorde a lo establecido en el Artículo 19º (inciso d) de la misma ley donde indica que se deben desarrollar productos más duraderos.

Todas estas medidas resultan afines a lo establecido en el Artículo 7º, incisos h e i, de dicha ley donde señala que se debe incentivar e intervenir para propender a la modificación de las actividades productivas y de consumo que generen residuos difíciles o costosos de tratar, reciclar y reutilizar; y fomentar el consumo responsable, concientizando a los usuarios sobre aquellos objetos o productos que, estando en el mercado, sus materiales constructivos, envoltorios o presentaciones, generen residuos voluminosos, costosos y difíciles de disponer.

Los comercios de la ciudad también juegan un papel importante. Son quienes, progresivamente, deben eliminar completamente el uso de envoltorios y bolsas plásticas de polietileno en la venta de sus productos. Lo que se busca en este caso es que la población se procure su propia bolsa reutilizable para realizar las compras. Esto se plantea en concordancia con lo establecido en el Artículo 19º, inciso a, de la ley de “Basura Cero”, donde establece que se deberán elaborar productos o utilizar envases que, por sus características de diseño, fabricación, comercialización o utilización, minimicen la generación de residuos y faciliten su reutilización, reciclado, valorización o permitan la disposición final segura para la salud y el ambiente.

Al respecto, se destaca que la Subsecretaría de Hábitat y Ambiente de la ciudad de San José del Rincón, en marzo de 2014 dictó talleres de elaboración de “Ecobolsas”. Previo a la realización del taller, se recibían donaciones de ropa en desuso y telas limpias para la confección de las mismas.

Otra alternativa compatible con los objetivos de la Ley sería reemplazar -progresiva y totalmente- el uso de las bolsas de polietileno tradicional por bolsas biodegradables. Las bolsas de polietileno tienen tiempos de descomposición o degradación cercanos a los 200 años, debido a que sus materiales componentes son polímeros sintéticos provenientes de fuentes fósiles como el petróleo o el carbón. En contrapartida, el plástico biodegradable está formado por materias primas orgánicas -la más difundida es el almidón, un polímero natural obtenido del maíz, la papa o el trigo- que comienzan su descomposición aproximadamente a los 18 meses de haber sido fabricadas, mientras que antes de transcurrido ese tiempo el material se mantiene en óptimas condiciones de utilización (es perfectamente resistente a la tracción y perforación).

Es importante la participación no solo de los hogares y los comercios, sino también de las instituciones en la reutilización de papeles y demás materiales reciclables.

Esto conlleva como resultado no solo la menor generación de residuos, sino también la menor manufactura de productos desechables, con la consecuente disminución de energía, recursos y materias primas en su elaboración. Estas pautas se plantean conforme a lo establecido en los Artículos 7º (inciso k) y 19º (inciso b y f) de la Ley donde señala que se debe fomentar:

- El uso de objetos o productos en cuya fabricación se utilice material reciclado o que permita la reutilización o reciclado posterior.
- Reducir la utilización de recursos y energía, así como la generación de desechos, en la producción de bienes.
- Incorporar materiales reciclados en los procesos de producción.

Otra manera de disminuir la cantidad de residuos generados tiene que ver con la fracción que compone la mayor parte del total de residuos, es decir, la fracción orgánica (foRSU). Para esto, y considerando las dimensiones de la mayoría de las fincas de la zona y la disponibilidad de espacio físico del que gozan -aun previendo una distancia prudencial hasta la vivienda en sí-, se promueve el compostaje domiciliario de parte de la materia orgánica, a través de la capacitación de los ciudadanos. Esta formación deberá procurar maximizar la eficiencia del proceso de compostaje, poniendo en conocimiento a

los vecinos sobre cuáles son los materiales que se deben compostar, su humedad óptima, tiempos adecuados para el proceso, etc.

- Otra medida relacionada a la generación de residuos tiene que ver con la Clasificación en Origen, es decir, la separación en el hogar de los residuos según su composición. Esto no es excluyente con la propuesta de reducción, si no que bien puede tratarse de medidas complementarias.

En este caso las alternativas a evaluar están en función de las categorías en las que se clasificarán los residuos. Las mismas pueden ser:

➤ 2 Categorías

Separando los residuos que se pueden recuperar para reciclado, de aquellos compuestos por materia orgánica y materiales irrecuperables.

➤ 3 Categorías

Se trata de separar los residuos en materia orgánica por un lado, residuos recuperables por otro, y residuos irrecuperables por otro.

6.1.1.2. Disposición inicial

- Otra propuesta está relacionada a la disposición inicial de residuos en Cestos en Altura por cada vivienda. Al respecto existe normativa local vigente (Ordenanza 46/13), pero su cumplimiento es relativamente escaso por parte de los vecinos. Deberán implementarse estrategias orientadas al cumplimiento de dicha ordenanza. Al respecto y como antecedente, se puede mencionar que en el año 2014 se gestionó, a través de un senador departamental, un subsidio a la Escuela de Enseñanza Técnica N° 629 Brigadier Estanislao López de la ciudad de Santa Fe (Distrito La Costa - Barrio Colastiné Norte), para la fabricación de los cestos en el taller de herrería, que luego serían vendidos a los vecinos de San José del Rincón a través de la Municipalidad, quien posibilitaba la financiación hasta en dos cuotas para la adquisición de los mismos.
- Otra alternativa posible es la colocación de contenedores, espaciados según densidad poblacional.
- Para el caso de residuos especiales como escombros o residuos de poda, se considera apropiada la No Intervención, es decir, continuar con la manera de proceder actual; la misma consiste en comunicarse con el municipio para solicitar la recolección de este tipo de residuos, y de esa manera ingresar en una grilla organizada de recolección, que queda supeditada a la disponibilidad del municipio (tiempo, recursos, personal, etc.)
- Por último, pero no por eso de manera excluyente, sino todo lo contrario, se propone disponer los residuos en la vía pública en distintos días y horarios, en función de las categorías seleccionadas.

6.1.1.3. Recolección y transporte

- Una alternativa propuesta está relacionada a la recolección optimizada, es decir, planificando los recorridos que realizan los camiones de manera de garantizar el 100%

de cobertura, y de que estos recorridos ahorren la mayor cantidad posible de combustible, disminuyendo en consecuencia las emisiones producto de la combustión a la atmósfera.

- Otra propuesta, que bien puede ser complementaria a la anterior, consiste en planificar los recorridos según las distintas zonas de la ciudad, asignándole los recursos necesarios a cada una de ellas en función de la cantidad de residuo a recolectar.
- Por otra parte, y en caso de hacerse efectiva la clasificación de residuos en origen, se propone que la recolección se realice según las categorías seleccionadas.
- A modo de complemento de la propuesta anterior, se plantea la alternativa de realizar la recolección diferenciada en días y horarios.

6.2. Abordaje Estructural

Al igual que en el Abordaje No Estructural, se plantean pautas ligadas a los medios para alcanzar el objetivo y lograr los fines del *Árbol de Objetivos*. En este caso, estas medidas abarcan las últimas dos etapas de la GIRSU, y están orientadas al cumplimiento de las leyes nacional y provincial, y a la protección del medio ambiente.

Se trata básicamente de la construcción de un Complejo Ambiental, donde se realice el tratamiento y/o disposición final de los residuos de las 3 localidades que conforman el Consorcio.

Además se evaluarán las distintas alternativas disponibles para el emplazamiento del Complejo Ambiental.

Una de las medidas más importantes, complementarias a este proyecto, consiste en la eliminación y remediación de los Basurales a Cielo Abierto (BCA) de las tres localidades, ya que constituye un objetivo prioritario para la Provincia la erradicación definitiva de los BCA, tal como se indica en el Artículo 8 de la Ley Provincial N° 13055 de “Basura Cero”.

El objetivo es volver a darle al terreno en el que actualmente se disponen los residuos sin ningún tipo de control, el uso que tenía antes de que comiencen a arrojarse los mismos, optimizando los recursos disponibles. Deben eliminarse todos los riesgos al medio ambiente y la salubridad pública. Para ello se busca la transformación de toda la masa de residuos en un cuerpo inerte.

Como primera medida se detiene la disposición de residuos en este sitio, pero las acciones a llevarse a cabo para lograr este propósito exceden a los alcances de este proyecto, por lo que quedan postergadas a un proyecto que constituya exclusivamente el saneamiento de este terreno.

6.2.1. Medidas propuestas

6.2.1.1. Tratamiento

- Una alternativa propuesta está relacionada a la clasificación de materiales recuperables, para su posterior acondicionamiento en un Centro de Tratamiento de Residuos Recuperables, e introducción en el mercado secundario como insumos para nuevos procesos productivos.

Para esto, como complemento de la clasificación en origen de materiales recuperables, se propone la construcción de una Planta Clasificadora de operación semi-mecanizada, donde dichos materiales serán agrupados según su composición y acondicionados para su comercialización por el personal que conforma la cooperativa.

- Otra medida relacionada al tratamiento de residuos, complementaria a la anterior, tiene que ver con la estabilización de la materia orgánica y posterior aprovechamiento del producto de dicho proceso.

Para su tratamiento se evaluarán distintas posibilidades, siempre adaptándose a las normas técnicas fijadas en la Resolución Provincial 0128/2004.

Se proponen los siguientes tratamientos:

- Descomposición aerobia.
- Descomposición anaerobia.
- Independientemente de las opciones elegidas para el tratamiento de los residuos orgánicos e inorgánicos, se plantea que los residuos de poda sean aprovechados por los vecinos que, en su mayoría, se calefaccionan en épocas invernales con leña. Para esto el municipio debe acudir a las zonas donde se encuentren troncos y/o ramas, fragmentarlos en trozos manipulables y dar aviso a los vecinos del lugar. Para los residuos de poda de menor tamaño, como hojas y ramas pequeñas, el municipio cuenta entre sus recursos con una chipeadora para reducir el tamaño de los fragmentos vegetales.

6.2.1.2. Disposición final

- Una segunda alternativa es la construcción de un Relleno Sanitario controlado en la ciudad de San José del Rincón, ya que es la única localidad del Consorcio que posee terraplenes de defensa contra inundaciones y esto la convierte en un sitio apto para la construcción de este tipo de obra, según las pautas de diseño y operación indicadas en el Artículo 40 de la Ley Provincial de “Basura Cero”. Allí se daría disposición final a todos aquellos residuos que no pudieron ser revalorizados ni tratados por métodos ambientalmente reconocidos y de acuerdo a normas certificadas por organismos competentes, tal como lo establece el Artículo 31º de dicha ley.

Esta obra tendrá un periodo de diseño a determinar posteriormente, luego del cual deberá ejecutarse el Plan de Abandono y Remediación, el cual deberá ser proyectado teniendo en cuenta la continuidad de los monitoreos, y el destino a designar al predio del Relleno Sanitario luego de su clausura, tal como lo establece el Artículo 9 de la Ley Provincial 13055.

El predio destinado a la construcción de esta obra debe contar -según el Artículo 10 de dicha ley- con el Certificado de Aptitud Ambiental para la instalación del mismo otorgado por la autoridad de aplicación, previa Evaluación de Impacto Ambiental.

Para definir el modo de operación del Relleno Sanitario se debe conocer la cantidad diaria de RSU a disponer en el mismo.

Teniendo en cuenta la generación de residuos por parte de la población, y la composición de los mismos, se evalúan las cantidades de cada fracción en base a los

datos de la *Figura 2.3*, y las *Tablas 6.1, 6.2 y 6.3* correspondientes a los años 2016, 2026 y 2036 respectivamente.

Producción diaria de Residuos Sólidos Urbanos en el Corredor de la Costa - Año 2016							
Localidad	Población (est. 2016)	Generación diaria [0,750 kg/hab/día]			Generación diaria* [1,006 kg/hab/día]		
		Residuos Orgánicos [ton/día]	Residuos Recuperables [ton/día]	Otros** [ton/día]	Residuos Orgánicos [ton/día]	Residuos Inorgánicos [ton/día]	Otros** [ton/día]
San José del Rincón	11385	4,270	3,245	1,025	5,722	4,349	1,373
Arroyo Leyes	3598	1,335	1,014	0,32	1,788	1,359	0,429
Santa Rosa de Calchines	6705	2,515	1,911	0,60	3,369	2,561	0,809
TOTAL	21668	8,119	6,170	1,949	10,879	8,268	2,611
		16,238			21,758		

*: Estos valores de generación diaria de residuos han sido afectados por el Coeficiente de Seguridad $v = 1,34$.
**: Incluye Residuos No Recuperables y Residuos Peligrosos producidos en domicilios particulares.

Tabla 6.1 | Generación diaria para el año 2016.-

Producción diaria de Residuos Sólidos Urbanos en el Corredor de la Costa - Año 2026							
Localidad	Población (est. 2026)	Generación diaria [0,750 kg/hab/día]			Generación diaria* [1,006 kg/hab/día]		
		Residuos Orgánicos [ton/día]	Residuos Recuperables [ton/día]	Otros** [ton/día]	Residuos Orgánicos [ton/día]	Residuos Inorgánicos [ton/día]	Otros** [ton/día]
San José del Rincón	13584	5,094	3,871	1,223	6,833	5,193	1,640
Arroyo Leyes	4740	1,778	1,351	0,427	2,384	1,812	0,572
Santa Rosa de Calchines	7460	2,798	2,126	0,671	3,752	2,852	0,901
TOTAL	25784	9,669	7,348	2,321	12,969	9,857	3,113
		19,338			25,939		

*: Estos valores de generación diaria de residuos han sido afectados por el Coeficiente de Seguridad $v = 1,34$.
**: Incluye Residuos No Recuperables y Residuos Peligrosos producidos en domicilios particulares.

Tabla 6.2 | Generación diaria para el año 2026.-

Producción diaria de Residuos Sólidos Urbanos en el Corredor de la Costa - Año 2036							
Localidad	Población (est. 2036)	Generación diaria [0,750 kg/hab/día]			Generación diaria* [1,006 kg/hab/día]		
		Residuos Orgánicos [ton/día]	Residuos Recuperables [ton/día]	Otros** [ton/día]	Residuos Orgánicos [ton/día]	Residuos Inorgánicos [ton/día]	Otros** [ton/día]
San José del Rincón	16054	6,020	4,575	1,445	8,075	6,137	1,938
Arroyo Leyes	5602	2,101	1,597	0,504	2,818	2,142	0,676
Santa Rosa de Calchines	8816	3,306	2,513	0,793	4,434	3,370	1,064
TOTAL	30472	11,427	8,685	2,742	15,327	11,649	3,679
		22,854			30,655		

*: Estos valores de generación diaria de residuos han sido afectados por el Coeficiente de Seguridad $v = 1,34$.
**: Incluye Residuos No Recuperables y Residuos Peligrosos producidos en domicilios particulares.

Tabla 6.3 | Generación diaria para el año 2036.-

Teniendo en cuenta que la fracción orgánica se aproveche en parte -considerando una eficiencia combinada de generación, disposición inicial separada, recolección y procesamiento en planta- estimando una recuperación de aproximadamente un 60%, y en consecuencia la porción restante de esta fracción tenga como destino el Relleno Sanitario;

que lo mismo ocurra con la fracción de residuos recuperables, cuya recuperación ronda el 25%; el total a disponer en el Relleno Sanitario quedará restringido a aquellos materiales que no se puedan reaprovechar. Este porcentaje estará conformado entonces por:

- El 40% de los residuos orgánicos (es decir, del 50% de los RSU).
- El 75% de los residuos recuperables o reciclables (es decir, del 38% de los RSU).
- El 100% de los residuos no recuperables (es decir, del 12% de los RSU).

Considerando una generación diaria de 1.006 [kg/hab/día], para el año 2016:

- Residuos orgánicos (50%): $40\% \times 10,879[tn/dia] = 4,352[tn/dia]$
- Residuos recuperables (38%): $75\% \times 8,268[tn/dia] = 6,201[tn/dia]$
- Residuos irre recuperables (12%): $100\% \times 2,611[tn/dia] = 2,611[tn/dia]$

El total de residuos con destino a disposición final será:

$$4,352[tn/dia] + 6,201[tn/dia] + 2,611[tn/dia] = 13,164[tn/dia]$$

Para el año 2026:

- Residuos orgánicos (50%): $40\% \times 12,969[tn/dia] = 5,188[tn/dia]$
- Residuos recuperables (38%): $75\% \times 9,857[tn/dia] = 7,393[tn/dia]$
- Residuos irre recuperables (12%): $100\% \times 3,113[tn/dia] = 3,113[tn/dia]$

El total de residuos con destino a disposición final será:

$$5,188[tn/dia] + 7,393[tn/dia] + 3,113[tn/dia] = 15,694[tn/dia]$$

Para el año 2036:

- Residuos orgánicos (50%): $40\% \times 15,327[tn/dia] = 6,131[tn/dia]$
- Residuos recuperables (38%): $75\% \times 11,649[tn/dia] = 8,737[tn/dia]$
- Residuos irre recuperables (12%): $100\% \times 3,679[tn/dia] = 3,679[tn/dia]$

El total de residuos con destino a disposición final será:

$$6,131[tn/dia] + 8,737[tn/dia] + 3,679[tn/dia] = 18,547[tn/dia]$$

Estos valores indican que el Relleno Sanitario debe operarse de forma semi-mecanizada, ya que la cantidad de residuos con destino a disposición final superará el límite (15 [tn]).

- Otra propuesta, que en este caso sí es excluyente con respecto a la anterior, tiene que ver con la construcción de una Estación de Transferencia en la ciudad de San José del Rincón, donde se reciban los residuos de las 3 localidades que conforman el Consorcio, para finalmente trasladarlos con destino a disposición final en el Relleno Sanitario de la vecina ciudad de Santa Fe.

Ya se ha mencionado anteriormente el notable problema habitacional de la ciudad. Es por ello, y en conjunto con el programa de mejora de la calidad de vida de los Recuperadores Urbanos, que se plantea la construcción de un Plan de Viviendas para aquellas familias que sean parte de la cooperativa. Las mismas contarán con la infraestructura y los servicios básicos necesarios para el desarrollo de las actividades cotidianas de sus integrantes, así como también espacios verdes comunes.

6.2.2. Elección del terreno

Para lograr que todas estas alternativas sean realizables, deben buscarse terrenos que cumplan con las condiciones necesarias para el proyecto.

Una vez adoptado aquel que reúna las condiciones necesarias establecidas por la Ley Provincial 13055 de “Basura Cero”, se deberá construir el Relleno Sanitario bajo las pautas de diseño establecidas en su Artículo 40.

Desde la municipalidad de San José del Rincón se pusieron a disposición 4 terrenos.

Las opciones son:

6.2.2.1. Terreno en Barrio San José

Este terreno posee una superficie de alrededor de 21690 [m²], y tiene una forma en planta similar a un triángulo de dimensiones 208 [m] x 225 [m] x 233 [m] aproximadamente. En la *Figura 6.1* se muestra dicho terreno. Se encuentra contiguo al terraplén de defensa de la laguna Setúbal, por dentro del anillo de defensa de la ciudad. Una de las características a resaltar de este terreno, es que no posee acceso desde la Ruta Provincial N°1.

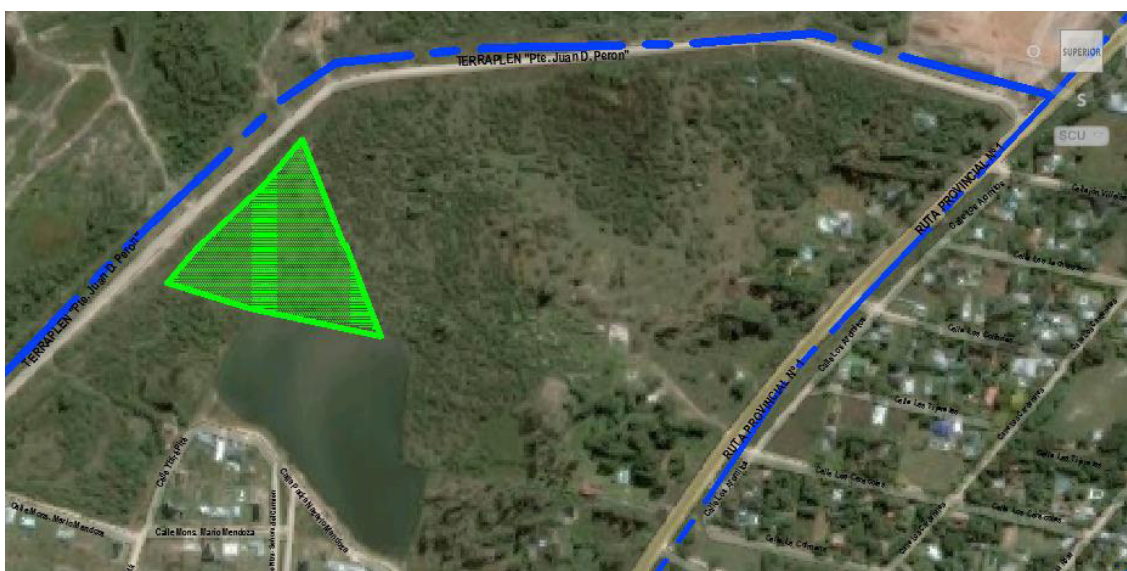


Figura 6.1 | Terreno en Barrio San José.-

6.2.2.2. Terreno en Barrio Acería:

Posee una superficie de alrededor de 3332 [m²], y tiene una forma en planta similar a un triángulo de dimensiones 108 [m] x 62 [m] x 129 [m] aproximadamente. En la *Figura 6.2* se muestra dicho terreno. Se encuentra contiguo al terraplén de defensa del río Colastiné, por

dentro del anillo de defensa de la ciudad, en Calle del Sol y su intersección con el Terraplén de defensa del río Colastiné. El acceso desde la Ruta Provincial N°1 al mismo se puede realizar por varios caminos, siendo el ingreso por Calle del Sol, con un recorrido en línea prácticamente recta de 255 [m], el más directo.

Este terreno forma parte de un reservorio de aguas pluviales, y consecuentemente sus cotas son bajas. Una de las ventajas de este terreno, es que pertenece a Vialidad Provincial. Existen en la ciudad antecedentes de donación de terrenos de este ente hacia el municipio, lo cual evitaría la expropiación. Por otra parte, se trata de un terreno que para la institución posee poca utilidad, por lo que en principio la donación sería una alternativa viable.

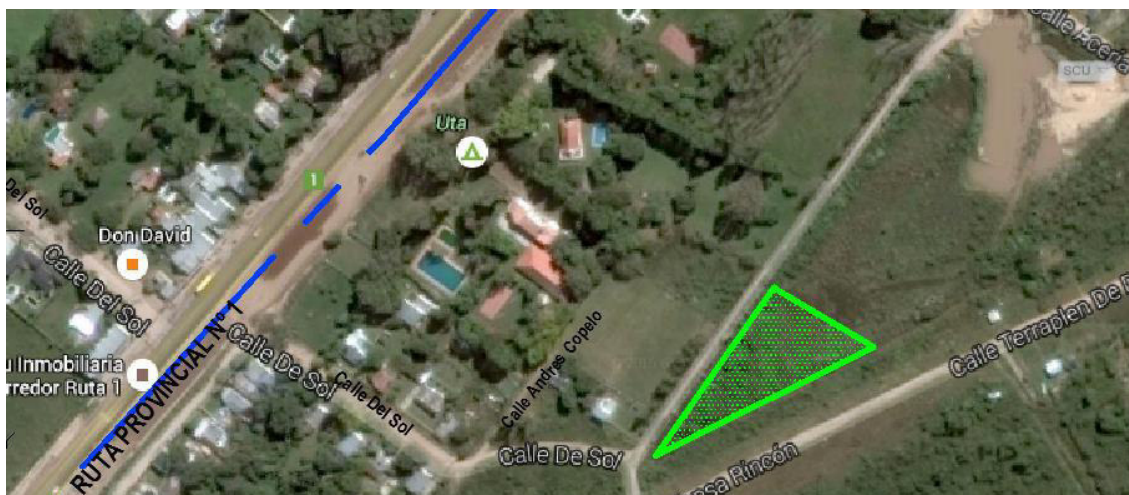


Figura 6.2 | Terreno en Barrio Acería.-

De optar por este terreno, las dimensiones del reservorio disminuirían, lo cual afecta negativamente a la gestión de desagües pluviales de la ciudad.

Por otro lado, no cumple con la distancia mínima indicada en el Artículo 37° de la Ley Provincial 13055, donde indica que el predio donde se efectúe el tratamiento o disposición final de los residuos sólidos urbanos deberá situarse a más de cuatrocientos metros (400 m) de rutas nacionales o provinciales pavimentadas.

6.2.2.3. Terreno en Barrio Villa Añatí

Posee una superficie de alrededor de 13163 [m²], y tiene una forma en planta similar a la de dos rectángulos de dimensiones 280 [m] x 25 [m] y 283 [m] x 25 [m] aproximadamente. En la Figura 6.3 se muestra dicho terreno. Se encuentra contiguo al terraplén de defensa de la laguna Setúbal, por dentro del anillo de defensa de la ciudad, en calle San Martín y su intersección con el Terraplén de defensa de la laguna Setúbal, y el acceso desde la Ruta Provincial N°1 al mismo se realiza por Calle San Martín, en un recorrido, en línea recta, de 965 [m].

Este terreno se encuentra lindante al sitio de disposición actual de los residuos de poda de la ciudad de San José del Rincón, y residuos domiciliarios de vecinos del lugar, así como electrodomésticos y otros objetos en desuso. Es por eso que a este lugar acuden también recolectores urbanos, en busca de partes de dichos objetos, susceptibles de ser valorizadas. Por otra parte, se presentan frecuentemente quemadas incontroladas de los residuos de poda, afectando distintos factores a sus alrededores, ya sea por la quema de residuos domiciliarios,

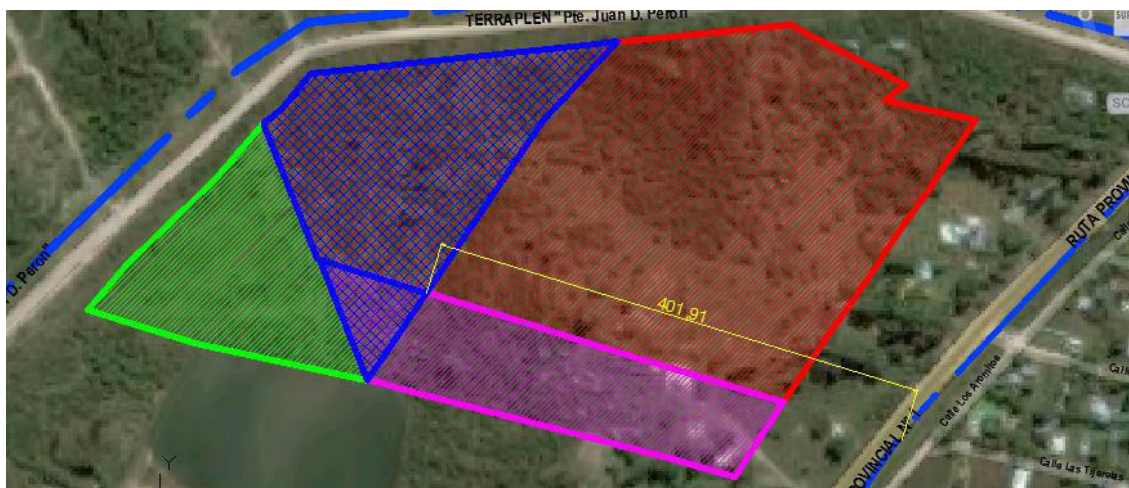


Figura 6.6 | En azul: terreno a expropiar para la construcción del Relleno Sanitario.-

Se trata de 3.25 [Has] del terreno marcado originalmente en rojo, más 0.37 [Has] del terreno marcado en magenta, lo que -sumado a las 2.17 [Has] disponibles del terreno municipal- da un total de 5.7 [Has] aproximadamente.

De todas maneras, destinada toda esta área para la construcción del Relleno Sanitario, todavía falta la extensión del terreno dentro del Complejo Ambiental destinada a las otras funciones, como ser la Planta Clasificadora, el Biodigestor, el tratamiento de lixiviados, el acopio de suelo, oficinas administrativas, vigilancia y taller.

Es por ello que se plantea además, expropiar (indicado en amarillo en la *Figura 6.7*) la siguiente porción del terreno marcado originalmente en magenta. Se trata de una superficie de 0.57 [Has].



Figura 6.7 | En amarillo: terreno a expropiar para la construcción de las demás dependencias del Complejo Ambiental.-

Por lo tanto, el terreno quedaría conformado por un total de 6.36 [Has], como se muestra en la *Figura 6.8*.



Figura 6.8 | Terreno del Complejo Ambiental.-

Para acceder al mismo desde la ruta, se plantea servidumbre de paso a través de los dos lotes que se encuentran entre esta y el comienzo del terreno.

En la *Figura 6.9* se muestra -indicado en color rojo- el camino de acceso planteado, el cual posee un ancho de 14 [m].



Figura 6.9 | Camino de acceso al Complejo Ambiental.-

El Plan de Viviendas se deberá localizar fuera del Complejo Ambiental, y alejado del mismo al menos 200 [m] de manera de garantizar la salubridad de sus habitantes. Existe un terreno de 0.26 [Has], tal como se muestra en la *Figura 6.10* (en anaranjado) a la misma altura del complejo pero del otro lado de la ruta, que no posee construcciones y que se considera apto para la construcción de las viviendas.



Figura 6.10 | En anaranjado: Terreno para la construcción del Plan de Viviendas.-

Fue premisa de diseño, el respetar las construcciones existentes en los terrenos afectados. Es decir, tanto los terrenos a expropiar, como aquellos a cruzar por servidumbre de paso, son propiedades sin construcción alguna, se trata de terrenos baldíos.

Será necesaria la creación de la normativa que impida la construcción de nuevas edificaciones habitables en los alrededores del predio.

Para cumplir con los criterios de elegibilidad del ente financiador de la obra, es decir, el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), se debe poseer un terreno en condiciones, es decir, a la cota necesaria.

Al respecto, la Ley Provincial de Expropiación 7534 indica en sus artículos 6 y 12:

ARTÍCULO 6.- Pueden ser objeto de expropiación todos los bienes convenientes o necesarios para la satisfacción del interés general, cualquiera sea su naturaleza jurídica, estén o no en el comercio, sean cosas o no.

ARTÍCULO 12.- Los prestadores de servicios públicos pueden promover expropiación sobre todos los bienes necesarios o convenientes para prestar, de manera satisfactoria, el servicio público que gestionen. No pueden hacerlo sin la previa calificación de "interés general" hecha por ley y sin la expresa facultad de expropiar acordada legalmente.

Y la Ley Provincial de Basura Cero 13055 indica en su artículo 18, inciso k:

ARTÍCULO 18.- k) Declarar de interés general la afectación de las áreas seleccionadas por la autoridad de aplicación, para el emplazamiento de centros de disposición final de residuos sólidos domiciliarios, sobre la base de la definición previa de su adecuación para ese propósito.

Con lo cual ambas leyes se complementan perfectamente para que la Provincia pueda expropiar los terrenos necesarios para garantizar el escenario preciso para aplicar para el préstamo del BID.

Para ello, estará también a cargo de la Provincia la elevación del terreno, ya que su cota actual representa zona inundable.

7. Comparación y Selección de Alternativas |

Una vez analizadas todas las posibles soluciones para cada una de las etapas, se definirán líneas de alternativas interdependientes entre sí. Es decir, si una alternativa contempla por ejemplo, la disposición inicial diferenciada, esto implica que en la etapa de generación debe existir una clasificación de los residuos en origen. Es así que se agrupan las acciones que se consideran complementarias para el exitoso funcionamiento de la gestión.

Luego, las alternativas conformadas serán analizadas mediante una matriz multicriterio, comparando los resultados obtenidos y eligiendo aquella que arroja el valor más conveniente.

7.1. Conformación de alternativas

Se procede a la conformación de las líneas cuyas acciones en las distintas etapas de la GIRSU son complementarias e interdependientes entre sí, con el fin de poder realizar luego una comparación entre las mismas y seleccionar aquella que arroje los resultados más favorables.

Se consideran complementarias acciones como la reducción de la generación de residuos promoviendo el compostaje domiciliario, con el tratamiento aeróbico de la materia orgánica. En contraposición, en caso de plantearse un tratamiento anaeróbico de la materia orgánica, no se promueve el compostaje domiciliario.

Hay acciones que son consideradas en ambas las alternativas, como por ejemplo en la primera etapa -Generación-, se promueve la reducción de materiales aprovechables en el hogar a través de la reutilización y reciclado, así como el reemplazo de bolsas de polietileno por bolsas de telas en comercios; en la tercera -Recolección y transporte-, la recolección optimizada, planificada según las distintas zonas de la ciudad, y diferenciada en días y horarios según las categorías seleccionadas; y en la cuarta -Tratamiento-, la clasificación semi-mecanizada de materiales recuperables.

Se compone en primer lugar la denominada “*Alternativa Base*”, es decir, aquella en la cual no se interviene ninguna de las etapas, si no que se entiende tal como el desarrollo de la gestión actual sin cambios. La misma servirá luego como punto de comparación para las demás alternativas propuestas, que se elaboran en función a los criterios mencionados.

Luego se conforman dos alternativas -ambas factibles desde el punto de vista de su viabilidad- cuyas acciones se combinan de manera complementaria.

Al momento de realizar la comparación entre las distintas líneas de alternativas propuestas, bien podría no considerarse estas acciones que se repiten en todos los casos, ya que los resultados relativos seguirían guardando la misma relación entre ellos, lo cual no influye en la selección de una de ellas. Sin embargo, serán tenidas en cuenta ya que el punto de comparación para estas alternativas, tal como se explicó, será la “*Alternativa Base*”. De esta manera, cualquier opción que difiera con la misma será valorizada.

Un ejemplo de acciones que no varían con respecto a la “*Alternativa Base*”, tiene que ver con los residuos especiales como poda y escombros. En este caso, la propuesta para todas las líneas planteadas, consiste en no intervenir en cuanto a la disposición inicial y al aprovechamiento de los mismos se refiere. Esto consiste en dar aviso al municipio para

recoger este tipo de residuos, que luego utilizará -en el caso de los escombros- para mejorado de calles. Lo que sí podría mejorarse al respecto son los tiempos de demora entre la notificación y la recolección. Es por esto que, este tipo de acciones, no serán tenidas en cuenta al momento de realizar la comparación y selección.

Con respecto a los residuos de poda se propone, en todas las líneas de alternativas, el aprovechamiento de los mismos como leña.

Expuestos los criterios que darán origen a la combinación de acciones que conformarán cada una de las alternativas, se presentan a continuación en la *Tabla 7.1* las propuestas planteadas.

Etapas		Acciones	Alternativa 1	Alternativa 2
1	Generación	Reducción	Aprovechamiento de materiales reutilizables	
			Reemplazo de bolsas de nylon	
			Compostaje domiciliario	
	Clasificación	2 categorías (Orgánico junto con Sanitario - Recuperable)		
		3 categorías (Orgánico, Recuperable y Sanitario)		
2	Disposición inicial	Cestos en altura	Orgánico y Sanitario, en diferentes días	
			Orgánico junto con Sanitario	
	Contenedores	Recuperables		
3	Recolección y transporte	Optimizada	Planificada por zonas	
		Diferenciada según las categorías	En distintos días y horarios	
4	Tratamiento	Clasificación de materiales recuperables	Semi-mecanizada	
		Estabilización de materia orgánica	Aeróbica - Compostaje	
			Anaeróbica - Biodigestión	
5	Disposición final	Relleno Sanitario en SJ del Rincón	Operación semi-mecanizada	
		Estación de Transferencia	Traslado al Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe	

Tabla 7.1 | Alternativas propuestas.-

7.2. Comparación de alternativas

Una vez planteadas las alternativas posibles se procede a la valorización de cada una de ellas, con el objeto de poder compararlas entre sí y con la denominada “*Alternativa Base*”, y así seleccionar aquella que, entre todas las contempladas, parece reunir una combinación más adecuada de elementos positivos, es decir la más ventajosa, que se convertirá en el objetivo del proyecto de desarrollo.

Los procedimientos para realizar esa selección son muy variados y no puede ofrecerse una “receta” de validez universal. Lo más habitual suele ser que se efectúe un análisis de decisión multicriterio, mediante el que se valoran cada una de las alternativas en función de una serie de criterios que se consideran significativos.

Para el caso de este proyecto se considerarán como más significativos los siguientes criterios:

- Ambiental: es valorado como el más importante de los aspectos, ya que es el que da origen al proyecto. Se considera al 100%.
- Económico: es un criterio fundamental a tener en cuenta en el desarrollo de cualquier proyecto. Se entiende como los recursos destinados a la concreción del mismo, por parte del ente administrador. En este caso, se trata de la Municipalidad de San José del Rincón y de las Comunas de Arroyo Leyes y Santa Rosa de Calchines. Para el caso de este proyecto se le otorga una importancia del 70%.
- Cumplimiento: se trata del desempeño y compromiso de cada una de las partes involucradas en el proyecto. Se entiende al generador como responsable de las dos primeras etapas (Generación y Disposición inicial), y a los municipios como responsable de las últimas 3 etapas (Recolección y transporte, Tratamiento y Disposición final). Se le otorga a este concepto una valoración del 60%.

Planteados los porcentajes para cada criterio, se asigna a cada una de las acciones un valor del 1 al 10, siendo 1 la situación más desfavorable, y 10 la más favorable, evaluándolas en función a los criterios mencionados. Luego, entre esos dos extremos, existe una variedad que se asigna de manera comparativa con las demás opciones. Paso próximo, se realiza la suma ponderada en función a los valores asignados para cada una de las acciones, para consecuentemente obtener el resultado final de las líneas de alternativas planteadas. Valor este que será el indicado para realizar la comparación y finalmente la selección.

El análisis de alternativas cierra, por tanto, la etapa de la identificación y da paso al diseño o formulación del proyecto.

Se muestra en la *Tabla 7.2* la valoración de cada alternativa propuesta y de la denominada “*Alternativa Base*”, y los resultados obtenidos para cada una de ellas.

Etapas	Acciones	Indicadores - Valoración						Sumatoria ponderada	TOTAL	
		Económico	7	Ambiental	10	Cumplimiento	6			
GESTIÓN ACTUAL EN SAN JOSÉ DEL RINCÓN										
1	Generación	Sin Intervención	10		4		10	170	684	
2	Disposición inicial	Sin Intervención	10		3		6	136		
3	Recolección y transporte	Sin Intervención	7		4		7	131		
4	Tratamiento	Sin Intervención	10		2		4	114		
5	Disposición final	Sin Intervención	9		1		10	133		
ALTERNATIVA 1										
1	Generación	Reducción (Aprov. de materiales reutilizables y reemp. bolsas) Clasificación 3 categorías	5	3	8	9	6	6	147	836
2	Disposición inicial	Cestos en altura (Orgánico y Sanitario, en diferentes días) Contenedores (Recuperables)	3	2	6	7,5	8	7	131	
3	Recolección y transporte	Optimizada por zonas Diferenciada en días y horarios	8	8	8	8	10	10	196	
4	Tratamiento	Clasificación semi-mecanizada de materiales recuperables Estabilización Anaeróbica de materia orgánica - Biodigestión	3	3	10	10	10	10	181	
5	Disposición final	Relleno Sanitario Semi-mecanizado	3	3	10	10	10	10	181	
ALTERNATIVA 2										
1	Generación	Reducción (Ídem anterior + Compostaje domiciliario) Clasificación 2 categorías	1	1,5	10	7,5	5	6	121,5	805
2	Disposición inicial	Cestos en altura (Orgánico junto con Sanitario) Contenedores (Recuperables)	3	2	6	7,5	8	7	131	
3	Recolección y transporte	Optimizada por zonas Diferenciada en días y horarios	8	8	8	8	10	10	196	
4	Tratamiento	Clasificación semi-mecanizada de materiales recuperables Estabilización Aeróbica de materia orgánica - Compostaje	3	4,5	10	9	10	10	181,5	
5	Disposición final	Transferencia Santa Fe	5	5	8	8	10	10	175	

Tabla 7.2 | Valoración y comparación de las alternativas propuestas.-

7.3. Selección de la alternativa

En primera instancia se advierte que los resultados correspondientes a las alternativas propuestas son mayores que aquel que arroja la “*Alternativa Base*”, lo que indicaría en principio que ambas las propuestas son superadoras.

Se observa que la alternativa que arroja el mayor resultado es la denominada “*Alternativa 1*”.

7.4. Alternativa seleccionada

Las acciones que se convertirán en el objetivo del proyecto serán:

7.4.1.1. Generación

- Reducción en la generación de residuos mediante la reutilización y reciclado de materiales aprovechables en el hogar, así como el reemplazo de bolsas de polietileno por bolsas de telas en comercios.
- Clasificación en Origen en 3 Categorías: materia orgánica, residuos recuperables, y residuos irrecuperables.

7.4.1.2. Disposición inicial

- Cestos en altura, para disponer los residuos irrecuperables y materia orgánica en diferentes días.
- Contenedores para residuos recuperables.

7.4.1.3. Recolección y transporte

- Recolección optimizada, planificando los recorridos según las distintas zonas de la ciudad, diferenciada en días y horarios.

7.4.1.4. Tratamiento

- Clasificación semi-mecanizada de materiales recuperables, para su posterior acondicionamiento y comercialización.
- Estabilización anaeróbica de materia orgánica - Biodigestión.

7.4.1.5. Disposición final

- Construcción de un Relleno Sanitario controlado en la ciudad de San José del Rincón, de operación semi-mecanizada.

Estas medidas se complementan con aquellas mencionadas como comunes a todas las alternativas y que no fueron incluidas en la comparación, pero que son parte del proyecto,

como ser la disposición inicial y aprovechamiento de residuos especiales como escombros y residuos de poda.

A su vez se considerará, como se refirió en un principio, la incorporación de maquinaria adecuada y moderna para la recolección de residuos, y su adecuado mantenimiento por parte de los empleados municipales; la designación previa de recursos económicos a la GIRSU por parte de cada municipio, realizando balances de control periódicos que permitan ajustar de manera efectiva la proporción asignada; la realización de campañas de información, educación y concientización; la elaboración del marco normativo que regule la GIRSU a nivel municipal y de consorcio; y por último la incorporación de los Recuperadores Urbanos al Programa GIRSU a través de la formación de una cooperativa bajo el régimen de inclusión social, quienes operarán dentro del Complejo Ambiental la Planta Clasificadora de residuos recuperables, el reactor y el Relleno Sanitario.

8. Diseño de la Alternativa Seleccionada |

Se construirá un Complejo Ambiental donde alojar todas las unidades para el procesamiento y disposición final de RSU. Dentro del complejo se instalará la Planta Clasificadora de residuos, los Biodigestores para el tratamiento de la fracción orgánica, el Relleno Sanitario y el equipo de Biodiscos para el tratamiento de lixiviados y licor sobrenadante del proceso de biodigestión. Como complemento de dichas instalaciones, se construirá un Taller para el mantenimiento y la reparación de máquinas y vehículos que operen dentro y fuera del Complejo, así como oficinas administrativas, baños y vestuarios, y cabina de vigilancia. En el *Anexo 14.2.1* se muestra la planimetría correspondiente a estas áreas.

Se preverá además una zona para el acopio del suelo necesario para la operación del Relleno Sanitario, así como de otros materiales.

Todo el complejo estará provisto de energía eléctrica y agua de perforación.

8.1. Diseño de las naves metálicas

8.1.1. Introducción

El proyecto a desarrollar son dos naves de estructura metálica, con el objetivo de albergar la Planta Clasificadora, y el Taller para Maquinarias y Vehículos del Complejo Ambiental, respectivamente.

Se dimensionarán los elementos estructurales para la Planta Clasificadora, que es la de mayores dimensiones, y se adoptarán los mismos para el Taller.

Para ello se utilizarán los siguientes reglamentos CIRSOC, aplicando los criterios de seguridad establecidos en los mismos:

- Reglamento CIRSOC 101 “Cargas y sobrecargas gravitatorias para el cálculo de estructuras de edificios” – Edición 2005.
- Reglamento CIRSOC 102 “Acción del viento sobre las construcciones” – Edición 2005
- Reglamento CIRSOC 301 “Proyecto, cálculo y ejecución de estructuras de acero para edificios” edición 2005.

Se diseñará una estructura que, durante su vida útil, garantice la seguridad frente a la falla. Esto es, la probabilidad de falla debe ser pequeña y aceptable.

8.1.2. Características generales

8.1.2.1. Dimensiones

Las dimensiones de la nave que alberga la Planta Clasificadora serán: 21 [m] de ancho por 35 [m] de largo -de manera de lograr pórticos de 7 [m] de separación-, 5 [m] de altura de

alero y 6,80 [m] la altura de la cumbrera, con una pendiente de la cubierta de $9^{\circ}43'00''$ ó 17%, tal como se muestra en la *Figura 8.1*.

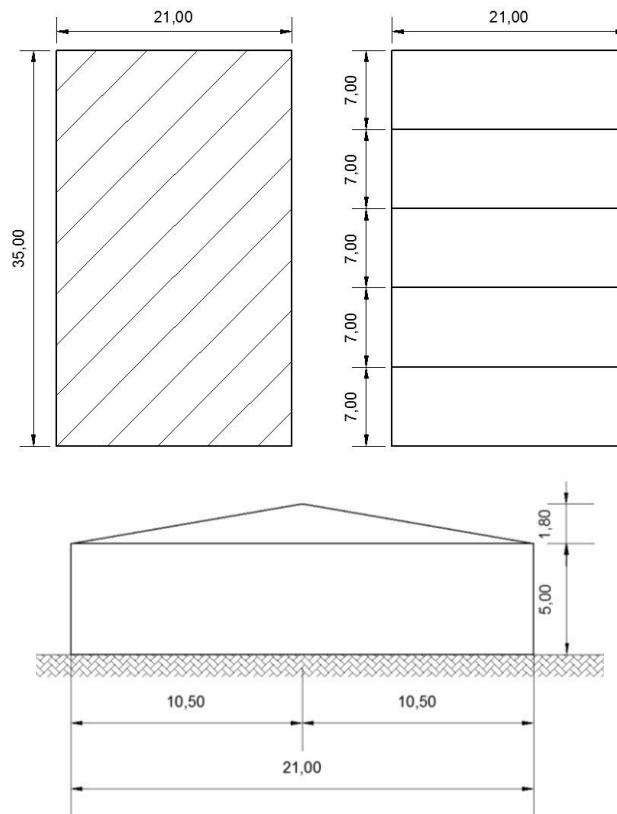


Figura 8.1 | Dimensiones de la nave que alberga la Planta Clasificadora.-

Las dimensiones de la nave que alberga el Taller para Maquinarias y Vehículos del Complejo Ambiental serán: 9 [m] de ancho por 21 [m] de largo -de manera de lograr también pórticos de 7 [m] de separación-, 5 [m] de altura de alero y 5,77 [m] la altura de la cumbrera, con una pendiente de la cubierta de $9^{\circ}43'00''$ ó 17%, tal como se muestra en la *Figura 8.2*.

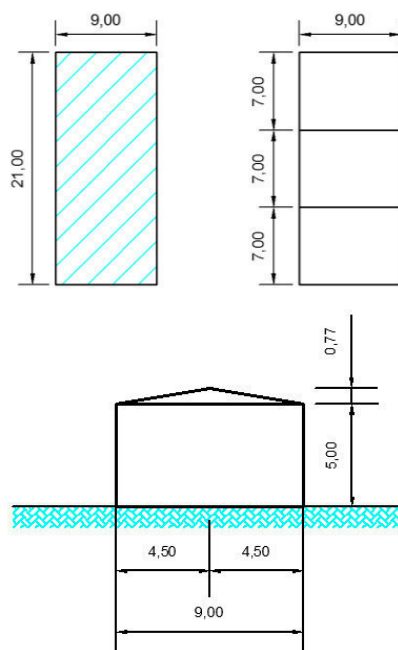


Figura 8.2 | Dimensiones de la nave que alberga el Taller.-

8.1.2.2. Revestimientos

Se utilizan en los cerramientos chapas de acero revestidos con aleación de aluminio y zinc con elevada resistencia a la corrosión. El modelo elegido es una chapa galvanizada trapezoidal T-98 que combina un momento de inercia de gran magnitud con excelente rendimiento, haciendolo especialmente apto para sus usos industriales. Se comercializan de un largo de hasta 13,50 [m]. Su espesor es de 0,50 [mm], y su peso 4,98 [kg/m²]. Los paneles tendrán 1 [m] x 7 [m], y la separación entre fijadores de cubierta será de 0,1683 [m].

En la *Figura 8.3* se muestra un esquema del modelo elegido.



Figura 8.3 | Chapa trapezoidal T-98 – Fuente: Curia S.A.C.I.-

8.1.3. Análisis Estructural

Se detalla en el *Anexo 14.1.1* el procedimiento de cálculo para el dimensionamiento de los elementos de la estructura.

8.1.4. Secciones Finales

En la *Tabla 8.1* se muestra un resumen de las secciones de todos los elementos.

Elemento	Componente	Descripción	Perfiles	Dimensiones		
Viga Principal	Cordón inferior	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "64x64x6,4"	b	63,5	[mm]
				t	6,4	[mm]
				s	7,90	[mm]
				e _x	1,80	[cm]
	Cordón superior	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "57x57x6,4"	b	57,1	[mm]
				t	6,4	[mm]
				s	7,9	[mm]
				e _x	1,63	[cm]
	Montantes	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "25x25x3,2"	b	25,4	[mm]
				t	3,2	[mm]
				s	7,9	[mm]
				e _x	0,73	[cm]
Diagonales	Barra armada Tipo II con 2 PNL con forros discontinuos	PNL "25x25x4,8"	b	25,4	[mm]	
			t	4,8	[mm]	
			s	7,9	[mm]	
			e _x	0,79	[cm]	

Elemento	Componente	Descripción	Perfiles	Dimensiones		
Columna	Cordones	Barra armada Tipo IV con 4 PNL unidos por planos en celosía	PNL "89x89x12,7"	b	88,9	[mm]
				t	12,7	[mm]
				s	10	[mm]
				e _x	2,66	[cm]
	Celosía	Perfil PNL	PNL "29x29x3,2"	b	28,6	[mm]
				t	3,2	[mm]
				e _x	0,77	[cm]
	Presilla	Chapa plana	-	h	30	[cm]
				t	0,635	[mm]
Correas	-	Perfil UPN	UPN 160	d	160	[mm]
				bf	65	[mm]
				tf	10,5	[mm]
				hw	115	[mm]
				tw	7,5	[mm]
Tensores	-	Barra circular maciza	-	d	12	[mm]

Tabla 8.1 | Secciones Finales.-

8.2. Tratamiento de los RSU

8.2.1. Composición de los RSU

Como bien se expresó precedentemente, según el *Observatorio Nacional GIRSU*, los residuos sólidos urbanos presentan la composición dada en la *Figura 2.3*.

La recolección se realizará de manera diferenciada, en función de las 3 categorías elegidas en la “*Alternativa 1*”:

1. Fracción orgánica (50%)
2. Fracción recuperable (17% + 14% + 5% + 2% = 38%)
3. Fracción irrecuperable (12%)

Se diseñarán las instalaciones necesarias para el procesamiento de estas 3 fracciones, de manera de garantizar en un periodo de 20 años, el correcto funcionamiento del Complejo Ambiental.

8.2.1.1. Fracción orgánica

La fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (foRSU) será recolectada 3 veces por semana, esto es: lunes, miércoles y viernes.

Se realizará luego el tratamiento anaeróbico de esta fracción (foRSU) dentro de un reactor, denominado “*Biodigestor*”, con la consecuente obtención de biogás.

En consecuencia, el tratamiento anaeróbico controlado de foRSU permite el aprovechamiento del gas generado y -mediante un proceso de purificación y acondicionamiento del mismo- su utilización para la generación de energía eléctrica.

La provincia de Santa Fe, a través del programa “*prosumidores*”, incentiva la generación de energía distribuida renovable conectada a la red de baja tensión por usuarios de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPESF) bajo condiciones técnicas y administrativas específicas.

Por su parte, la Ley Provincial N°12.503 declara de interés provincial la generación y el uso de energías alternativas o blandas a partir de la aplicación de las fuentes renovables en todo el territorio de la Provincia.

Además, la Ley Nacional N° 27.191 establece que para el año 2017, el 8% de la matriz nacional de energía eléctrica sea aportada por fuentes de energías renovables y alcanzar el 20% en el año 2025.

El biogás que se genera mediante la digestión anaerobia permite dos aprovechamientos energéticos diferenciados, al quemar el producto resultante:

- Generación de calor procedente de la combustión.
- Generación de electricidad mediante la disposición de motores eléctricos.

El proceso aumenta su eficiencia a valores superiores al 85% - 90% en el caso de realizarse el aprovechamiento mediante cogeneración. Es por esto que se seleccionará un equipo capaz de generar ambas energías a partir de un único combustible (el biogás generado en el reactor), y que permita además la conexión a la red de baja tensión de la provincia.

Determinación de la cantidad necesaria de camiones

Para conocer la cantidad máxima de camiones que deberán descargar en un día se deberá considerar la *fracción orgánica de Residuos Sólidos Urbanos* (foRSU) prevista para las tres localidades que conforman el Consorcio, para un período de 20 años.

Teniendo en cuenta que la materia orgánica será recolectada 3 días a la semana, la cantidad acumulada máxima a transportar será la correspondiente a 3 días.

La cantidad de foRSU diaria estimada para el año 2036 corresponde a $P_{fo} = 15,33[tn]$.

La cantidad acumulada máxima $P_{fo\ max}$ resulta:

$$P_{fo\ max} = P_{fo} \times 3[dias] = 15,33 \left[\frac{tn}{dia} \right] \times 3[dias] = 45,99[tn]$$

La densidad típica de los desechos de alimentos es de $d_{fo} = 900[lb/yd^3]$ (según *Tabla 4.5* del libro “*Desechos Sólidos - Principios de Ingeniería y Administración*” de *George Tchobanoglous*), por lo que el volumen correspondiente a esa cantidad de residuos será:

$$V_{fo\ max} = \frac{P_{fo\ max}}{d_{fo}} = \frac{45,99[tn]}{900[lb/yd^3]} = \frac{45990[kg]}{530[kg/m^3]} = 86,77[m^3]$$

Sabiendo que la capacidad del camión compactador es de $C = 6[m^3]$, y que la *Relación de Compactación* $R = 2,25$ (según *Tabla 6.1* del libro “*Desechos Sólidos - Principios de Ingeniería y Administración*” de *George Tchobanoglous*), la cantidad de camionadas $N_{fo\ max}$ en el día de mayor recolección será:

$$N_{fo\ max} = \frac{V_{fo\ max}}{C} = \frac{86,77[m^3]/2,25}{6[m^3/camion]} = 6,43 \cong 7[camionadas]$$

De las cuales 4 corresponden a la ciudad de San José del Rincón (que representa aproximadamente un 53% de la población total), 1 a la comuna de Arroyo Leyes (20%), y 2 a la comuna de Santa Rosa de Calchines (27%).

En los días de menor recolección, equivalente a la acumulación de 2 días, la cantidad acumulada mínima $P_{fo\ min}$ resulta:

$$P_{fo\ min} = P_{fo} \times 2[dias] = 15,33 \left[\frac{tn}{dia} \right] \times 2[dias] = 30,66[tn]$$

El volumen correspondiente a esa cantidad de residuos será:

$$V_{fo\ min} = \frac{P_{fo\ min}}{d_{fo}} = \frac{30,66[tn]}{900[lb/yd^3]} = \frac{30660[kg]}{530[kg/m^3]} = 57,85[m^3]$$

Y la cantidad de camionadas $N_{fo\ min}$ en los días de menor recolección será:

$$N_{fo\ min} = \frac{V_{fo\ min}}{C} = \frac{57,85[m^3]/2,25}{6[m^3/camion]} = 4,29 \cong 5[camionadas]$$

De las cuales 3 corresponden a la ciudad de San José del Rincón (que representa aproximadamente un 53% de la población total), 1 a la comuna de Arroyo Leyes (20%), y 1 a la comuna de Santa Rosa de Calchines (27%).

8.2.1.2. Fracción recuperable

La fracción de los Residuos Recuperables será recolectada 1 vez a la semana, los días martes.

Luego serán sometidos a un proceso de selección y acondicionamiento, y vendidos a aquellas empresas acopiadoras interesadas en adquirirlos.

Una de las alternativas posibles para el Consorcio, es la empresa que actualmente comercializa estos materiales con los recuperadores urbanos de la ciudad de San José del Rincón, *Romina Todoni*. La misma empresa que es la que comercia con la Planta Clasificadora de la municipalidad de Santa Fe y otras localidades de la zona. Tiene la característica de adquirir los materiales recuperados sea cual sea su estado, diferenciándose en el valor a abonar por los mismos.

De más está aclarar que se obtendrán mayores beneficios cuanto mejor y más detallada sea la clasificación, y en cuanto mejor estado se encuentren los materiales ofrecidos. Es por esto que resulta clave para el éxito del proceso el buen desempeño de los ciudadanos en la clasificación en origen como complemento del trabajo realizado por los operarios en la Planta Clasificadora. Materiales limpios y secos son los que mejores ganancias le brindarán a la Cooperativa.

Los materiales a clasificar básicamente son papel y cartón, vidrio, plástico y metales. Según el *Observatorio Nacional GIRSU*, la composición típica de esta fracción de residuos en Argentina se conforma de la siguiente manera:

- Papel y Cartón..... 17%
 - Plásticos..... 14%
 - Vidrio..... 5%
 - Metales..... 2%
-

Lo que arroja un total de..... 38%

Tomando como unidad la fracción de Residuos Recuperables (38%), los porcentajes indicados resultan:

- Papel y Cartón..... 45%
- Plásticos..... 37%
- Vidrio..... 13%

- Metales..... 5%

Lo que arroja un total de..... 100%

Por sobre la fracción de Residuos Recuperables.

De este 38% de RSU, se estima que se obtendrá para la comercialización un 25% considerando -tal como se mencionó precedentemente- una eficiencia combinada de generación, disposición inicial separada, recolección y procesamiento en planta.

Se adoptará para el cálculo la sub-clasificación realizada por la Planta Clasificadora de la ciudad de Santa Fe. En la *Tabla 8.2* se muestran las categorías:

Material	Sub-clasificación
Papel y Cartón	Cartón
	Papel archivo
	Papel blanco
	Tetrabrick
Plásticos	PET Cristal
	PET Verde
	Soplado
	Bazar
	Nylon
Metales	Cobre
	Aluminio (latas)
	Aluminio (desodorantes)
	Aluminio (mezcla)
	Baterías
Vidrio	Latas
	Vidrio

Tabla 8.2 | Sub-clasificación de materiales recuperables de la Planta Clasificadora de la ciudad de Santa Fe.-

Determinación de la cantidad necesaria de camiones

Para conocer la cantidad máxima de camiones que deberán descargar en un día se deberá considerar la fracción de residuos recuperables prevista para las tres localidades que conforman el Consorcio, para un período de 20 años.

Teniendo en cuenta que estos residuos serán recolectados 1 día a la semana, la cantidad acumulada máxima a transportar será la correspondiente a 7 días.

La cantidad diaria estimada para el año 2036 corresponde a $P_R = 11,65[tn]$.

La cantidad acumulada máxima $P_{R\ max}$ resulta:

$$P_{R\ max} = P_R \times 7[dias] = 11,65 \left[\frac{tn}{dia} \right] \times 7[dias] = 81,55[tn]$$

La densidad del residuo que viene en el camión compactador es de $d_R = 500[lb/yd^3]$ (según *Tabla 4.5* del libro “*Desechos Sólidos - Principios de Ingeniería y Administración*” de *George Tchobanoglous*), por lo que el volumen correspondiente a esa cantidad de residuos será:

$$V_R = \frac{P_R}{d_R} = \frac{81,55[tn]}{500[lb/yd^3]} = \frac{81550[kg]}{295[kg/m^3]} = 276,44[m^3]$$

Sabiendo que la capacidad del camión compactador es de $C = 6[m^3]$, la cantidad de camionadas N_R el día de recolección será:

$$N_R = \frac{V_R}{C} = \frac{276,44[m^3]}{6[m^3/camion]} = 46,07 \cong 47[camionadas]$$

De las cuales 24 corresponden a la ciudad de San José del Rincón (que representa aproximadamente un 53% de la población total), 9 a la comuna de Arroyo Leyes (20%), y 14 a la comuna de Santa Rosa de Calchines (27%).

8.2.1.3. Fracción irrecuperable

La fracción de los Residuos Irrecuperables también será recolectada 1 vez a la semana, los días jueves.

Esta fracción tendrá como destino el Relleno Sanitario. De todas maneras, al inicio del proyecto, se pasará esta fracción por la Planta Clasificadora al igual que las otras dos fracciones, ya que se estima que la clasificación en origen alcance la eficiencia prevista no antes de pasado un determinado tiempo en la incorporación de los nuevos hábitos, reforzados por las campañas de educación y concientización.

Determinación de la cantidad necesaria de camiones

Para conocer la cantidad máxima de camiones que deberán descargar en un día se deberá considerar la fracción de residuos irrecuperables prevista para las tres localidades que conforman el Consorcio, para un período de 20 años.

Teniendo en cuenta que la materia orgánica será recolectada 1 día a la semana, la cantidad acumulada máxima a transportar será la correspondiente a 7 días.

La cantidad diaria estimada para el año 2036 corresponde a $P_{RI} = 3,68[tn]$.

La cantidad acumulada máxima $P_{RI\ max}$ resulta:

$$P_{RI\ max} = P_{RI} \times 7[dias] = 3,68 \left[\frac{tn}{dia} \right] \times 7[dias] = 25,76[tn]$$

La densidad típica de este residuo en el camión compactador viene dada por los datos proporcionados en el apartado *Diagnóstico*, donde indica que $d_{RI} = 500[kg/m^3]$. El volumen correspondiente a esa cantidad de residuos será:

$$V_{RI\ max} = \frac{P_{RI\ max}}{d_{RI}} = \frac{25760[kg]}{500[kg/m^3]} = 51,52[m^3]$$

Sabiendo que la capacidad del camión compactador es de $C = 6[m^3]$, la cantidad de camionadas N_{RI} en el día de recolección será:

$$N_{RI} = \frac{V_{RI\ max}}{C} = \frac{51,52[m^3]}{6[m^3/camion]} = 8,59 \cong 9[camiones]$$

De las cuales 5 camiones corresponden a la ciudad de San José del Rincón (que representa aproximadamente un 53% de la población total), 2 a la comuna de Arroyo Leyes (20%), y 2 a la comuna de Santa Rosa de Calchines (27%).

8.2.2. Diseño de los elementos componentes del tratamiento de RSU

Se desarrolla a continuación el diseño y dimensionamiento de todos los elementos componentes necesarios para el tratamiento de las 3 fracciones de RSU, dentro de la Planta Clasificadora y del área de Biodigestión.

8.2.2.1. Tolva de recepción

La tolva se materializará en hormigón de cascotes de 10 [cm] de espesor, reforzado con una malla de acero electrosoldada. Se dimensionará para recibir una cantidad máxima de residuos equivalente a la descarga de 2 camiones simultáneamente. Cada camión compactador tiene una capacidad de 6 [m³], por lo que las dimensiones de la tolva para recibir 12 [m³] resultan las de la *Figura 8.4*:

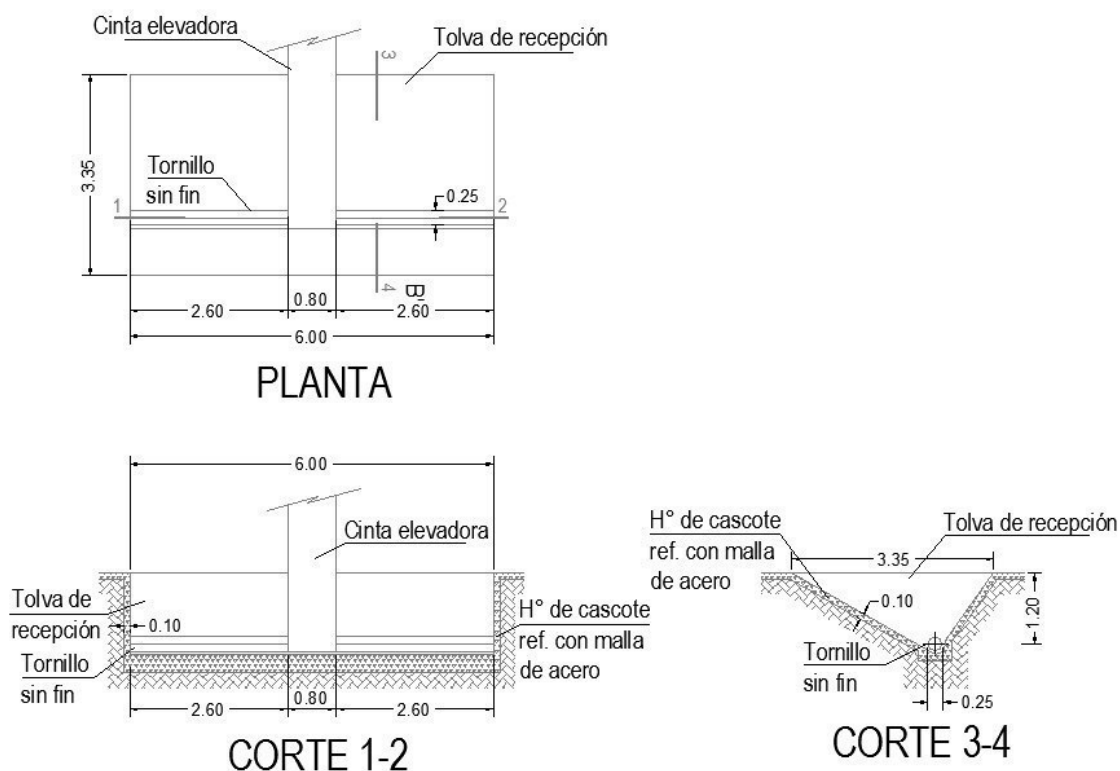


Figura 8.4 | Tolva de recepción.-

8.2.2.2. Tornillo sin fin

Se colocarán en el fondo de la tolva de recepción, dos tornillos sin fin con el objetivo de trasladar el residuo descargado en la misma hacia la cinta elevadora. Estos tornillos serán de espiral hueca de diámetro $d = 10'' = 0,25[m]$. El paso p en este tipo de tornillos es igual al diámetro, $p = d$. En la *Figura 8.5* se muestra un esquema del tornillo.

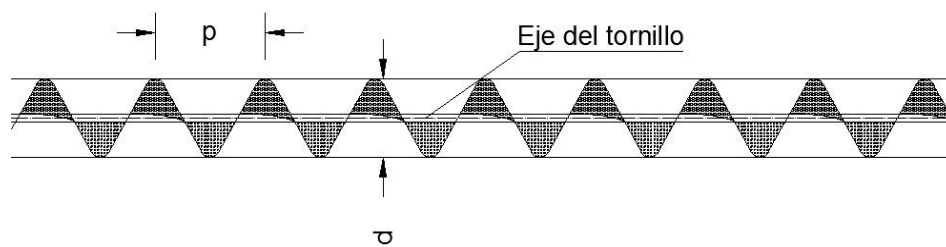


Figura 8.5 | Tornillo sin fin.-

En el *Anexo 14.1.2* se detalla el procedimiento de cálculo para la determinación de la potencia necesaria del motor, para que gire a la velocidad necesaria según los requerimientos.

Se adopta un motor de 5[CV] de manera de garantizar el correcto funcionamiento del tornillo.

8.2.2.3. Cinta elevadora y transportadora

Se determinarán las características técnicas de las cintas tales como el ancho, número y tipo de telas, calidad y espesor de la goma de cobertura en función del material a transportar, de la capacidad horaria y de la disposición y longitud de la cinta. Se sugiere para ello la adopción de las cintas ofrecidas por la marca comercial "Pirelli". Se utilizará para el dimensionamiento el catálogo proporcionado por el fabricante, denominado "*Manual de cálculo de cintas transportadoras*", el cual se basa en el cálculo de la potencia absorbida por la cinta. Se adjunta en el *Anexo 14.3.6* dicho catálogo.

En el *Anexo 14.1.3* se detalla el procedimiento de cálculo.

Este método es válido en el campo de las cintas más usuales, de rodillo sobre cojinetes de bolas y cabeza motriz adelante, con características de construcción y mantenimiento normales. Los coeficientes adoptados en las distintas tablas permiten un amplio margen de seguridad.

En la *Figura 8.6* se muestra un esquema de la cinta.

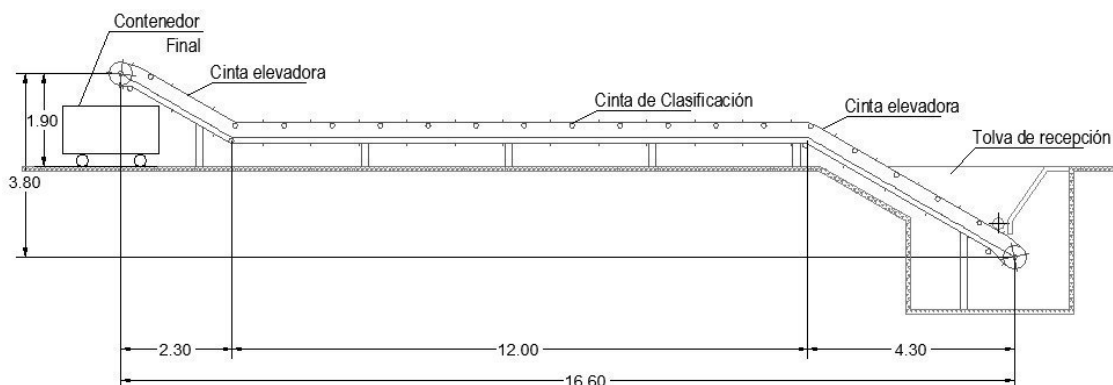


Figura 8.6 | Cinta elevadora.-

El ancho se determina en 1 [m] por cuestiones de practicidad a la hora de clasificar el material, de manera de garantizar la comodidad de los operarios. A su vez, por las mismas razones y con el objetivo de facilitar el trabajo, se adopta una cinta plana.

8.2.2.4. Compactadores

Luego de separados los distintos materiales recuperables en la cinta clasificadora, serán introducidos en las prensas de manera de lograr fardos de 1,20 x 0,75 x 1,20 [m].

Estos fardos serán almacenados hasta el momento de su comercialización, en el sector dentro de la planta diseñado para ello.

A modo de sugerencia, se muestran compactadores de la marca comercial “DEIS.A.”, los que poseen una fuerza de compactación de hasta 30[tn].

En la *Figura 8.7* se muestra un compactador de dicha marca.



Figura 8.7 | Compactador de materiales recuperables.-

8.2.2.5. Molino

Una vez separada la materia orgánica en la cinta clasificadora, es decir, apartados todos aquellos materiales que no deben ingresar al biodigestor, se trasladada desde la planta clasificadora hacia la zona del biodigestor la foRSU en un contenedor móvil.

Allí se ingresan en el molino con el fin de reducir el tamaño de las partículas, de manera de acelerar el proceso dentro del biodigestor. La molienda es un factor fundamental en este tipo de tratamiento, haciendo una molienda adecuada -lo más fina posible- se obtiene luego una digestión rápida y con gran desarrollo de gases.

Por el contrario, si la molienda es demasiado gruesa no solo la digestión se hace más lenta, con lo cual un volumen del digestor se hace insuficiente, sino que también el porcentaje de materia orgánica reducida es menor, y en consecuencia será menor la cantidad de gases aprovechables. Además se sacan como barros digeridos, unos cienos más ricos en contenido volátil y a medio digerir que puede producir olores nauseabundos. También

resulta más factible la formación de espumas espesas, lo cual es una de las mayores dificultades en el funcionamiento de los digestores.

La foRSU es un material sumamente heterogéneo, lo cual hace de su molienda un serio problema. Sin embargo, se construyen molinos adaptados especialmente para triturarla en forma tal que luego puede ser introducida en el biodigestor, y se los denomina *molinos de martillos*.

Para su correcto funcionamiento se debe incorporar a la cámara de molienda abundante agregado de agua. Dicha cámara está cerrada inferiormente por un emparillado de barras de sección trapezoidal, y de cuya separación dependerá el tamaño de las partículas.

En el *Anexo 14.1.4* se determina la adopción del equipo y sus características, así como la cantidad de agua a incorporar al proceso de molienda.

Se sugiere para esta instalación la adopción un molino a martillos ofrecida por la marca comercial “CMMAC”, modelo PC300x400.

La cantidad de agua a agregar por cada [kg] de foRSU será de 0,457 [lts].

8.2.2.6. Bomba centrífuga 1

Una vez logrado el licor en el molino, con el tamaño de partículas deseado y el porcentaje necesario de sólidos totales, se envía al tanque pulmón por medio de una bomba centrífuga especial para el bombeo de líquidos espesos o suspensiones, de discos rotores de álabes abiertos.

Para la colocación de la misma se deberá construir próximo al molino, un pozo de bombeo donde se realizará la instalación del equipo. La profundidad del pozo será de 1,20 [m], con lo cual se garantiza la alimentación de la bomba por simple gravedad, teniendo en cuenta que el molino se encuentra a nivel del suelo y se prolonga unos 0,70 [m] en profundidad.

En el *Anexo 14.1.5* se detalla el procedimiento de cálculo necesario para determinar la potencia necesaria de la bomba.

Se adopta una bomba cuya potencia es igual a $P = 0,75[CV]$.

8.2.2.7. Tanque pulmón

Antes de ser enviada a la digestión, la pulpa pasará a un depósito cuyo objetivo principal es servir de regulador para la alimentación de los digestores, ya que el ingreso de materia orgánica se producirá 3 veces por semana y el funcionamiento del biodigestor debe ser continuo. Además durante la marcha de la instalación pueden producirse momentáneas interrupciones en la molienda, o simplemente fluctuaciones en el caudal de barros.

En este tanque se producirá además, una decantación primaria de las partículas más pesadas como arenas o similar. Por otra parte, en este depósito se producirá un calentamiento previo al realizado dentro del digestor primario, especialmente durante las estaciones frías, de manera de no introducir inconvenientes en la digestión, como formación de espumas espesas y disminución de los rendimientos.

Este depósito se construirá en bloque con el depósito de agua caliente que se utilizará para la calefacción del propio tanque y del digester primario.

El depósito pulmón será de hormigón armado y estará recubierto interiormente por material impermeable.

Además contará con una tapa hermética que garantice que no escapen olores nauseabundos a la atmósfera. La misma estará provista de un sistema de venteo seguro ante la posibilidad -mínima- de generación de gases dentro de él.

En el *Anexo 14.1.6* se detalla el procedimiento de cálculo para determinar la cantidad de agua a agregar en el tanque pulmón, y en consecuencia las dimensiones del mismo. Además se define la cantidad de calor a incorporar para precalentamiento del licor.

La cantidad de agua a incorporar por cada [kg] de foRSU será de 1,108[*lts*], y el volumen del tanque 95,25[*m*³].

Se adopta un tanque de dimensiones como las que se muestran en el *Anexo 14.2.21*.

8.2.2.7.1. Barros de decantación

Se acumulará en la tolva del decantador, los materiales que por su peso hayan precipitado hacia el fondo del tanque. Este material deberá ser extraído una o dos veces al año mediante una bomba peristáltica especial para lodos, además de realizar un lavado a contrapresión con la ayuda de un compresor de aire.

8.2.2.8. Bomba centrífuga 2

La alimentación del biodigester se realiza en forma diaria, enviando el licor con el 8% de ST desde el tanque pulmón mediante una bomba centrífuga especial para el bombeo de líquidos espesos o suspensiones, de discos rotores de álabes abiertos.

La instalación de la bomba se realizará en un pozo de bombeo de 2,25 [m] de profundidad, de manera de garantizar su alimentación por simple gravedad, teniendo en cuenta que el tanque pulmón se encuentra enterrado 1,75 [m].

En el *Anexo 14.1.7* se detalla el procedimiento de cálculo necesario para determinar la potencia necesaria de la bomba.

Se adopta una bomba cuya potencia es igual a $P = 0,75[CV]$.

8.2.2.9. Biodigester

Se considera -según el *Ing. Groppelli*- que entre un 85 a 90% de los sólidos totales (ST) de la materia orgánica son sólidos volátiles (SV). El restante 10% a 15% está compuesto por cenizas, que entrarán al biodigester y saldrán sin haber sufrido transformación alguna como materia mineral incorporada a la materia orgánica.

Numéricamente, por cada tonelada de foRSU ingresada 190[*kg*] son ST. De estos 190[*kg*] de ST -tomando 90% de SV- 171[*kg*] son SV y 19[*kg*] son cenizas.

Sin embargo, no resulta económicamente viable lograr una reducción de 100% de los sólidos volátiles dentro del biodigestor, ya que para reducir las últimas porciones de se requiere mucho tiempo de permanencia de la materia orgánica dentro del digestor, lo cual se traduce en un gran volumen del mismo.

Para lograr una reducción completa -industrialmente hablando-, el período requerido para la estabilización se encuentra entre 20 y 30 días, hasta 2 o 3 veces dichos valores, en función de la composición del material y de la temperatura a la que se desarrolle el proyecto.

En función de la *Tabla 8.3*:

Temperatura (°C)	10	15	20	25	30	35
Tiempo de Digestión Recomendado (Días)	90	60	45	32	30	25

Tabla 8.3 | Tiempos de digestión recomendados.-

Y teniendo en cuenta que la temperatura media anual del digestor rondará los 25°C ya que contará con calefaccionamiento en épocas invernales, se adopta $p = 32[dias]$. Se admite que en ese lapso de tiempo la digestión se habrá completado industrialmente. Así mismo, se admite que la producción de biogás en ese período, es proporcional al tiempo transcurrido.

Recordando entonces:

- Cantidad de foRSU diaria estimada para el año 2036 (considerando 60% de eficiencia en la clasificación en origen):

$$P'_{fo} = 9,20[tn] = 9200[kg]$$

- Densidad típica de los desechos de alimentos (según *Tabla 4.5* del libro “*Desechos Sólidos - Principios de Ingeniería y Administración*” de *George Tchobanoglous*):

$$d_{fo} = 900[lb/yd^3] = 530[kg/m^3]$$

- Cantidad de agua a incorporar en el proceso de molienda por cada [kg] de foRSU:

$$R_m = 0,457[lts/kg]$$

- Cantidad de agua a incorporar en el tanque pulmón por cada [kg] de foRSU:

$$R_{tp} = 1,108[lts/kg]$$

El volumen del biodigestor V_B será:

$$V_B = \left(\frac{P'_{fo}}{d_{fo}} + R_m \times P'_{fo} + R_{tp} \times P'_{fo} \right) \times p = P'_{fo} \times \left(\frac{1}{d_{fo}} + R_m + R_{tp} \right) \times p$$

$$V_B = 9200[kg/dia] \times \left[\frac{1}{530[kg/m^3]} + \left(0,457 \left[\frac{lts}{kg} \right] + 1,108 \left[\frac{lts}{kg} \right] \right) \times \frac{1[m^3]}{1000[lts]} \right] \times 32[dias]$$

$$V_B = 1016,32[m^3]$$

Se propone la construcción de un sistema de 2 módulos de biodigestores en paralelo.

Así se implementará uno al comienzo de la operación del Complejo Ambiental, y el segundo cuando la cantidad diaria de residuos supere la capacidad del primero.

Esto se debe a que la generación es menor al inicio de la implementación del proyecto -ya que la población es menor-, y que además la eficiencia en la clasificación en origen tendrá en sus inicios valores menores a los esperados (alrededor del 35%).

Se estima que el porcentaje de eficiencia en la clasificación irá en aumento con el correr del tiempo y de la implementación de las campañas de concientización, de la incorporación gradual de los nuevos hábitos propuestos para la población, y su transformación en generadores responsables y conscientes de su rol en el medio, de manera de alcanzar los porcentajes estimados.

Es entonces que se pondrá en funcionamiento el segundo módulo, cuando los caudales diarios lo requieran.

Así, el volumen correspondiente a cada módulo V'_B será:

$$V'_B = \frac{V_B}{2} = \frac{1016,32[m^3]}{2} = 508,16[m^3]$$

A su vez, cada módulo estará compuesto por 2 digestores de igual capacidad dispuestos en serie. Cada digestor tendrá un volumen V''_B igual a:

$$V''_B = \frac{V'_B}{2} = \frac{508,16[m^3]}{2} = 254,08[m^3]$$

Se proponen digestores de forma cilíndrica con una relación diámetro/altura de 2/3. Por lo tanto las dimensiones de los digestores resultan:

$$V''_B = \frac{\pi \times d^2}{4} \times h = \frac{\pi \times d^2}{4} \times \left(\frac{3}{2} \times d\right) \rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{8}{3} \times \frac{V''_B}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{8}{3} \times \frac{254,08[m^3]}{\pi}} = 6,00[m]$$

$$h = \frac{3}{2} \times d = \frac{3}{2} \times 6,00[m] = 9,00[m]$$

En el segundo digestor de cada módulo se colocará una tela plástica de PVC termosellada que hace las veces de gasómetro hinchable, de manera de garantizar una presión constante en todo el sistema. Asumiendo que adopta forma semiesférica, el volumen que almacena dentro viene dado por:

$$V_E = \frac{1}{2} \times \left[\frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^3 \right] = \frac{1}{2} \times \left[\frac{4}{3} \times \pi \times \left(\frac{6,00[m]}{2}\right)^3 \right] = 56,55[m^3]$$

Calor necesario

El licor dentro del tanque pulmón será calefaccionado mediante una serpentina que lleva en su interior agua caliente a 90°C, la cual proviene de una caldera a baja presión que funciona gracias al calor creado en la micro-turbina de cogeneración. Para conocer la cantidad de calor necesario a suministrar C , se emplea la siguiente ecuación:

$$Q = Q_m \times C_e \times \Delta T$$

Donde:

- Q_m es el caudal másico del fluido a calentar, en $[kg/h]$. $Q_m = 2950,07[kg/h]$.
- C_e es el calor específico del fluido, en $\left[\frac{kcal}{kg \times ^\circ K}\right]$. $C_e = 1 \left[\frac{kcal}{kg \times ^\circ K}\right]$.
- ΔT es el salto de temperatura a realizar.

$$\Delta T = t_2 - t_1$$

Siendo:

- t_1 la temperatura mínima de entrada de los barros, en $[^\circ C]$. Sabiendo que el licor viene precalentado del tanque pulmón, se tiene $t_1 = 15[^\circ C]$.
- t_2 la temperatura a elevar por los barros mediante la calefacción, en $[^\circ C]$. Para garantizar que la digestión se produzca en el tiempo estimado, se elevará la temperatura del licor hasta $t_2 = 25[^\circ C]$.

$$\Delta T = t_2 - t_1 = 25[^\circ C] - 15[^\circ C] = 10[^\circ C]$$

Teniendo en cuenta posible pérdidas de calor que puedan producirse, se admite para el cálculo un salto de $\Delta T = 12[^\circ C] = 12[^\circ K]$.

Por lo tanto el calor necesario Q será:

$$Q = 2950,07 \left[\frac{kg}{h}\right] \times 1 \left[\frac{kcal}{kg \times ^\circ K}\right] \times 12[^\circ K] = 35400,84 \left[\frac{kcal}{h}\right]$$

Agitación

Para asegurar una correcta digestión, un licor homogéneo dentro del digestor, una buena distribución del calor -de manera de garantizar que el proceso se produzca en el periodo previsto-, y además prevenir la formación de espumas, se dispondrán dentro de cada uno de los digestores agitadores de eje vertical que girarán constantemente a baja velocidad, los cuales serán accionados por un motor de 5[HP].

En el *Anexo 14.2.7* se muestra un esquema de un módulo con sus 2 digestores dispuestos en serie.

Generación de biogás

El gas generado dentro de los digestores será:

- Según el *Manual del Biogás* de *María Teresa Varnero Moreno*, se producen de $0,40[m^3]$ a $0,70[m^3]$ de biogás por cada $[kg]$ de sólidos volátiles.
- Según el *Ing. Gropelli* por cada $[kg]$ de sólidos volátiles de foRSU, se generarán $0,585[m^3]$ de biogás.

Se tomará por tanto el valor dado por el *Ing. Gropelli*, ya que es un dato más preciso aplicado a la materia prima en función de la cual se genera el biogás, y además oscila en un valor promedio entre los dados por el *Manual del Biogás*.

De las 9,20[tn] diarias foRSU:

- 1,75[tn] serán sólidos totales (19%).
- 1,57[tn] serán sólidos volátiles (90% de ST).

Por lo tanto, la cantidad de biogás generado diariamente B_G será:

$$B_G = 0,585 \left[\frac{m^3}{kg} \right] \times 1,57[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} = 918,45[m^3]$$

Este gas se transportará desde el gasómetro hacia la cabina de purificación por simple desplazamiento propio ya que su densidad es aproximadamente un 80% de la densidad del aire.

Lodos de digestión

Se generarán dentro de los digestores -además del biogás- barros propios de la digestión, compuestos en parte por material inorgánico -es decir, las “cenizas”- y compuestos orgánicos resistentes. Estos barros serán extraídos diariamente mediante una bomba peristáltica especial para lodos.

La cantidad de barros se estima en función del porcentaje no digerido de materia orgánica, el cual viene dado por la diferencia entre ST y SV. Tomando la relación porcentual, resulta:

$$C = ST - SV = 1 - 0,90 = 0,10 = 10\%$$

Del total diario de ST (1,75[tn]), las cenizas resultan:

$$C = 0,10 \times ST = 0,10 \times 1,75[tn] = 0,175[tn] = 175[kg]$$

Sobrenadante

A su vez, el licor presente en el 2º Digestor, el cual ya ha cumplido su función, debe ser extraído para dar lugar al nuevo material a digerir. Este líquido podría ser utilizado como mejorador de suelos, pero su aplicación se encuentra restringida a la relación establecida en la *Tabla 8.4*, extraída del documento “*Biodigestor anaeróbico para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos en pequeñas comunidades*” del *Ing. Eduardo S. Groppelli y otros*:

Abonación	Lts / Ha. * año
Pobre	20.000
Media	40.000
Fuerte	50.000
Muy Fuerte	60.000

Tabla 8.4 | Diferentes aportes de abono.-

Para las cantidades que se manejan en este Complejo (aproximadamente 20000 [lts] de licor diariamente), y teniendo presente que no se dispone de gran superficie de terreno como para poder aplicar este mejorador de suelos, no es posible darle este destino.

Se propone entonces un tratamiento que complete la estabilización, para poder de esta manera lograr la carga orgánica necesaria que permita volcar este fluido a un curso de agua

natural, similar al utilizado en el tratamiento de lixiviados del Relleno Sanitario, es decir, un tratamiento aeróbico mediante *Biodiscos*.

En el *Anexo 14.2.8* se adjunta un esquema del funcionamiento de los Biodigestores.

8.2.2.9.1. Purificación del Biogás

Para poder utilizar el gas obtenido en la generación de energía eléctrica es necesario eliminar el ácido sulfhídrico, ya que es altamente corrosivo y produce serios daños en los equipos e instalaciones, arruinándolos completamente en corto tiempo. Los generadores de energía eléctrica operan con rangos de H₂S entre 50 y 100 ppm.

El dióxido de carbono no presenta inconvenientes para este uso, por lo que su eliminación del biogás no se considera necesaria en este caso.

Para la eliminación del sulfhídrico se utilizará el proceso de oxidación en seco, el cual es altamente eficiente para contenidos bajos de H₂S. En el caso del biogás generado dentro del biodigestor a partir de foRSU, se estima que el H₂S no supera el 1%.

Este proceso consiste en introducir una corriente de aire dentro del sistema de biogás, mediante una bomba de aire. El oxígeno presente en el sistema oxida el H₂S a azufre elemental, disminuyendo su concentración hasta en un 95% a menos de 50ppm, obteniéndose un gas de alta pureza.

Se trata de un proceso muy sencillo en cuanto a montaje y mantenimiento, y de bajo costo de inversión y operación, ya que no se precisan equipamientos especiales ni productos químicos.

Por otra parte, uno de los métodos más utilizados para la eliminación de H₂S es la adsorción sobre una superficie fija -también llamados de lecho seco-, generalmente sólidos granulares con grandes superficies por unidad de volumen, por ejemplo carbón activado. Se trata de un proceso físico, cuyo diseño es relativamente sencillo y es fácil de operar. Pero es un proceso costoso, con altas caídas de presión y altos requerimientos de calor.

8.2.2.9.2. Generación de energía

Como se mencionó precedentemente, al enumerar las características del biogás, para una riqueza en metano del 60%, el poder calorífico ronda las 5250[kcal/m³], esto es 6,102[kWh/m³].

Para una producción diaria de $B_G = 918,45[m^3]$, la generación de energía E viene dada por:

$$E = C_B \times B_G = 6,102 \left[\frac{kWh}{m^3} \right] \times 918,45 \left[\frac{m^3}{dia} \right] = 5604,38 \left[\frac{kWh}{dia} \right] = 233,52 \left[\frac{kWh}{h} \right] = 233,52[kW]$$

Se adopta para la cogeneración 2 micro-turbinas de 120[kW] de potencia dispuestas en paralelo, cada una correspondiente a un módulo de Biodigestores, conectadas a un generador eléctrico asíncrono con regulador de velocidad -cuyo fin es el de producir tensión a 50 [Hz] de frecuencia-. Se trata de máquinas de combustión basadas en el mismo principio que las turbinas convencionales pero simplificando los elementos mecánicos. Son elementos compactos y con pocas partes móviles, por lo que presentan menor coste de

mantenimiento, y además presentan menores emisiones atmosféricas y sonoras en relación con los motores térmicos. En la *Figura 8.8* se muestra la sección de un equipo que reúne las características mencionadas, de la marca comercial *Capstone - Modelo C65*. En el *Anexo 14.3.10* se adjunta un catálogo de dicha marca.



Figura 8.8 | Sección micro-turbina marca Capstone.-

Su funcionamiento es muy sencillo: se aspira aire que, tras pasar por un filtro de partículas, es comprimido e inyectado en la cámara de combustión. Allí se incorpora el biogás a una presión entre 3 y 5 [bar], y se produce la combustión de la mezcla. Los gases calientes producto de la combustión se expanden en la turbina que, al girar, mueve el alternador eléctrico y el compresor. Los gases de escape expandidos se hacen circular por el intercambiador de calor.

El sistema eléctrico estará compuesto por el generador asíncrono trifásico y un interruptor trifásico.

Para la puesta en servicio del equipo se cuenta con un motor eléctrico. Este motor aumenta las revoluciones de la turbina hasta que la unidad comienza a ser autónoma. En ese momento - aproximadamente a las 3000 [rpm]- se desconecta del eje de la misma.

Todo el equipamiento se encuentra controlado mediante sensores que permiten un funcionamiento seguro y constante del mismo. El sensor de vibraciones, ante un alto nivel de movimiento -que indica graves anomalías - permite cortar inmediatamente el suministro de biogás y parar el funcionamiento del equipo.

La micro-turbina posee una unidad de servicio que se compone de un sistema de lubricación y refrigeración con aceite a presión para los apoyos y cojinetes de la misma, y para los apoyos del generador eléctrico. Posee una bomba volumétrica de engranajes, filtro de aceite y un intercambiador de calor para acondicionar el aceite que se encuentra en circuito cerrado. Para garantizar un perfecto control, la unidad se encuentra instrumentada con sensores de temperatura, presión y caudal, acoplados a un sistema de alarmas.

El biogás es comprimido y luego, tras pasar por la Estación de Regulación y Medida (E.R.M.), es inyectado en la cámara de combustión.

Las principales funciones de la E.R.M. son:

- Regular la presión del biogás que se recibe en la turbina, de manera de que sea constante, dentro de un rango muy acotado.
- Regular la temperatura, para evitar la formación de hielo por la condensación del vapor de agua.
- Controlar la limpieza del gas, sin partículas que puedan ocasionar problemas.
- Corroborar el caudal y la composición del gas.

En la *Figura 8.9* se muestran partes componentes de una E.R.M.



Figura 8.9 | Partes componentes de una E.R.M.-

La estación de regulación y medida estará compuesta por los siguientes equipos:

- Filtros: limpian el gas de las posibles impurezas sólidas que se pudiesen arrastrar. Pueden ser de varios tipos: de cartucho, ciclónicos, etc. Además de los filtros anteriores se colocan otros antes de la turbina para conseguir un filtrado más fino.
- Válvulas reductoras de presión: si el gas tiene más presión de la que se necesita en la turbina, tendrá que atravesar unas válvulas reductoras de presión hasta ajustarse a la necesaria.
- Compresor para el aumento de presión: si por el contrario el gas tiene una presión inferior a la necesaria, será necesario comprimirlo.

Es posible que subsistan los dos sistemas (compresión y expansión) en la misma ERM, ya que la presión del gas puede fluctuar.

- Sistema de precalentamiento para elevar el punto de rocío: debe disponerse de un sistema de calefacción para evitar congelaciones del agua que pudiera contener el gas, ya que ante una expansión, el mismo pierde temperatura. Como efecto, la temperatura puede disminuir por debajo del punto de rocío, y el agua contenida podría congelarse.
- Sistema de calentamiento para la inyección del gas a turbina: antes de entrar en la turbina el gas -ya ajustado en presión- se calienta nuevamente para lograr una correcta combustión. Para este calentamiento suele tomarse vapor del ciclo, utilizando intercambiadores, o bien calentadores eléctricos.
- Caudalímetro y cromatógrafo: el caudalímetro medirá el volumen de gas consumido, y el cromatógrafo -debidamente calibrado- precisará el poder calorífico y la composición del gas.
- Filtro de partículas.
- Red interna de distribución a media presión.

Luego de pasar por la ERM, el aire aspirado para realizar la combustión, debe pasar por un filtro de aire que permite una alta pureza. Este filtro se compone de dos unidades en paralelo de filtros de mangas y una reja primaria en el acceso a los mismos.

Los gases calientes a salida de la micro-turbina -cuya temperatura ronda los 300°C- serán aprovechados en la caldera pirotubular de recuperación de calor. Allí el agua utilizada como fluido térmico, encargada de calefaccionar los 1° Digestores de cada módulo y el tanque pulmón, es precalentada en el primer recuperador -instalado en la base de la chimenea- donde los gases están a aproximadamente 105°C. El calentamiento final del agua se produce en el intercambiador de calor instalado en la entrada de los gases calientes que provienen de la salida de la turbina. De esta forma se obtiene agua a unos 130°C y una presión de saturación de 3 [bar]. El control del tiro de la chimenea se hará por medio de una válvula mariposa instalada a la salida de la misma.

En el arranque del proceso, el agua utilizada para calefacción será calentada en una caldera independiente del generador, hasta que se ponga en servicio todo el circuito.

El circuito de agua de calefacción está compuesto por un tanque y un sistema de adición de productos químicos, que evitan condiciones oxidantes en las tuberías y equipos. El sistema funcionará en circuito cerrado y se prevé una tubería para el aporte de agua de reposición.

Se debe asegurar el mantenimiento de todos los equipos e instalaciones que constituyen la planta, así como la calibración y mantenimiento de los equipos de inspección, y la limpieza de la planta. Para ello se realizarán mantenimientos mecánicos y eléctricos preventivos periódicamente.

La adopción de 2 equipos modulados responde a la premisa de mantener la eficiencia energética a cargas parciales. Esto es, la instalación de varias turbinas que puedan arrancar y parar en función de la cantidad de biogás, resulta más eficiente en comparación con la instalación de un solo motor de mayor tamaño, que tendría muchos problemas para seguir en funcionamiento a bajas cargas parciales. Además, con la modularidad se optimizan los costes de mantenimiento, ya que los equipos parados no computan mientras que un gran

equipo a una baja carga sigue contabilizando horas de operación, cuyo coste de mantenimiento repercutido por [kWh] generado será mayor.

Estos equipos tienen un rendimiento del 25%, por lo que la energía eléctrica E' generada viene dada por:

$$E' = 0,25 \times 5604,38 \left[\frac{kWh}{dia} \right] = 1401,10 \left[\frac{kWh}{dia} \right] = 58,38 \left[\frac{kWh}{h} \right] = 58,38[kW]$$

En el Anexo 14.2.9 se muestra un esquema del funcionamiento de la micro-turbina, con generación de energía eléctrica y calor, y su utilización.

Si bien la energía eléctrica generada será vendida a la EPESF, se preverá que la planta pueda trabajar en isla en caso de cortes del servicio por parte de dicha empresa.

A modo estimativo, se considera que para las localidades de la costa el consumo promedio diario de un hogar donde habita una familia tipo ronda los $e = 10[kWh]$ diarios. Con un excedente diaria igual a $E' = 1401,10[kWh/dia]$, podrían abastecerse:

$$N = \frac{E'}{e} = \frac{1401,10[kWh/dia]}{10[kWh/dia]} = 140,11 \cong 140[Hogares]$$

Se preverá para aquellas situaciones de parada del proceso o en que se presente alguna emergencia, una antorcha para realizar el venteo seguro del gas generado, de manera de garantizar que el metano no sea librado a la atmósfera.

Una alternativa en cuanto a la generación de energía eléctrica es utilizar un Generador a Biogás, como por ejemplo el ofrecido por la marca comercial “Aqua Limpia”. Esta empresa ofrece generadores de alto rendimiento eléctrico, y bajo consumo de biogás, con potencias desde $6[kW_e]$ hasta $500[kW_e]$. En la Figura 8.10 se muestra un modelo de esta marca. En el Anexo 14.3.11 se adjunta un catálogo de dicha marca.



Figura 8.10 | Generador de energía eléctrica a biogás.-

La planta tendrá una línea conectada con un centro de transformación, en el que se instala un transformador. El sistema eléctrico del complejo ambiental estará compuesto por sistemas unifilar, de alumbrado, centro de transformación, centro de control de motores y sistema de tierras. Todos provistos de las protecciones correspondientes.

8.3. Disposición final

8.3.1. Consideraciones iniciales

El terreno sobre el cual se dispondrán los residuos tiene forma irregular, con una superficie total de aproximadamente 6 hectáreas.

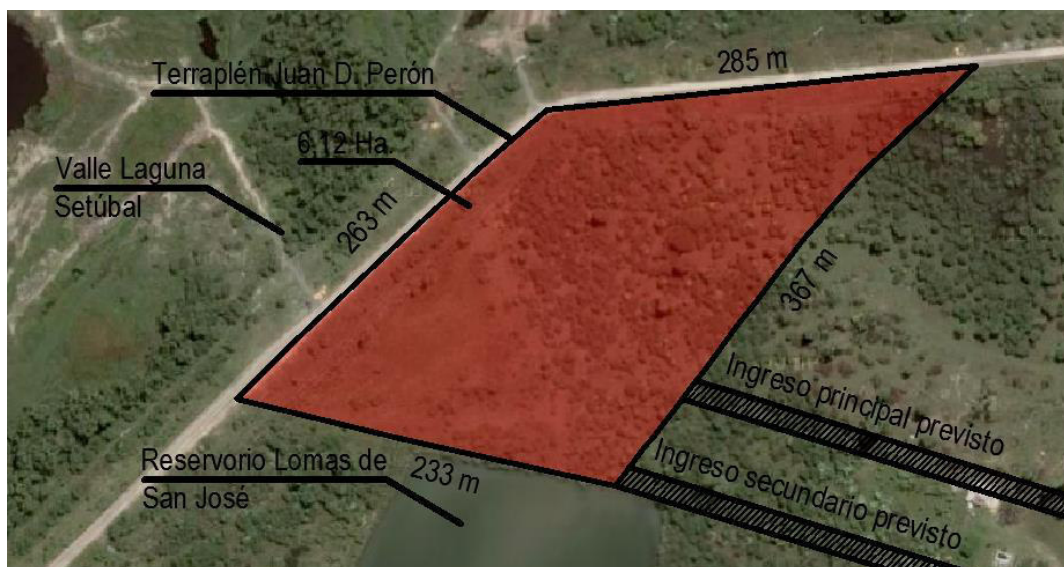


Figura 8.11 | Terreno para relleno sanitario.-

Todo el perímetro del terreno para disposición final debe ser cercado utilizando especies arbóreas de crecimiento rápido, buena altura y facilidad de adaptación al clima local - idealmente las especies sembradas deben ser autóctonas, de manera de compensar algunos de los impactos que produce la instalación del relleno favoreciendo el desarrollo de especies de aves locales-. Adicionalmente, un camino permanente de servicio para circulación de operadores, vehículos y equipos de movimientos de suelo debe ser construido bordeando los módulos, de manera de constituirse en una vía rápida y segura de ingreso y egreso.

Este camino perimetral, debe permitir a todos los vehículos una circulación segura y relativamente confortable independientemente de las condiciones climáticas, por lo que un estabilizado con cal o cemento podría ser una buena alternativa.

El ancho de toda la zona perimetral será de 20 metros, considerando el espacio para el control de la propagación horizontal del fuego -de 15 metros según la Resolución 128/2004 de la Provincia de Santa Fe-, y 5 metros para el emplazamiento del cerco y cortina forestal perimetral.

Los drenajes de aguas pluviales se ubicarán en la base de los módulos externos, y por gravedad, el agua será conducida hasta los pozos internos de bombeo; las aguas captadas de esta manera, serán luego impulsadas hasta el reservorio que sirve al loteo Lomas de San José, ubicada en un terreno adyacente. Este cambio inducido en la escorrentía superficial ocasionará una variación con respecto a los caudales de diseño del reservorio, por lo que sería necesario efectuar un nuevo cálculo de los equipos de bombeo, o efectuar una operación de bombeo más intensiva que absorba los caudales máximos durante las

tormentas de diseño, con el fin de no afectar el escurrimiento en ninguna de las zonas servidas.

8.3.2. Procedimiento expeditivo para la determinación del período de vida útil

El procedimiento más expeditivo para estimar el área necesaria para un relleno sanitario determinado, con la adopción de una vida útil, es la utilización del ábaco de la *Figura 8.12*.

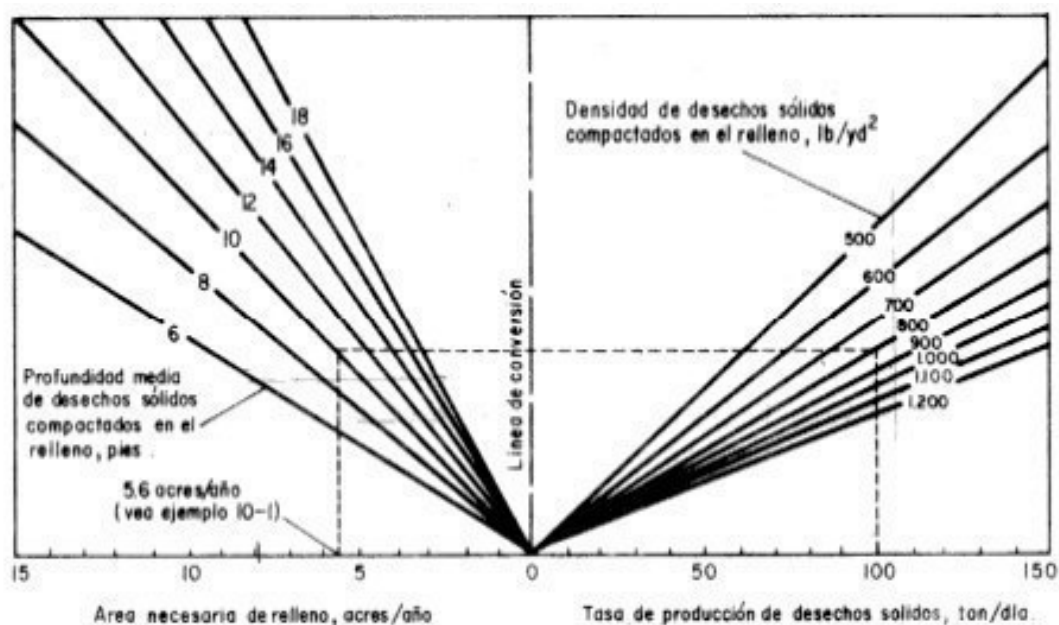


Figura 8.12 | Ábaco para la determinación de la superficie necesaria de un relleno sanitario.-

Lo más común es ingresar al ábaco por el eje de abscisas positivo, con el valor de generación total diaria; desde allí, trazar una semirrecta vertical hasta intersectar la serie de líneas correspondientes a la densidad prevista según los métodos de compactación disponibles; desde ese punto, y hacia la izquierda, trazar una semirrecta horizontal hasta la intersección con la línea correspondiente a la altura media de la masa de residuos, y desde allí hacia abajo hasta obtener el área anual necesaria. Luego, por una simple relación lineal, se puede determinar el área necesaria para obtener un relleno sanitario que tenga como vida útil al tiempo estipulado por el proyectista.

En nuestro proyecto, el proceso no será muy diferente, pero al tener la superficie como uno de los parámetros fijos, el objeto será conocer durante cuánto tiempo el predio puede mantenerse funcional. Dicho de otra forma, al tener prefijadas todas las otras condiciones, resta conocer el período de vida útil del relleno sanitario.

8.3.2.1. Generación diaria de residuos con disposición final

Está claro que no toda la producción de residuos tiene como destino el relleno sanitario. Una parte del total será reutilizado, ya sea a través de una reinserción en el mercado secundario de reciclados o como materia prima para la generación de energías alternativas.

Del total, entonces, tendremos que se reaprovecha:

- El 25% de los residuos recuperables o reciclables (considerando una eficiencia combinada de generación, disposición inicial separada, recolección y procesamiento en planta de los mismos)
- El 60% de los residuos orgánicos (haciendo la misma consideración anterior)

Enfocándonos ahora en qué parte del total no se aprovecha, y por lo tanto debe ser ubicada de manera de minimizar sus impactos sobre el medio:

- El 75% de los residuos recuperables o reciclables
- El 40% de los residuos orgánicos
- El 100% de los residuos no recuperables

Expresando los valores de cada fracción que en función del total, sería:

- $75\% \times 38\% = 28,50\%$ (*recuperables o reciclables*)
- $40\% \times 50\% = 20,00\%$ (*orgánicos*)
- $100\% \times 12\% = 12,00\%$ (*no recuperables*)

Y la sumatoria es:

$$R_{DF\%} = 28,50\% + 20,00\% + 12,00\%$$

$$R_{DF\%} = 60,50\%$$

Donde $R_{DF\%}$ es el porcentaje de residuos con disposición final en el relleno sanitario.

Ahora, con este valor determinado, es posible conocer la disposición final en relleno sanitario estimada para cada año, aplicando este porcentaje a la cantidad generada.

Podemos hacer uso de los valores extremos ya calculados para generación diaria, y suponer una variación aproximadamente lineal entre las cantidades asociadas a cada año.

8.3.2.2. Densidad de la masa de residuos compactados

Uno de los parámetros fundamentales para el proceso de dimensionamiento de un Relleno Sanitario es la cantidad de residuos generados. Pero la estimación de la misma no estaría concretada si sólo nos detuviéramos a analizar el peso de esos residuos; asociado a este valor, tendremos un volumen que condiciona la funcionalidad y utilidad del espacio disponible. Dicho de otra manera, el volumen ocupado por los residuos -que tendrán como disposición final el Relleno Sanitario- será, al menos al inicio del procedimiento de cálculo, la medida que definirá la utilidad o no de un terreno.

Para relacionar el peso de los residuos obtenido, haremos uso de densidades aproximadas. Como es lógico pensar, la densidad de los residuos es prácticamente indeterminable en forma teórica; por otro lado es inmensamente variable entre cada población observada, y aun dentro de la misma en distintos períodos de tiempo. Con todo esto, está claro que la densidad que se utilizará en esta etapa no es más que un promedio y una recopilación de experiencias que, a nuestro criterio, podrían guardar similitudes relevantes con nuestro caso.

Diferentes bibliografías consultadas citan diversos valores de Densidad de Residuos Sólidos Urbanos en función de su nivel de compactación y de su estado de estabilización. Los valores oscilan entre 400 kg/m³ y 1000 kg/m³ (incluso más para sistemas de compactación bastante avanzados tecnológicamente, no aplicables en estas localidades).

Haciendo un resumen de los datos recolectados de experiencias y análisis ejecutados sobre estructuras similares, podemos obtener la *Tabla 8.5*, que para esta instancia es suficiente:

Condición	Etapa	Densidad [kg/m ³]	
		Entorno	Utilizada
Suelta	Disposición inicial y recolección	200 a 300	200
Compactación manual	Luego de la compactación manual inicial (inmediatamente después de la disposición final - compactación en la celda)	400 a 500	400
Estabilizado manual (compactación manual)	Luego de que se produzca la estabilización de la fracción degradable y la compactación producto de la incorporación de capas superiores	600 a 650	600
Compactación mecánica	Luego de la compactación mecánica inicial (inmediatamente después de la disposición-compactación en la celda)	900 a 1000	950
Estabilizado mecánico (compactación mecánica)	Luego de que se produzca la estabilización de la fracción degradable y la compactación producto de la incorporación de capas superiores	950 a 1050	1000

Tabla 8.5 | Densidades según la condición del residuo.-

Con respecto al origen de estos valores, su obtención corresponde a promedios y/o entornos observados de las distintas bibliografías y fuentes consultadas. Al trabajar con rangos más o menos importantes (una variabilidad de entre el 10 y el 20%), pretendemos considerar una situación de la que no se han encontrado registros: como se expresó en la etapa de Análisis de la Situación Actual, el municipio de San José del Rincón efectúa la recolección y transporte de los residuos domiciliarios haciendo uso de vehículos con diferentes características desde el punto de vista de su acción sobre el residuo. Se dispone de sólo un camión recolector con compactador, que trabaja paralelamente con un camión volcador común y a veces hasta un tractor agrícola al que se le acopla un remolque. Por otro lado, las localidades que pretendemos incorporar a nuestro proyecto -Arroyo Leyes y Santa Rosa de Calchines- no cuentan con camiones compactadores para la recolección de sus residuos. Esto lógicamente genera grados de compactación muy variables, y por lo tanto lo más prudente sería manejar valores conservadores.

Para un procesamiento semi-mecanizado de los residuos, sería aceptable trabajar con una densidad aproximada de 750 kilogramos por metro cúbico.

8.3.2.3. Altura media

Para estimar la superficie necesaria para crear un Relleno Sanitario funcional y con una vida útil aceptable, uno de los pasos previos es determinar la altura máxima de enterramiento que se puede alcanzar sin sobrepasar la capacidad portante del suelo de fundación. Esta altura también se encuentra acotada por la capacidad de escalada de los equipos que operarán y circularán por el relleno, ya que las pendientes de la red de caminos deben permitir una circulación segura de todos los vehículos y operadores.

No se han podido obtener datos fehacientes de la capacidad portante de los suelos de la zona. La experiencia indica que una capa superficial de aproximadamente 0,70 metros de espesor se compone de arenas arcillosas principalmente, con muy baja cohesión y

problemas de estabilidad con altos contenidos de humedad. A mayor profundidad, la cohesión de los suelos aumenta, y también su resistencia. Se pueden encontrar arcillas relativamente blandas pero aptas para fundaciones no demasiado solicitadas.

Haciendo uso de un estudio de suelos de la ciudad de Santa Fe, se ha adoptado una tensión admisible del suelo de fundación de 13,4 toneladas por metro cuadrado.

Con este dato, y analizando el paquete constructivo del relleno sanitario, podremos obtener la altura máxima para el relleno sanitario. En la *Figura 8.13* se puede ver el paquete constructivo adoptado. Aquí tenemos todos los estratos con sus características determinadas, excepto el correspondiente a la masa de residuos y sus capas de cobertura y nivelación.

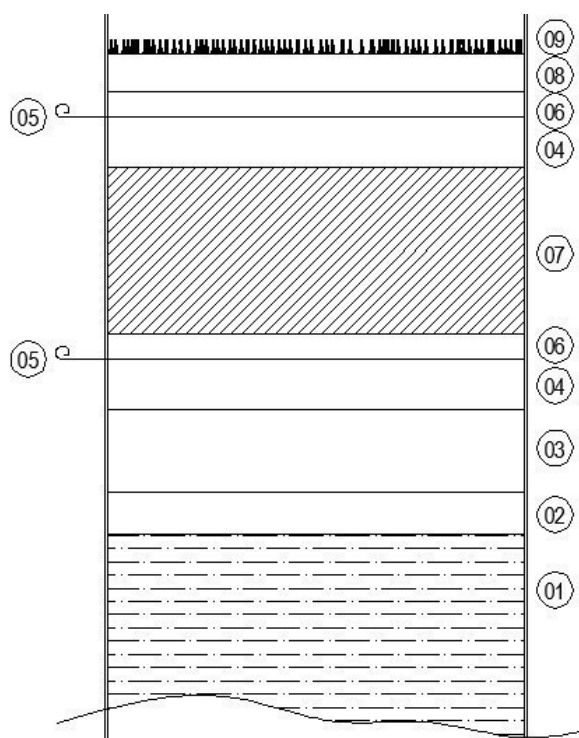


Figura 8.13 | Paquete inicial del relleno sanitario.-

Las referencias de la *Figura 8.13* se muestran en la *Tabla 8.6*:

N°	Estrato	Espesor [m]	Densidad [t/m³]
1	Suelo natural saturado por presencia de la napa freática	-	-
2	Suelo natural	0,50	1,88
3	Suelo de relleno (arena limpia)	1,00	1,95
4	Suelo de permeabilidad vertical menor que 1x10-7 cm/seg	0,60	1,72
5	Membrana de polietileno de alta densidad	0,0015	1,00
6	Suelo seleccionado de cobertura de la membrana y drenaje (arena limpia)	0,30	1,95
7	Masa de residuos y suelo de cobertura	varios	varias
8	Suelo enriquecido para crecimiento de vegetación	0,45	1,90
9	Capa superior vegetal	0,15	1,10

Tabla 8.6 | Referencias de la Figura 8.13.-

Se sabe que la sumatoria de las presiones que ejerce cada estrato sobre el suelo de la fundación no debe superar la tensión admisible determinada con el estudio de suelos. Con los espesores y las densidades de cada uno, resta conocer la presión que ejercerá el conjunto residuos-capas de cobertura -estrato 7-. La misma queda definida por dos variables: la altura de la celda diaria y la cantidad de capas o niveles de enterramiento.

Al mismo tiempo, la cantidad de niveles determina la cantidad de capas de cobertura que debe colocarse. Esta interacción entre las variables debe solucionarse con un proceso iterativo, adoptando diferentes alturas de celdas y cantidades de capas, y determinando para cada combinación la presión que se ejerce sobre la fundación, que no deberá superar a la admisible.

La presión de todo el paquete, excluyendo el correspondiente a los residuos y su tapada es según se muestra en la *Tabla 8.7*:

Estrato	Densidad [t/m³]	Espesor [m]	Δ presión [t/m²]
Suelo natural	1,88	0,50	0.940
Suelo de relleno (arena limpia)	1,95	1,00	1.950
Suelo de permeabilidad vertical menor que 1x10-7 cm/seg (x2)	1,72	0,60	1,692
Membrana de polietileno de alta densidad (x2)	1,00	0,0015	0.003
Suelo seleccionado de cobertura de la membrana y drenaje (arena limpia) (x2)	1,95	0,30	1.170
Suelo enriquecido para crecimiento de vegetación	1,90	0,30	0.570
Capa superior vegetal	1,10	0,15	0.165
TOTAL			6.490

Tabla 8.7 | Presión ejercida por cada estrato.-

Por lo tanto, la presión máxima que deberá ejercer el estrato 7 queda determinada por la diferencia:

$$\sigma_7 = \sigma_{adm} - \sigma^*$$

Donde:

σ_7 es la presión sobre el suelo de fundación ejercida por el conjunto residuos-capas de cobertura, en toneladas por metro cuadrado

σ_{adm} es la presión admisible del suelo de fundación, en toneladas por metro cuadrado

σ^* es la presión sobre el suelo de fundación ejercida por todos los estratos excluido el 7, en toneladas por metro cuadrado

$$\sigma_7 = 13,400 \frac{t}{m^2} - 6,490 \frac{t}{m^2}$$

$$\sigma_7 = 6,910 \frac{t}{m^2}$$

Efectuando una iteración entre los datos variables como se explicó antes, obtenemos la *Tabla 8.8*:

Capa	Densidad [t/m ³]	Espesor [m]	Cant. Capas	Δ presión [t/m ²]	Altura [m]	Presión estrato 7 [t/m ²]	Verifi.
Celda diaria	0.75	1.50	4	4.500	6.00	6.495	OK
Tapadas diarias	1.9	0.15	4	1.140	0.60		
Tapadas intermedias	1.9	0.15	3	0.855	0.45		

Tabla 8.8 | Presión total del paquete estructural.-

En la *Tabla 8.8*, la verificación consiste en una comparación de la presión obtenida en la iteración con la presión σ_7 obtenida antes.

$$\text{Presión estrato 7} < \sigma_7$$

Con el análisis hecho así, el paquete del relleno terminado queda como se ve en la *Figura 8.14*:

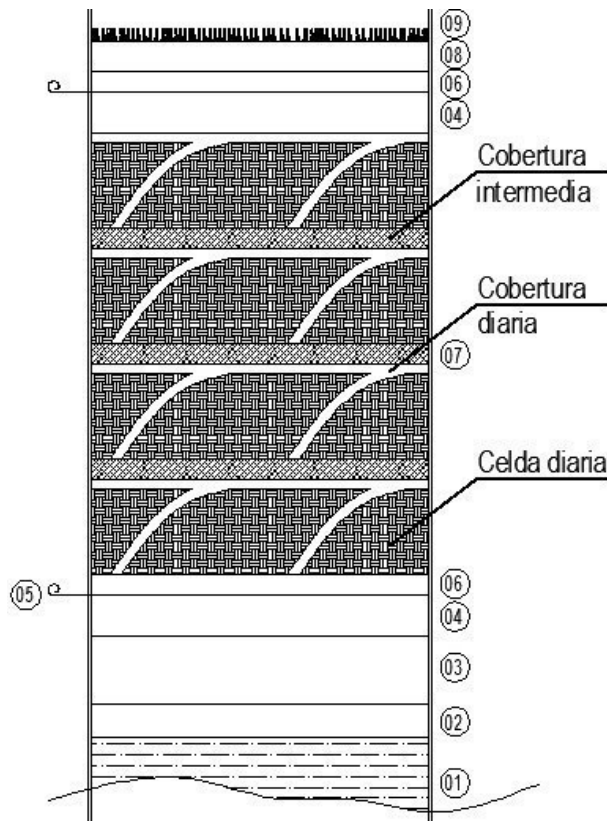


Figura 8.14 | Paquete estructural del relleno sanitario.-

Con esta altura máxima definida, vamos a obtener ahora la altura media.

Debemos analizar únicamente la altura de los residuos para determinar la altura media enterrada, por lo que el perfil del módulo de enterramiento sería como el de la *Figura 8.15* pero descartando las alturas de las coberturas diarias, intermedias y final.



Figura 8.15 | Perfil básico del módulo de enterramiento.-

Para encontrar una figura de área equivalente y altura uniforme, podríamos considerar un rectángulo de ancho igual a 45 metros y altura uniforme a determinar.

El área de la sección mostrada en la *Figura 8.15*, reducida únicamente a los residuos es de aproximadamente 170 metros cuadrados.

$$A = 170 \text{ m}^2$$

Con esto, el área del rectángulo, que debe ser igual, tendrá sus dimensiones definidas por

$$A_R = B \times h$$

Donde

A_R es el área del rectángulo equivalente, en metros cuadrados

B es el ancho de módulo de enterramiento, en metros

h es la altura media de la masa de residuos, en metros

$$h = \frac{A_R}{B}$$

$$h = \frac{170 \text{ m}^2}{45 \text{ m}}$$

$$h \cong 3,80 \text{ m}$$

8.3.2.4. Área necesaria - vida útil

Debido a la generación diferente para cada año -ya que la producción de residuos es función directa de la población-, debemos considerar que el área necesaria para disponer esos residuos es igualmente variable. Será creciente mientras las condiciones iniciales se mantengan; igualmente, parte de este proyecto contempla un plan de acción sobre las costumbres de la comunidad, orientado a incentivar la disminución de la generación de residuos.

Una manera de tener esta variación en cuenta, es utilizar el ábaco una vez para cada año analizado, cambiando únicamente el valor de entrada (tasa de generación diaria). Obtendríamos entonces un área necesaria para cubrir las necesidades de enterramiento para cada año analizado individualmente, y en consecuencia el valor del área total se alcanzaría mediante una sencilla sumatoria, extendida al área necesaria para todos los años.

Pero, como ya se mencionó, el área es un dato de proyecto, por lo que la sumatoria debería interrumpirse en el año en el cual la superficie disponible del predio se vea agotada.

De acuerdo a la disposición de los módulos y proyecto de redes de drenes y caminos, la superficie en planta útil de cada uno de ellos se resume en la *Tabla 8.9*:

Módulo	Área [m ²]
M1	9150
M2	7644

M3	7959
M4	8352
TOTAL	33105

Tabla 8.9 | Área de cada módulo de enterramiento.-

Introduciendo todas las consideraciones anteriores en una planilla de cálculo, obtenemos la *Tabla 8.10*, que muestra el área necesaria para cada año y la sumatoria parcial, consignado además, en la última columna, los años de servicio de cada módulo de enterramiento.

Año	Generación diaria t/día	Disp. Final (60,50%) t/día	Superficie anual acres	Superficie anual m ²	Sumatoria m ²	Verificación	Módulo
2018	22.594	13.669491	0.45	1812.99328	1812.993	OK	M1
2019	23.012	13.9224415	0.47	1889.88362	3702.877	OK	M1
2020	23.430	14.175392	0.49	1966.77396	5669.651	OK	M1
2021	23.849	14.4283425	0.51	2043.6643	7713.315	OK	M1
2022	24.267	14.681293	0.52	2120.55464	9833.87	OK	M2
2023	24.685	14.9342435	0.54	2197.44498	12031.31	OK	M2
2024	25.103	15.187194	0.56	2274.33532	14305.65	OK	M2
2025	25.521	15.4401445	0.58	2351.22566	16656.88	OK	M2
2026	25.939	15.693095	0.60	2428.116	19084.99	OK	M3
2027	26.463	16.01010371	0.61	2468.5846	21553.58	OK	M3
2028	26.929	16.29188922	0.62	2509.0532	24062.63	OK	M3
2029	27.395	16.57367474	0.63	2549.5218	26612.15	OK	M4
2030	27.860	16.85546026	0.64	2589.9904	29202.14	OK	M4
2031	28.326	17.13724577	0.65	2630.459	31832.6	OK	M4
2032	28.792	17.41903129	0.66	2670.9276	34503.53	NO	NO
2033	29.258	17.70081681	0.67	2711.3962	37214.92	NO	NO
2034	29.723	17.98260233	0.68	2751.8648	39966.79	NO	NO
2035	30.189	18.26438784	0.69	2792.3334	42759.12	NO	NO
2036	30.655	18.54617336	0.70	2832.802	45591.92	NO	NO

Tabla 8.10 | Tiempos de vida útil del relleno sanitario.-

Como se ve, y siempre que se cumplan las expectativas de generación y tratamiento previo de residuos, el área disponible servirá para cumplir los requerimientos de enterramiento de 14 años. En el caso de que los niveles de generación o eficiencia en el tratamiento no sean coherentes -más precisamente, sean superiores a los considerados en la etapa de diseño- con lo que se manifieste en la realidad, de todas formas la cantidad de años obtenida permite estimar que se alcanzaría una vida útil de, como mínimo, 10 años. El monitoreo debe ser permanente, de manera de conocer cómo se comportan la generación y disposición final comparadas con las suposiciones previas, y en todo caso actuar reforzando o instalando nuevas prácticas en alguna de las etapas previas a la disposición final.

8.3.3. Construcción y operación del Relleno Sanitario

Una de las premisas fundamentales en la operación de un relleno sanitario es la de reducir - ante la imposibilidad de evitar completamente- la generación del líquido lixiviado, o dicho de otra forma, el contacto de las aguas precipitadas con la masa de residuos.

En esta línea, será necesario cumplir estrictamente el plan de operación con respecto a las tapadas diarias y sus pendientes, operar correctamente el sistema de extracción del líquido lixiviado y construir pequeñas estructuras temporales perpendiculares a la dirección del flujo del percolado, similares a terraplenes de poca altura, para evitar el contacto de las aguas precipitadas con la zona de trabajo. De esta manera se obtiene la menor cantidad de líquido posible, y con eso un funcionamiento óptimo y seguro de las instalaciones de depuración.

Otro de los principios fundamentales de operación de este relleno sanitario será el de disminuir al mínimo posible las zonas de trabajo, de manera de concentrar las operaciones en la menor área, para optimizar los traslados y la construcción de la red de caminos temporales.

8.3.3.1. Preparación del terreno y elevación de los niveles

Se deberá efectuar un desmonte de la capa de suelo vegetal -aproximadamente los 0,20 metros superficiales-. Donde se encuentren troncos y raíces de importancia, será necesario removerlos para evitar hundimientos posteriores, cuando se produzca la descomposición de la madera.

El suelo que sea removido puede ser utilizado posteriormente como cubierta definitiva, ya que su contenido de nutrientes y su granulometría permiten un crecimiento rápido y constante de vegetación de poca altura. Por su gran permeabilidad, no puede ser usado directamente como cubierta diaria o intermedia, pero puede mezclarse con suelo arcilloso y obtenerse un suelo apto para esos fines.

Se deberá planear una obra de relleno que excede los límites de este documento. Por la gran cantidad de suelo necesario, un refulado podría funcionar de buena manera, teniendo en cuenta que los tiempos que requeriría otro tipo de trabajo de movimiento de suelos harían que los tiempos de obra sean demasiado dilatados.

8.3.3.2. Caminos perimetrales

Los caminos perimetrales serán perfilados de manera que el escurrimiento se produzca hacia los desagües laterales, evitando encharcamientos y buscando siempre condiciones seguras de circulación para los vehículos. Un estabilizado cementicio o con cal sería ideal, ya que se evitarían pérdidas de suelo y se mejoraría considerablemente su estabilidad frente a grandes niveles de humedad. Debemos considerar la transitabilidad todo el tiempo, ya que habrá una circulación muy importante de maquinaria pesada.

Preferentemente, no se deberían construir caminos temporales: para favorecer el orden del predio, la circulación se hará principalmente por los caminos perimetrales hasta acceder al módulo. Para eso, se deberá construir un cruce de los desagües pluviales -alcantarilla- y un acondicionamiento del terraplén de anclaje para permitir el ingreso seguro de los equipos al interior del módulo; lo mismo a la inversa, es decir, un acondicionamiento del talud interno del terraplén para permitir la circulación de la maquinaria.

El depósito de suelo se hará inicialmente sobre la zona destinada a los módulos M2, M3 y M4. Esto indudablemente ocasionará tránsito de maquinaria pesada sobre una zona que no estará dotada para dicha función. Es por ese motivo que el tránsito debe ser el mínimo

indispensable, preferentemente en los momentos en que el suelo del predio permanezca seco.

En todo momento el camino perimetral deberá permitir una circulación limpia, libre de obstáculos; queda prohibido su uso como estacionamiento o depósito de cualquier material, ya sea combustible o inerte.

8.3.3.3. Desagües pluviales

Idealmente, el sistema de desagües pluviales perimetrales debe estar operativo desde el primer día de uso del relleno sanitario, ya que aunque el perfil de los módulos aún no esté concluido, estos drenes serán los receptores de todos los excedentes que puedan generarse durante los años de explotación del relleno.

El canal revestido situado sobre el terraplén de anclaje T3 debe estar íntegramente construido al terminar el llenado del primer nivel de celdas en el módulo M1. Su construcción puede ser iniciada en el momento que logísticamente se considere adecuado, pero su operación debe ser, como máximo, inaugurada con el llenado de la primera celda del segundo nivel. Lo mismo ocurre con los T6 y T9, cuyo funcionamiento comienza con el segundo nivel de los módulos M2 y M3, respectivamente.

La conducción de los drenes tendrá pendiente hacia la esquina Suroeste del predio, donde se situará una pequeña laguna de reservorio -depresión del terreno, no demasiado extensa-, que se comunicará con un pozo de bombeo pluvial.

La red de drenes tendrá vinculación con esta laguna a través de una alcantarilla de caños de hormigón con una tapada adecuada. Sobre su entrada y salida, se construirán cabeceras de mampostería, con el objeto de evitar erosiones y señalar la presencia de la alcantarilla.

El pozo receptor de aguas será de mampostería común, con 2 metros de diámetro, 1,80 metros de alto -medidas internas- y base y tapa de hormigón armado. A un lado del mismo, se colocará una bomba para evacuar los caudales ingresados de acuerdo a una tormenta de diseño.

El destino de las aguas pluviales será la laguna de reservorio que actualmente sirve al Barrio Lomas de San José, conectada con el reservorio de la Estación de Bombeo Villa Añatí.

No se hará el dimensionamiento preciso de las conducciones ni de los equipos de bombeo de aguas pluviales. Nos limitaremos a efectuar un trazado de las canalizaciones y una propuesta de las dimensiones de las mismas, mas no realizaremos ninguna verificación hidráulica. Sería necesario efectuar un balance hídrico del agua precipitada sobre la zona del relleno, calcular los caudales escurridos y en base a ellos adoptar pendientes, secciones y materiales de los conductos.

8.3.3.4. Impermeabilización de los módulos

Una vez logrados los niveles esperados con el suelo de relleno -subbase-, se compactará la superficie y se dará la pendiente que finalmente tendrá el fondo del módulo, considerando además la ubicación de los drenes y sus pendientes.

Sobre el suelo de relleno, se colocará una mezcla de suelo arcilloso seleccionado -base-, preparado con impermeabilizante mineral tipo montmorillonita. Se deben efectuar ensayos con el fin de obtener una capa -con una altura y un contenido de impermeabilizante determinados- de mezcla cuya permeabilidad sea equivalente a una capa de 0,60 metros de permeabilidad menor a 1×10^{-7} centímetros por segundo.

Una vez que la capa impermeable de arcillas es colocada y compactada, se debe realizar una inspección con el fin de que no se observen objetos punzantes -como rocas, trozos de madera, escombros, etc.- que puedan dañar a la membrana.

Entonces, se coloca en su posición la Membrana de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) de al menos 1500 micrones de espesor. Se alisa su superficie, se tensa parcialmente y se efectúa su anclado sobre los terraplenes perimetrales, en los cuales se han excavado zanjas de 0,60 por 0,60 metros. Las uniones entre paños de membrana deben hacerse mediante soldaduras de termofusión, que deberán ser inspeccionadas por personal calificado y contarán con garantía de uso.

Completada la colocación de la membrana, se construirán los drenes de lixiviados y por último la capa de drenaje, constituida por un espesor de 0,30 metros de arena gruesa limpia, sobre la cual se dispondrán los residuos.

8.3.3.5. Red de captación de lixiviados

Existen distintas formas de colectar los líquidos que se depositan sobre el fondo del módulo de enterramiento. Por una cuestión de economía y simpleza en la construcción de la red de drenes, se ha adoptado una distribución similar a la que se muestra en la *Figura 8.16 (a)*.

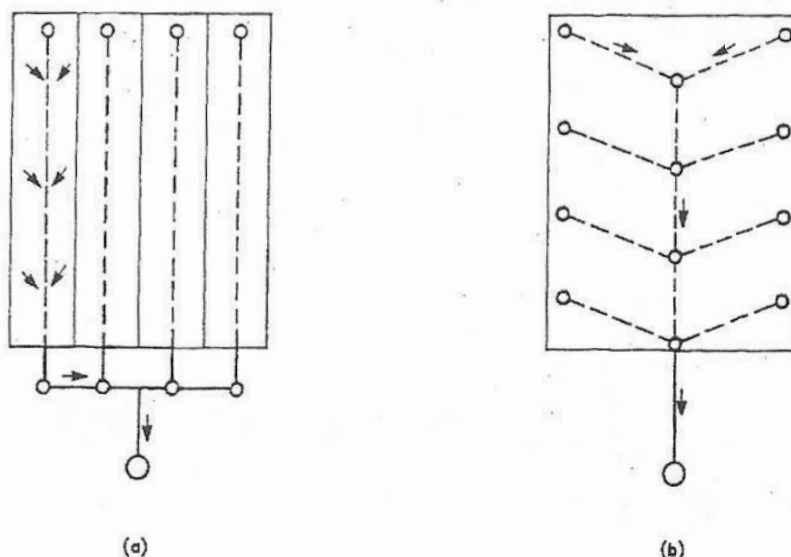


Figura 8.16 | (a) disposición similar a la adoptada; (b) distribución espina de pescado.-

Para un dimensionamiento de la red de drenaje, es necesario adoptar algunos parámetros que definen el funcionamiento. Inicialmente, el diseño completo se basa en el conocimiento de la pendiente de fondo, altura máxima de la capa líquida, permeabilidad de la capa de drenaje, separación transversal entre drenajes, y la velocidad de percolación.

$$Drenaje = f(s, H, K, d, v)$$

Donde

s es la pendiente de fondo de la capa de drenaje, en metros por metro

H es la altura máxima de la capa líquida, en metros

K es la permeabilidad de la capa de drenaje, en centímetros por segundo

d es la separación entre drenes, en metros

v es la velocidad de percolación

Existe una serie de ábacos que vinculan todas estas variables, lo que facilita y acelera el proceso de diseño, para el cual también se han desarrollado fórmulas teóricas de aplicación más compleja. Los resultados que se reflejan en los ábacos son consecuencia de la aplicación de la de Ley de Darcy, de escurrimiento a través de medios porosos.

En la *Tabla 8.11* se expone la propuesta inicial, utilizando los valores más comunes de las variables:

Velocidad de percolado [cm/año]	$v = 15.20$
Altura máx. de la capa líquida [m]	$H = 0.30$
Pendiente de fondo [m/m]	$s = 0.001$
Separación de drenes [m]	$d = 21.50$
	$d' = d/2 = 10.75$
Permeabilidad de la capa drenaje [cm/seg.]	$K = 1 \times 10^{-3}$

Tabla 8.11 | Variables para dimensionamiento de la red de drenaje de lixiviados.-

En la *Tabla 8.11*, el valor H de altura máxima de la capa líquida responde al criterio de intentar que el líquido permanezca la menor cantidad de tiempo en contacto con la masa de residuos. Veamos la *Figura 8.17*.

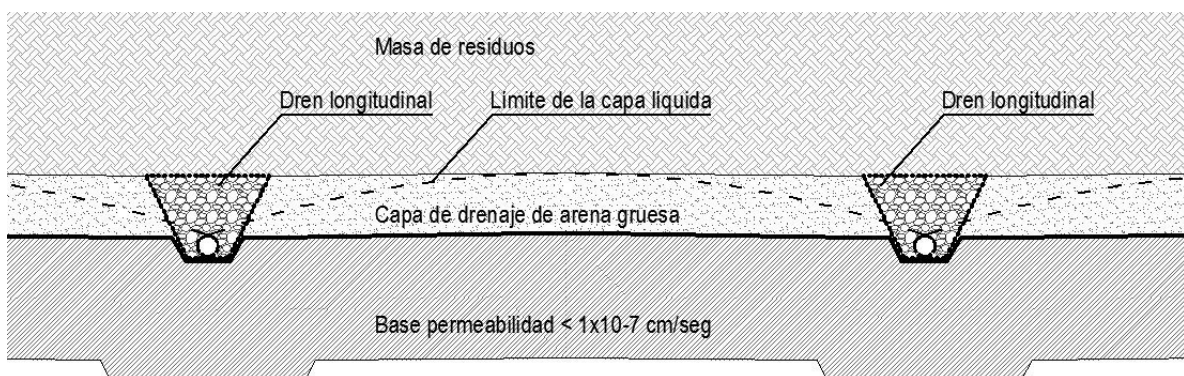


Figura 8.17 | Ubicación de la capa líquida.-

Aquí, adoptando un diámetro para las cañerías de captación de 110 milímetros, el límite entre el nivel de intradós del caño de drenaje y el límite superior de la capa de drenaje es de aproximadamente 300 milímetros.

La pendiente de fondo s será la mínima posible con el fin de reducir el volumen del movimiento de suelos, pero sin condicionar el escurrimiento del fluido. Se ha adoptado el 0,1%, pero en determinadas zonas podría aumentarse para igualar cotas, en el caso de tener distancias variables.

La separación de drenes d responde a lo que se muestra en la *Figura 8.18*. Se trata de un corte transversal del módulo de enterramiento, que tiene un ancho aproximado de 43 metros, que se ha dividido en 4 sectores, de manera que las áreas tributarias para cada caño sean iguales. Incluso hubiera podido resolverse construyendo un solo caño de drenaje, y situando el punto más bajo del fondo del módulo en el centro de éste; pero esta práctica resulta riesgosa ya que la evacuación de todo el líquido lixiviado del módulo depende del correcto funcionamiento de una sola cañería. La medida d' , expresada como la mitad de d , surge del análisis de las superficies escurridas hacia cada caño (ver *Figura 8.18*).

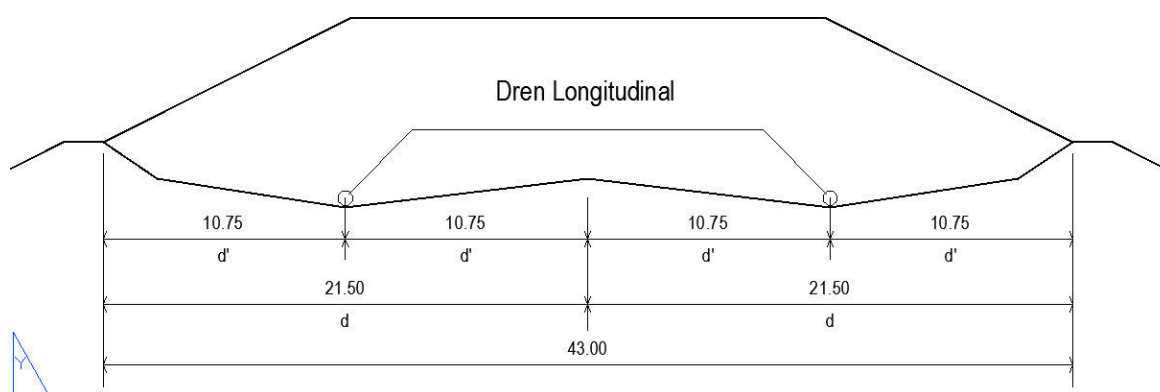


Figura 8.18 | Corte transversal del módulo de enterramiento.-

Los ábacos que dan solución a esta cuestión han sido confeccionados para suelos con permeabilidades de 1×10^{-3} centímetros por segundo, variando la separación entre caños entre 15, 30 y 45 metros, mientras que para casos intermedios es válido hacer una interpolación. (ver *Figuras 8.19 a 8.21*).

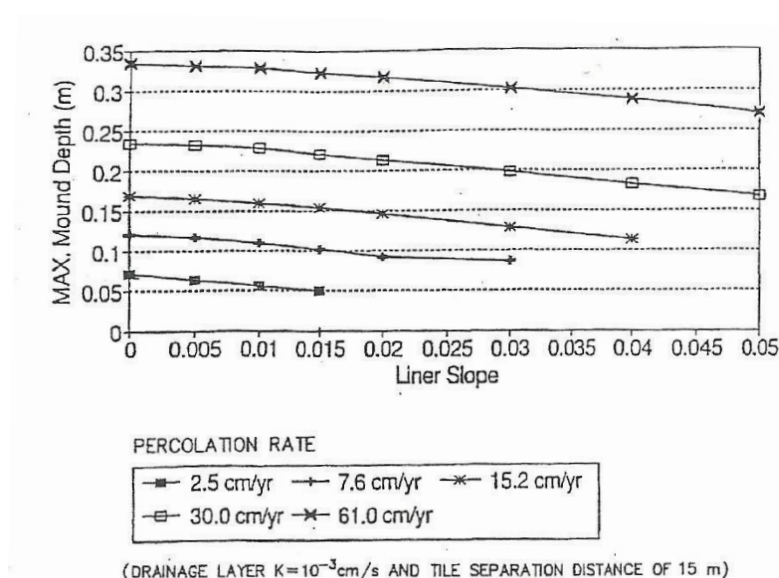


Figura 8.19 | Ábaco 1.-

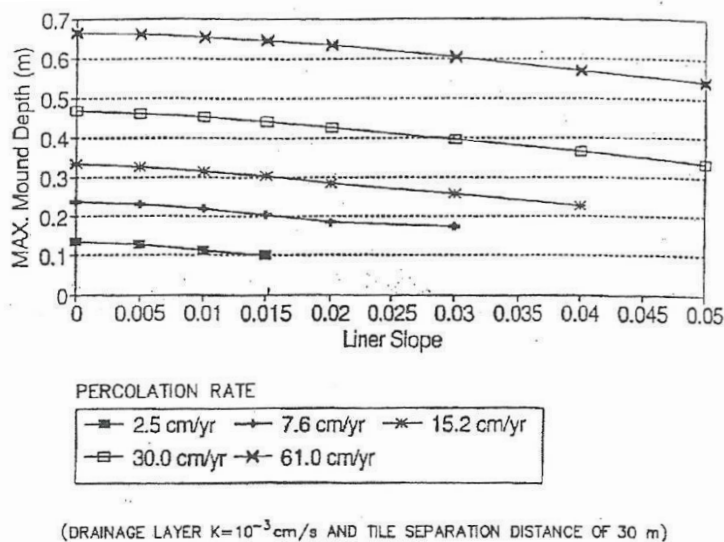


Figura 8.20 | Ábaco 2.-

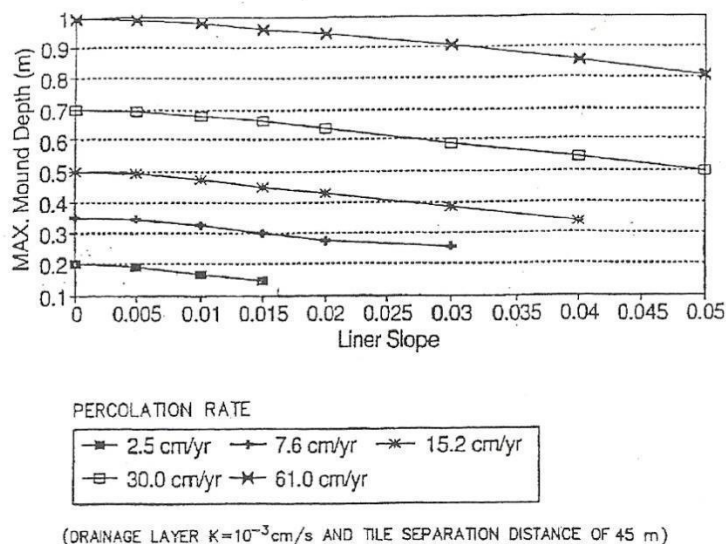


Figura 8.21 | Ábaco 3.-

Para nuestro caso, en el que la separación entre los caños es menor que las medidas que consideran los ábacos, podríamos suponer la medida inmediata superior y efectuar un diseño más holgado. Así, para el ábaco de la *Figura 8.19*, tendremos que con las condiciones comentadas inicialmente, la capa líquida alcanza una altura de alrededor de 0,16 metros, que es menor que la máxima estipulada.

Para el módulo M1 ocurre una situación especial: debido a sus medidas irregulares, la separación entre los caños será distinta en un extremo y otro del módulo. En el extremo Este, el ancho del módulo es de aproximadamente 83 metros, mientras que en el Oeste es de 25 metros.

Para evitar un cambio de pendientes a lo largo del módulo, sería conveniente introducir otro caño en el sector de ancho mayor, de manera de actuar sobre la separación entre ellos sin generar un cambio en las pendientes y obtener de esta manera una altura de capa líquida dentro del rango esperado.

Queda por lo tanto una d de 21,00 metros, con d' igual a 10,50 metros. Para esta separación, la altura máxima de la capa de líquido será igual que para el resto de los módulos, de aproximadamente 0,16 metros.

La pendiente longitudinal del caño será también de 0,001 metros por metro lineal. La desembocadura de los caños se hará en una fosa de bombeo de lixiviados de 2 metros de diámetro, aproximadamente equidistante de los extremos de los caños que sirva. Esta estructura consiste en un ensanchamiento y profundización del extremo del dren de lixiviados. Se profundizará 0,30 metros desde el fondo del dren longitudinal más bajo que reciba.

Esta fosa tendrá vinculación con el exterior a través de un caño de 0,365 metros de diámetro, perforado en su extremo inferior -de toda la altura de la fosa- dotada de una tapa ventilada en su extremo superior, por la cual se introducirá la tubería flexible para extracción del líquido y su transporte hacia la zona de tratamiento. Conforme la altura del módulo vaya siendo mayor, se deberán empalmar caños del mismo diámetro, y se deberá señalar el mismo, con pintura y franjas reflectivas, para prevenir accidentes durante la operación.

8.3.3.6. Drenes de líquido lixiviado

El sistema de drenes colector de los líquidos lixiviados consiste en zanjas de sección trapezoidal, de 0,40 metros de altura, 0,60 metros de ancho en su base superior y 0,20 en su base inferior.

Sobre el fondo de la misma, se dispondrá un caño de PVC -policloruro de vinilo- de 110 milímetros de diámetro interno; sobre los dos costados, en su parte inferior, se practicarán perforaciones de 10 milímetros de diámetro cada 0,20 metros y de manera alternada, como se muestra en la *Figura 8.22*.

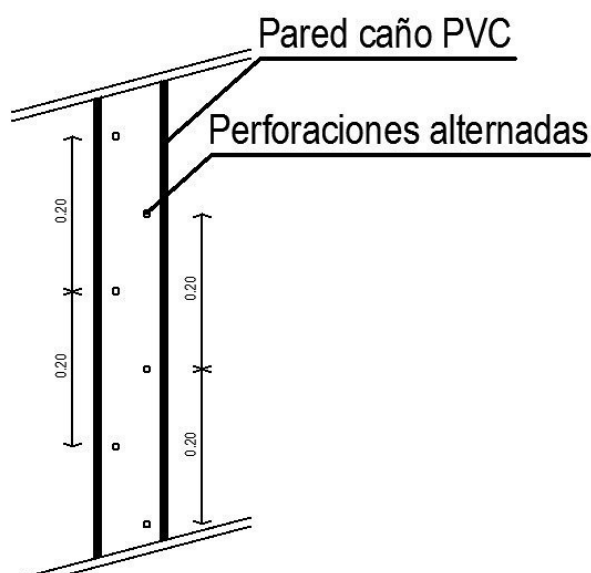


Figura 8.22 | Distribución de las perforaciones en el caño de PVC.-

La zanja será rellena con piedra de canto rodado de 1/2 pulgada de tamaño -13 milímetros-, la cual será revestida con tela de ingeniería -geotextil tipo Notejido o similar- para evitar el ingreso de materiales finos al dren y con ellos su colmatación.

Se practicará la zanja de las medidas indicadas, y sobre sus paredes se instalará el geotextil teniendo en cuenta que al final deberá cubrirse la cara superior de la misma permitiendo un solape mínimo de 0,10 metros de tela; se colocará primero una delgada capa de grava sobre la base de la zanja, y sobre la misma se asentará el caño de PVC con las perforaciones hacia abajo. Luego se rellena cuidadosamente el resto de la zanja y se cierra el revestimiento de geotextil. El procedimiento terminado verse en la *Figura 8.23*. Con este proceso, se obtiene un drenaje de buena capacidad y baja probabilidad de falla.

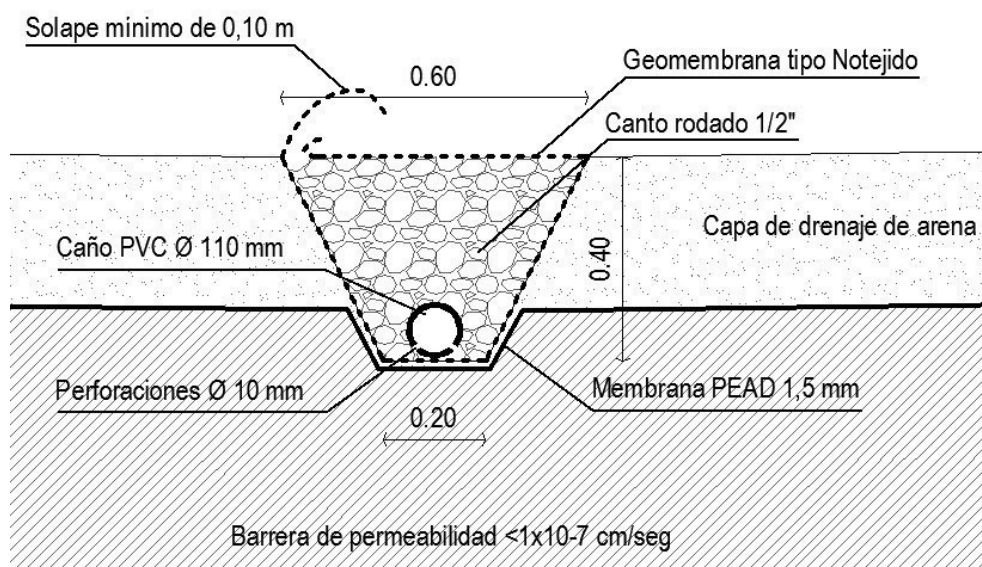


Figura 8.23 | Detalle del dren longitudinal.-

La unión entre los caños no necesariamente debe ser hermética, pero es preciso que no se produzcan movimientos relativos entre ellos.

Si bien la estructura obtenida resulta bastante segura, debe reducirse al mínimo indispensable el tránsito de equipos y personal sobre los drenes, al menos hasta que se haya construido el primer nivel de celdas.

8.3.3.7. Captación y control de gases

Aunque el proceso de tratamiento previo de los residuos -al igual que los planes de concientización y educación- será lo suficientemente intensivo como para suponer que la fracción orgánica no será demasiado relevante, es inevitable que una parte de los residuos putrescibles lleguen al sitio de disposición final.

Asimismo, la presencia de líquidos lixiviados y su fermentación parcial dentro del relleno, da como resultado la creación de una determinada cantidad de gases, algunos con malos olores.

Posiblemente, el metano sea el gas más importante producto de la descomposición de los materiales del relleno sanitario. Este gas, que se produce en condiciones anaerobias, es muy inflamable y debe ser eliminado del relleno sanitario en forma planeada. Por esto, debe ser captado lo más pronto posible -desde que se producen las reacciones que dan su origen-, conducido hacia la zona superior, e incinerado -o solo venteado- en cantidades

controladas para evitar la formación de atmosferas explosivas, la propagación de sus olores y reducir el efecto invernadero que produce.

Una buena manera -difundida y aceptada mundialmente- de evacuar los gases, consiste en chimeneas construidas de materiales altamente porosos, separadas entre sí un máximo de 50 metros. La base de las mismas se sitúa en contacto con los drenes de lixiviado, de manera de tener continuidad entre estos dos elementos; el objeto de esta continuidad es lograr un buen venteo de los gases que se producen a partir de la fermentación parcial de los líquidos lixiviados, y equilibrar las presiones para que la circulación de los líquidos en el interior del dren sea por diferencia de niveles.

La sección que se adopta para dichas chimeneas suele ser cuadrada de 0,50 metros de lado. Otra práctica común consiste en colocar un tambor de aproximadamente 0,60 metros de diámetro a modo de camisa recuperable: se coloca el tambor sobre el dren de lixiviado y se procede con la construcción de la celda diaria y su tapada; una vez que se ha compactado todo el terreno, se coloca el material poroso en el interior del tambor y se retira hacia arriba manualmente haciendo movimientos giratorios, o con ayuda de maquinaria. Esta tarea se repite las veces que sea necesario hasta alcanzar el nivel de la cobertura final.

Se utilizará canto rodado de entre 1 y 2" como material poroso, con encamisado cilíndrico recuperable de chapa, de 0,60 metros de diámetro aproximadamente.

Desde el nivel de cobertura final impermeable incluido, hasta al menos 1,50 metros por encima del suelo para crecimiento vegetal, la chimenea será de material no poroso -caño de PVC diámetro 110 milímetros-, con un remate en pipeta invertida. Alrededor del caño se dispondrá un enrocado para protección, cuyo lado se encuentre separado 0,50 metros de la pared de la chimenea. El conjunto de enrocado y caño debe ser señalado para evitar golpes de la maquinaria en las últimas etapas de construcción del módulo y durante el mantenimiento de la cubierta vegetal. En el avance de la construcción del mismo, el encamisado será revestido con pintura color naranja -tipo vial- y señalado con bandas reflectivas.

Las chimeneas de gases serán colocadas sobre cada uno de los drenes, cada 30 metros como máximo. Se colocará una chimenea en el punto más bajo y más alto de cada dren, ya que de esa manera el equilibrio de presiones es óptimo.

No se efectuará una estimación del volumen de biogás generado en el interior del relleno sanitario, ya que se espera un bajo porcentaje de ingreso de materiales biodegradables a disposición final. Además, los materiales orgánicos que son dispuestos en el mismo, producirán biogás en períodos de tiempo bastante dilatados que exceden nuestro análisis inmediato, al mismo tiempo de no existir actualmente un procedimiento de estimación cien por ciento fiable. Este proyecto considera la generación del biogás en condiciones mucho más controladas y eficientes que las que ocurren en el seno de la masa de residuos, por lo que el aprovechamiento de este último no resulta prioritario según nuestro criterio. Solamente nos limitaremos a evacuarlo a la atmósfera en forma controlada de manera de que su concentración sea inferior a la considerada explosiva -entre el 5 y 15%-.

Debido al bajo nivel de gases esperado para este relleno sanitario, no se proyectará un sistema de incineración de gases.

8.3.3.8. Operación de los módulos de enterramiento

Se construirán los terraplenes según la *Figura 8.24*. Será necesario construir totalmente los terraplenes T1, T2, T3 y T4 de anclaje con el fin de obtener una estructura plenamente estanca desde el primer momento de operación.

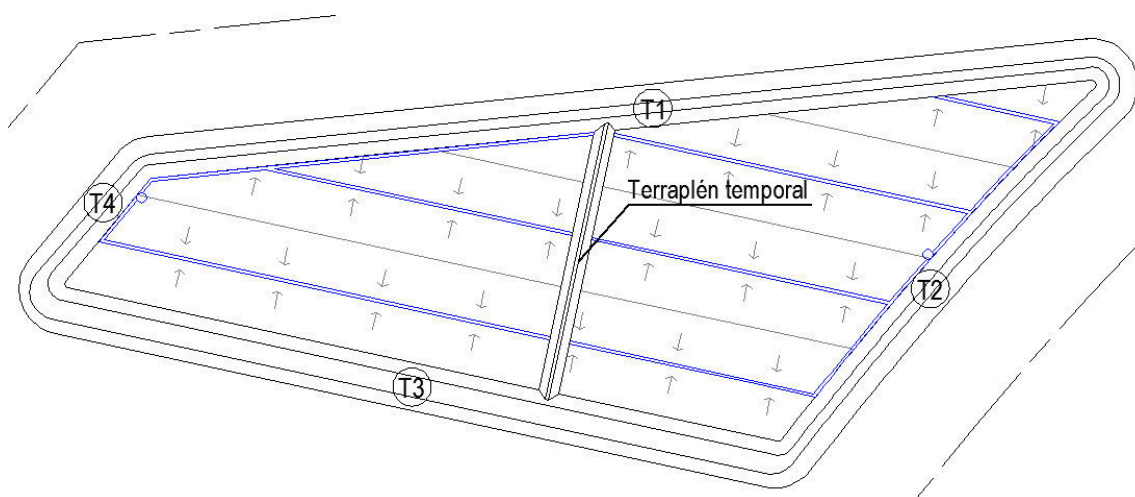


Figura 8.24 | Terraplenes del Módulo M1.-

El interior del módulo será compartimentado mediante la construcción de un pequeño terraplén (o berma) temporal, de al menos 0,80 metros de altura. Estimativamente, y mirando la *Tabla 8.12*, podríamos decir que el primer nivel del módulo M1 será completado en alrededor de 2 años.

Celda	Módulo	Tiempo llenado primer nivel	
Ancho*	6.15	57.00	744 [días]
Profundidad*	2.00	160.53	24.8 [meses]
Superficie	12.30	9150.00	2.07 [años]

Tabla 8.12 | Tiempo de llenado del módulo M1.-

Sería importante generar un espacio limitado, estanco, que no abarque la totalidad del módulo, sino que desvíe una porción del ingreso de las aguas precipitadas. En oposición, construir recintos muy pequeños dentro del módulo, significaría trasladar el terraplén temporal de cierre con una frecuencia más alta que lo prácticamente conveniente, lo que torna a esta operación muy antieconómica.

Tendríamos entonces que conseguir un balance entre estas dos situaciones. Haciendo traslados del suelo del terraplén temporal cada 12 meses, tendríamos la creación de 2 recintos temporales estancos, lo que reduciría el caudal inicial de lixiviado un 50%.

La ventaja de este plan radica en que el suelo que se utiliza para cerrar el recinto es reutilizable, y puede ser transportado de un lugar a otro dentro del módulo e incluso de un módulo al otro, por lo que el consumo de material, frente a los beneficios de reducir el líquido lixiviado, es mínimo.

Será necesario entonces generar recintos cuyas superficies sean de la mitad del total del módulo; tendremos que

$$A^* = \frac{9150 \text{ m}^2}{2}$$

$$A^* = 4575 \text{ m}^2$$

Debido a las dimensiones irregulares en planta del módulo M1, la superficie se busca mediante una iteración gráfica, resultando lo que se puede ver en la *Figura 8.24*.

En el mismo sitio donde se situará la berma de cierre se encontrará la divisoria de aguas longitudinal del fondo del módulo, lo que evitará la formación de zonas sin drenaje o encharcamientos.

Debajo de este terraplén, deben preverse obstrucciones de los canales de drenaje de canto rodado y cañería perforada, para evitar cualquier tipo de fuga, ya sea desde el recinto en operación hacia la zona de aguas pluviales, o viceversa.

Para minimizar el riesgo de contaminación de las aguas precipitadas, o de ingreso de esas aguas en la zona con residuos, se debe proceder al bombeo del agua precipitada lo más pronto posible luego del evento pluvial. Esa agua podrá ver vertida directamente sobre los canales de aguas pluviales que se sitúan a la vera del camino perimetral.

Una vez que el avance del relleno alcance al terraplén temporal, el suelo del que fue construido, puede ser retirado y reutilizado, ya sea para cubierta diaria o intermedia, o almacenado para ser utilizado posteriormente. No es indispensable retirar el terraplén, ya que su ubicación no interfiere en el escurrimiento de los líquidos lixiviados ni en la evacuación de los gases, y su volumen no es determinante en cuanto a la cantidad de celdas que podrían construirse de ser retirado todo el suelo que lo conforma.

$$\text{Volumen terraplén} = \left(0,80 \text{ m} \times 0,80 \text{ m} + 1,60 \text{ m} \times \frac{0,80 \text{ m}}{2} \times 2 \right) \times 57,00 \text{ m}$$

$$\text{Volumen terraplén} = 109,44 \text{ m}^3$$

El volumen compactado de una celda diaria es de aproximadamente 17 metros cúbicos, luego:

$$\text{Celdas diarias extra} = \frac{\text{Volumen terraplén}}{\text{Volumen celda diaria}}$$

$$\text{Celdas diarias extra} = \frac{109,44 \text{ m}^3}{16,70 \text{ m}^3}$$

$$\text{Celdas diarias extra} \cong 7 \text{ días}$$

Queda claro que retirar el terraplén no genera un espacio adicional demasiado importante, pero si especulamos con la cantidad de suelo necesaria para su construcción, lo más criterioso sería retirarlo para utilizarlo luego.

8.3.3.9. Llenado de celdas diarias

Luego de que los residuos son procesados, y separados los materiales que no tendrán como destino al relleno sanitario, el tractor con remolque ingresa cargado de residuos y los vuelca en la esquina inferior izquierda del módulo. El ingreso diario promedio de residuos

sólidos a la zona de enterramiento es de aproximadamente 12,50 toneladas. La descarga se debe realizar en una zona de aproximadamente 6 metros de ancho y 2 metros de avance. Se distribuye el residuo sobre el fondo del módulo y se compacta con topadora sobre orugas en capas de entre 0,15 y 0,30 metros de profundidad, efectuando un mínimo de 3 pasadas. No se deben realizar más de 4 pasadas, ya que la densidad alcanzada en la compactación no aumenta significativamente más allá de ese número. La compactación debe hacerse realizando las pasadas de forma rápida, ya que la energía de compactación es asimilada en forma óptima mientras más rápido sea el amasado.

En el caso de que la celda a rellenar sea la primera de uno de los niveles superiores, las pendientes necesarias hacen que la operación con maquinaria pesada sea sumamente peligrosa, o directamente imposible: se busca generar una “pirámide” de residuos cuya cúspide prácticamente no tiene superficie, por lo que la compactación -fundamentalmente de las capas superiores- por pasadas del vehículo son imposibles. En esos casos, y para no aumentar las pendientes por cuestiones de disponibilidad espacial, se recurre a la operación manual, que tiene pendientes de escalada mucho más permisivas. Hasta que el avance del llenado del nivel no genere una superficie apta y segura para el tránsito y compactación por medio de maquinaria pesada, el proceso tendrá, por lo tanto, un fuerte componente manual.

Se colocarán capa tras capa de residuos hasta alcanzar la altura máxima de 1,50 metros. El talud frontal de la celda compactada deberá ser máximo de 2:1 -horizontal:vertical-, para permitir el ascenso del equipo pesado de compactación, mientras que el lateral, al no requerir transitabilidad, puede tener una pendiente más pronunciada, determinada por el ángulo de fricción interna de los residuos o el suelo de cobertura.

En los niveles superiores, la primera celda externa deberá servir de contención a las siguientes; se deberá formar un terraplén de taludes 2:1 de manera que las celdas que se construyan luego copien dicho talud y tengan una buena estabilidad.

8.3.3.10. Cobertura diaria

Cuando todo el residuo que ha ingresado a la planta ha sido procesado- y el remanente llevado al relleno sanitario- la jornada de clasificación termina y solo restan las operaciones relacionadas con la disposición final y el tratamiento de lixiviados.

La cobertura diaria tiene como objetivo limitar el ingreso de animales (aves, roedores, perros, cerdos) en busca de alimento, la proliferación de insectos, reducción de olores, voladuras de materiales livianos, y evitar los incendios, ya que casi la totalidad de los suelos son incombustibles.

Además, al cubrir los residuos con una capa compactada de suelo, se reduce la producción de líquidos lixiviados frente a posibles precipitaciones. El suelo actúa principalmente de dos maneras: desvía el agua evitando su ingreso a la masa de residuos, y por otro lado retiene parte de la humedad antes de que entre en contacto con los residuos, que luego se evapora a la atmósfera.

Los residuos se disponen y compactan según lo dicho anteriormente. Una vez que todos los residuos fueron compactados, y se alcanza la altura máxima y los taludes correctos, se coloca sobre los residuos una cantidad de suelo que, luego de compactado, alcance un volumen de

$$V_{CD} = 6,00m \times 0,15m \times (2,00m + 1,50m) + 2,00m \times 1,65m \times 0,15m$$

$$V_{CD} = 3,65m^3$$

Donde V_{CD} es el volumen compactado de cobertura diaria. El volumen de suelo suelto podría considerarse como un 30% superior, debido al efecto de esponjamiento y a la posterior reducción de volumen por compactación. Será entonces

$$V_{CD}^* = 3,65m^3 \times 1,30$$

$$V_{CD}^* = 4,75m^3$$

Donde V_{CD}^* es el volumen de cobertura diaria sin compactar, retirado de los depósitos de suelo del predio.

Un indicador rápido para estimar la cantidad de suelo necesaria en función de las toneladas esperadas, podría determinarse efectuando el cociente entre la cantidad de residuos ingresados, en peso, contra la cantidad de suelo necesario para su cobertura, en volumen, bajo las condiciones planteadas de altura, ancho y profundidad de la celda.

$$I_{sC} = \frac{S_c}{R_d}$$

O teniendo en cuenta el suelo sin compactar

$$I_{sS} = \frac{S_s}{R_d}$$

Donde

I_{sC} y I_{sS} son los indicadores de necesidad de suelo de cobertura, compactado y suelto respectivamente, en metros cúbicos por tonelada de residuo

S_c y S_s son las cantidades de suelo, compactado y suelto respectivamente, necesario para la cobertura de la celda diaria, en metros cúbicos

R_d es la cantidad diaria de residuos ingresada al módulo de enterramiento, en toneladas

$$I_{sC} = \frac{3,65 m^3}{12,50 t}$$

$$I_{sC} = 0,292 \frac{m^3}{t}$$

$$I_{sS} = \frac{4,75 m^3}{12,50 t}$$

$$I_{sS} = 0,380 \frac{m^3}{t}$$

El suelo utilizado para la cobertura diaria posiblemente sea el más difícil de conseguir por la frecuencia con que se necesita colocar dentro del relleno. Una buena práctica sería utilizar el suelo contaminado que existe actualmente en el vertedero a cielo abierto que se ubica en Callejón Pintos; sería necesario analizar la implementación de un Plan de Saneamiento

Integral de dicho predio, considerando la profundidad de penetración de la contaminación, y la necesidad de remover y reubicar ese suelo. Utilizándolo como suelo de cobertura para el relleno sanitario, se estaría dando solución a dos problemáticas simultáneamente.

8.3.3.11. Cobertura intermedia

La cobertura intermedia también provee protección a la masa de residuos y evacúa parte de las aguas que pudieran infiltrarse, y se construye cuando un sitio del relleno no va a ser operado por un tiempo medianamente importante. Podría hacerse por sectores, en franjas de un ancho determinado por el equipo de compactación y nivelación.

Consiste en la incorporación de una capa de suelo de un espesor de 0,15 metros - compactado-, sobre la cobertura diaria. Esto da como resultado una cobertura de 0,30 metros sobre cada nivel de celdas.

Uno de los equipos tiene una hoja frontal de 2,15 metros de ancho, mientras que la topadora sobre orugas, que también podría ser usada para distribuir y compactar el suelo de cobertura intermedia, tiene una hoja de 2,60 metros de ancho, aproximadamente.

Con una superposición de 0,40 metros entre pasadas, tendríamos para un ancho equivalente a tres pasadas:

$$a = 3 \times (2,15m - 0,40m)$$

$$a = 5,25m$$

Este ancho representa una cantidad de celdas de

$$n = \frac{5,25m}{1,85m}$$

$$n \cong 3 \text{ celdas}$$

$$a' = 3 \text{ celdas} \times 1,85m$$

$$a' = 5,55m$$

Esto significa que cuando se hayan completado tres hileras de celdas, podría efectuarse una cobertura intermedia de un ancho aproximado de 5,55 metros. Esta cubierta intermedia quedará expuesta a los factores climáticos por aproximadamente dos años, por lo que su superficie debe ser verificada periódicamente para evitar encharcamientos, interrupciones en el escurrimiento o descubrir hundimientos.

8.3.3.1. Cobertura final

Lograda la altura estipulada del último nivel de celdas diarias, se debe practicar la cobertura intermedia teniendo en consideración que esta deberá, además de las funciones explicadas previamente, generar una diferencia de nivel para que el escurrimiento de las aguas precipitadas sobre la cubierta sea por gravedad, sin peligro de infiltración ni de erosión. Una vez compactada la capa de cobertura intermedia, se coloca un sistema artificial de impermeabilización idéntico al utilizado en la base: una base de mezcla de suelo arcilloso con bentonita con permeabilidad inferior a 1×10^{-7} centímetros por segundo, y encima de este

una membrana PEAD de 1,5 milímetros de espesor, como se muestra en el detalle de la *Figura 8.25*. El anclaje se efectúa en la misma zanja que se practicó el anclaje de la membrana inferior.

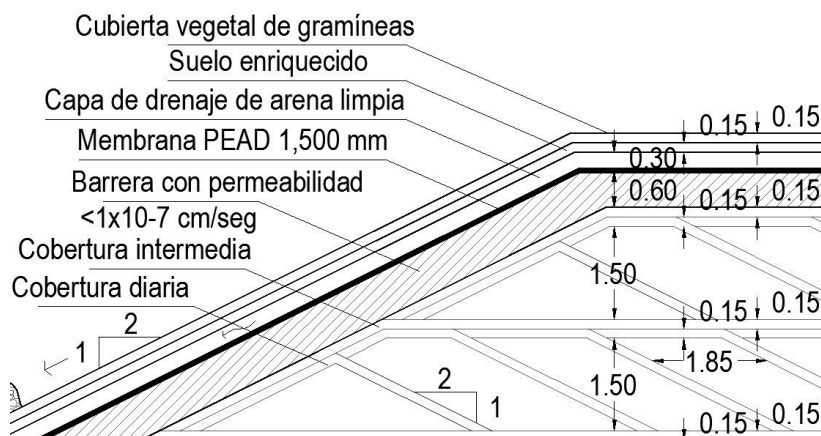


Figura 8.25 | Detalle de componentes de la cubierta final.-

Sobre la membrana de PEAD se coloca una capa de drenaje de suelo altamente permeable -arena gruesa- de 0,30 metros de espesor. Sobre esta arena se colocará una capa de suelo enriquecido, apto para crecimiento vegetal, de aproximadamente 0,45 metros de espesor.

Se sembrará una mezcla de semillas de gramíneas, para tener cobertura y protección contra la erosión de manera rápida, duradera y a lo largo de todo el año. Los taludes de los terraplenes de anclajes también poseerán esta cubierta vegetal.

8.3.3.1. Cerco móvil para objetos volantes

Se construirán módulos de cerco móviles de aproximadamente 2,00 metros de alto por 3,00 metros de largo, unidos entre sí por elementos flexibles y removibles, de manera que se puedan trasladar y reubicar fácil y rápidamente. El objeto de estos cercos móviles es el de detener elementos que por sus características puedan ser volados por los vientos; de esta manera, se construye una especie de jaula que disminuye el impacto que producen los residuos sobre el medio.

Idealmente, deberán ser de material duradero y que soporte los embates de los factores climáticos. Se deberá prever elementos para asegurar su estabilidad al vuelco. Haciendo uso de las uniones flexibles, puede darse la estabilidad suficiente del conjunto logrando un buen ángulo entre dos módulos adyacentes, y dotando además al caño inferior de un lastre adecuado (ver *Figura 8.26*).

Para evitar accidentes debido al vuelco de estos elementos por golpes con la maquinaria de operación del relleno, se deberán señalizar todos los módulos de cerco (bandas reflectivas y pintura vial).

Una vez terminada la cobertura diaria, el cerco puede ser retirado y colocado donde se prevean las operaciones de enterramiento del día siguiente.

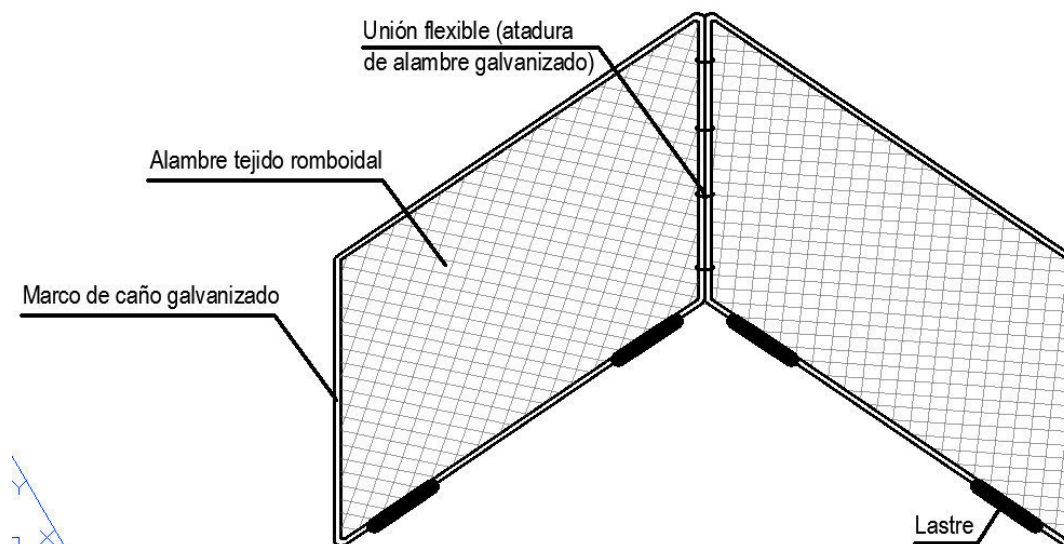


Figura 8.26 | Cercos móviles para elementos volantes.-

8.3.3.2. Limpieza de camiones y maquinarias

Una vez que los vehículos que transportan los residuos hacia la zona de disposición final abandonan dicho lugar, existe la posibilidad de que arrastren parte de los desechos entre sus ruedas y demás elementos mecánicos.

Por lo tanto es necesario prever un sector de limpieza de la maquinaria, donde las aguas captadas del lavado sean retenidas hasta que se produzca su tratamiento biológico.

Se dispondrá una bajada independiente del tanque de provisión de agua, con una salida de 1 pulgada de diámetro y válvula esférica con acople rápido en su extremo, de manera de facilitar la conexión de la cañería flexible que alimentará al equipo eléctrico de hidrolavado.

Para coleccionar y almacenar temporalmente las aguas de lavado se construirá una rampa con rejillas y sedimentador de sólidos, que tenga una capacidad de al menos 1,50 metros cúbicos de barro sedimentados. Se dispondrá un concentrador de fangos y una cañería de extracción del líquido, que será tratado al igual que los líquidos lixiviados provenientes del relleno sanitario. El caudal derivado de la limpieza de los vehículos es de una importancia y frecuencia mucho menor que el proveniente de la lixiviación, por lo que no se tiene en cuenta al momento del diseño del tratamiento depurador.

El diseño de la estructura de captación de las aguas de lavado se puede ver en las *Figuras 8.27, 8.28 y 8.29.*

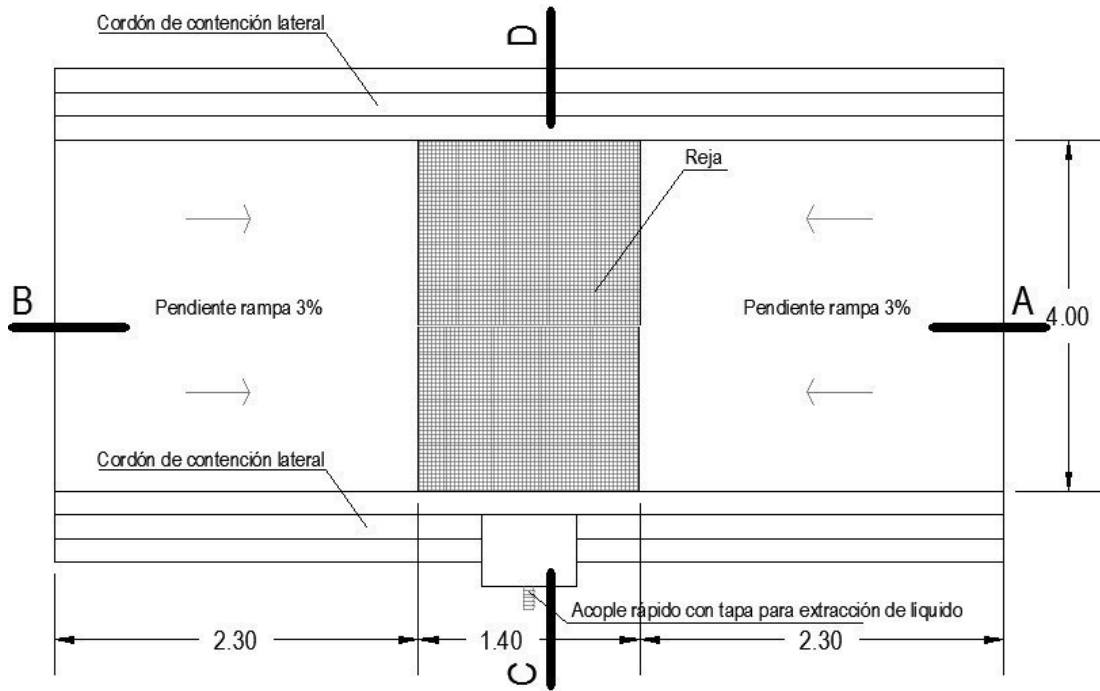


Figura 8.27 | Rampa con reja para lavado. Planta.-

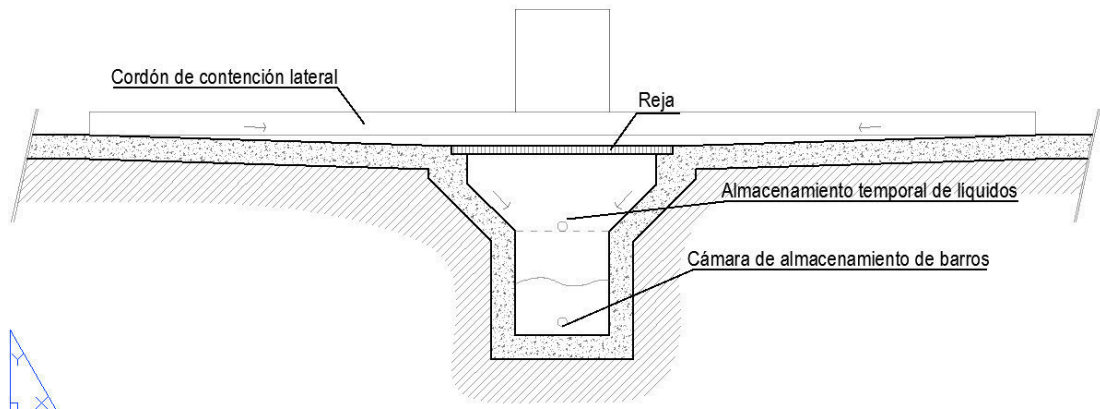


Figura 8.28 | Rampa con reja para lavado. Corte A-B.-

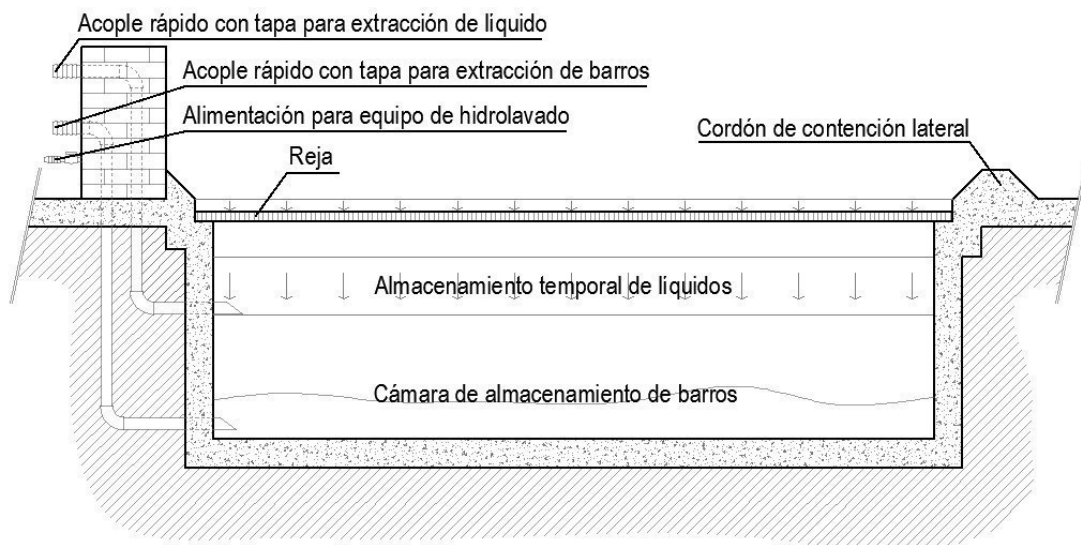


Figura 8.29 | Rampa con reja para lavado. Corte C-D.-

8.3.3.3. Extracción de líquidos lixiviados

La operación de extracción de líquidos será diaria. Se deberá destinar una cisterna con bomba de extracción, alimentada con motor a combustión, exclusivamente para las tareas de extracción. Este equipo se detendrá momentáneamente en la dársena construida frente a cada una de las fosas; la misma tendrá un ancho cómodo para permitir la detención segura de los equipos de extracción y traslado, y permitir el sobrepaso de vehículos que necesiten circular, al mismo tiempo, por el camino perimetral. Con la construcción de los módulos siguientes, se deberá desviar el camino perimetral en coincidencia con cada una de las dársenas, adecuando el sistema de drenajes para que la captación y conducción de aguas precipitadas siga funcionando de manera adecuada.

El bombeo se hará de forma ininterrumpida hasta evacuar todo el líquido contenido en el módulo; cuando la cisterna alcanza su máxima capacidad, se dirige hacia la zona de tratamiento de lixiviados, descarga su contenido y retorna a la zona de fosas.

Si, eventualmente, la capacidad de las instalaciones de depuración de líquidos lixiviados se viera sobrepasada, existe la posibilidad de efectuar una recirculación de los líquidos sobre el relleno: consiste en verter, en forma distribuida, el líquido sobre la masa de residuos. Este recirculado tiene algunas ventajas, que podrían aprovecharse en el caso de que alguna de las instalaciones falle, o su mantenimiento amerite una interrupción en el funcionamiento.

El líquido tiene una determinada carga contaminante, que resulta estabilizada biológicamente si las condiciones lo permiten. Por lo tanto, mientras el tiempo de permanencia del líquido en condiciones aerobias lo permita, se producirá la maduración del mismo y su carga contaminante se verá disminuida; por otro lado, la circulación de estos líquidos a través de los residuos, favorece también la eliminación de sustancias contaminantes.

Durante los primeros años, el líquido producido no será demasiado y las operaciones de extracción y traslado de líquidos lixiviados serán breves y ágiles; pero con el transcurrir de los años, y la operación de nuevos módulos, el procedimiento será más intensivo y resultará sumamente importante realizarlo de manera ordenada.

Por eso, el bombeo debe hacerse de manera continua hasta vaciar la última fosa, y sólo deberá interrumpirse para la descarga del líquido extraído en las instalaciones de depuración. Una interrupción podría ocasionar que, de no llevarse un registro y control estricto, queden zonas con líquidos que alcancen alturas no deseadas.

Adicionalmente, si el equipamiento o los operarios no resultaran suficientes, podría diseñarse un sistema de captación de líquidos centralizada, cuya descarga sea directamente en las instalaciones de depuración, lo que reduciría el tránsito dentro de la zona de enterramiento y los tiempos de operación.

La extracción de líquidos deberá hacerse también durante la época de posclausura. Se extraerán los líquidos y se revisará su contenido de contaminantes periódicamente. El procedimiento de extracción de líquidos y posterior tratamiento, se hará mientras los niveles de contaminantes registrados sean inferiores a los establecidos en las normas de volcado.

8.3.3.4. Control y extinción de incendios

Para completar el diseño de la zona de enterramiento, es necesario prever las instalaciones de extinción de incendios, así como la ubicación estratégica de los elementos de seguridad. Además de las medidas pasivas de control de incendios, como las distancias entre los módulos de enterramiento y cualquier material combustible, se deberá instalar una cañería en la periferia de los módulos, de manera de servir con una presión y caudal suficiente para detener un eventual incendio. Atendiendo a las reglamentaciones contra incendios, las distancias entre las bocas de extracción de agua a presión deberán respetar un máximo admisible, y las mangueras deberán encontrarse fácilmente accesibles.

El estado de funcionamiento de todas las instalaciones contra incendios debe ser verificado periódicamente, por lo que se trata de una tarea que se deberá incorporar al Manual de Operaciones del Complejo.

Para sofocar pequeños focos de incendio en el taller y la planta clasificadora, o fuego en aparatos eléctricos donde sea imposible utilizar agua, se colocarán extintores manuales adecuados para las instalaciones a las que sirvan, combinados con baldes de inertes (arena). En los vehículos que trasladen residuos a la zona de enterramiento, se instalarán extintores manuales.

8.4. Tratamiento de los líquidos lixiviados |

8.4.1. Tratamiento biológico por Biodiscos (o RBC)

Una explicación del sistema de tratamiento biológico mediante Biodiscos se ofrece en el apartado 2.1 Marco Conceptual de este documento.

Posiblemente, las dos últimas ventajas enunciadas allí sean las determinantes a la hora de la elección del tratamiento de líquidos lixiviados. En una ciudad en la que la mayoría de los terrenos son inundables, la optimización del espacio es el desafío más importante. Técnicamente, un sistema de lagunas de tratamiento posiblemente hubiera sido la opción más económica, sencilla y por lo tanto viable de aplicar en nuestro caso; pero cuando el espacio físico toma carácter de excluyente, cobran mayor fuerza los sistemas que tienden a resolver la problemática haciendo un uso más eficiente del terreno disponible.

No podemos dejar de lado una circunstancia de otra naturaleza, pero igualmente problemática -quizás aún más conflictiva-. La cercanía de la población con las instalaciones del relleno sanitario amerita un control minucioso de olores, vectores, plagas, dispersión de partículas y hasta de contaminación visual. En esta línea, las lagunas de tratamiento, si bien resuelven el problema de forma adecuada -siempre que su diseño y operación sean correctos-, son una importante fuente de olores y causan un gran impacto paisajístico, que podría llegar a convertirse en un punto débil del proyecto.

Las lagunas de tratamiento, por otro lado, son sistemas de depuración de aguas algo rudimentarios, con un impacto bastante considerable sobre el medio, y nuestro objetivo en definitiva es la aplicación de soluciones superadoras.

8.4.1.1. Cálculo del biodisco

8.4.1.1.1. Cálculo de caudal de diseño

La expresión que brinda un valor aproximadamente real de la generación de líquidos lixiviados para un Relleno Sanitario correctamente construido y operando es

$$Q = \frac{1}{t} \times P \times A \times K$$

Donde

Q es el caudal medio de lixiviado, en litros por segundo

t es la cantidad de segundos en un año

P es la precipitación media anual, en milímetros por año

A es el área superficial del Relleno Sanitario, en metros cuadrados

K es un coeficiente que contempla el grado de compactación alcanzado en la masa de residuos.

De la observación de Rellenos Sanitarios en localidades pequeñas, se ha concluido que la generación de líquidos lixiviados se produce casi exclusivamente en los días de ocurrencia

de las precipitaciones, y se mantiene, aunque reduciéndose, en los días siguientes hasta hacerse prácticamente nulo en los períodos secos.

Para el dimensionamiento de las instalaciones de captación y tratamiento de líquidos lixiviados, sería importante entonces considerar los períodos de precipitaciones más intensas, que serán los que exijan una mayor capacidad de todas las estructuras.

Refiriéndonos ahora a la expresión anterior, podríamos reducir el tiempo de análisis al mes con mayor precipitación del año, y el resultado sería

$$Q_m = \frac{1}{t_m} \times P_m \times A \times K$$

Donde

Q_m es el caudal medio de lixiviado, en litros por mes

t_m es la cantidad de segundos en un mes

P_m es la precipitación máxima del mes más lluvioso, en milímetros por mes

A es el área superficial del Relleno Sanitario, en metros cuadrados

K es un coeficiente que contempla el grado de compactación alcanzado en la masa de residuos.

Ahora, para determinar un *caudal de líquido lixiviado de diseño*, vamos a utilizar los siguientes valores:

$$t_m = 30 \frac{\text{días}}{\text{mes}} \times 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 60 \frac{\text{minutos}}{\text{hora}} \times 60 \frac{\text{segundos}}{\text{minuto}} = 2592000 \frac{\text{segundos}}{\text{mes}} (*)$$

$$P_m = 250 \frac{\text{mm}}{\text{mes}} (**)$$

$$A = 9150 \text{ m}^2 (***)$$

$$K' = 0,30 (****)$$

(*) *Esta cantidad corresponde a un mes de duración promedio de 30 días*

(**) *Precipitación acumulada mensual, correspondiente al mes más lluvioso*

(***) *Superficie aproximada del módulo de enterramiento M1.*

(****) *Correspondiente a un nivel de compactación medianamente débil.*

Con estos valores, el caudal de diseño será:

$$Q_m = \frac{1}{2592000 \text{ segundo}} \frac{\text{mes}}{\text{mes}} \times 250 \frac{\text{milímetros}}{\text{mes}} \left[\frac{0,001\text{m}}{1\text{mm}} \right] \times 9150\text{m}^2 \times 0,30$$

$$Q_m = 2,65 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{segundo}}$$

$$Q_m = 0,953 \frac{m^3}{hora}$$

Pero este es el caudal que surge del módulo M1; haciendo el mismo procedimiento para todos los módulos, obtendremos la *Tabla 8.13*.

Módulo	Superficie [m ²]	%	Caudal [m ³ /h]
M1	9150	27,64	0,953
M2	7644	23,09	0,796
M3	7959	24,04	0,829
M4	8352	25,23	0,870
TOTAL	33105	100	3,448

Tabla 8.13 | Caudal de aporte de cada módulo.-

8.4.1.1.2. Carga contaminante

Experiencias en rellenos sanitarios próximos nos permitirán asumir que, dada las similitudes tanto en la sociedad generadora como en el clima y composición de los residuos, los valores de contaminantes serán apreciablemente similares.

El Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe, presenta una DBO5 (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días) media de alrededor de 7000 mg/L, inmediatamente luego de su extracción. En otros rellenos sanitarios de menor dimensión, se han registrado mediciones un poco superiores, alcanzando valores típicos de 10000 mg/L. Un valor común de DQO (Demanda Química de Oxígeno) asociado a este valor de DBO5 es de entre 12000 mg/L (para la ciudad de Santa Fe) y 18000 mg/L para otros rellenos sanitarios.

El relleno sanitario que se construirá para cubrir las necesidades del Corredor de la Ruta 1 tendrá unas condiciones de separación previa de residuos que permiten estimar de manera optimista la carga orgánica -en principio, no debería ingresar una cantidad demasiado significativa de residuos orgánicos-.

Un valor estimado de 7000 mg/L de DBO5 podría ser aceptable para obtener una estructura confiable y de buenas dimensiones.

Este valor, aunque resulta de una estimación que pudiera ser bastante variable, será el que nos permita comenzar a plantear el dimensionamiento de nuestras instalaciones depuradoras. Vamos a resaltar que cada relleno sanitario tiene un funcionamiento especial, con características contaminantes que vienen íntimamente ligadas a las costumbres de las poblaciones servidas y al procesamiento previo al que sean sometidos los residuos. Por lo tanto, un cálculo previo de las instalaciones no deja de ser meramente aproximado, ya que los valores que se manifiesten una vez operando la estructura, pudieran ser bastante dispares.

8.4.1.1.3. Sedimentador primario

Los decantadores o sedimentadores son las unidades cuya función principal es la de retener partículas de grandes dimensiones, que podrían alterar el correcto funcionamiento de los procesos siguientes. Adicionalmente, estos decantadores reducen la carga orgánica contaminante, al arrastrar, junto con arenas, cenizas y otros materiales inertes, algunas

partículas orgánicas que aumentan la demanda de oxígeno para degradar biológicamente esta materia.

Para lograr un buen diseño de estas estructuras es necesario considerar los caudales máximos, las características de las partículas a sedimentar y las dimensiones del decantador.

Trabajando con un diámetro de 3,60 metros para los discos, y considerando un ancho total de tanque como un 20% superior a la medida de los discos, tendremos que el mismo tendrá aproximadamente 4,40 metros de ancho.

Aprovechando esta dimensión, y con el objetivo de reducir las unidades de obra a ejecutar, el sentido de circulación del fluido dentro del decantador será de forma transversal al flujo en el resto del tratamiento. Esto permitirá mantener una relación ancho/largo óptima sin necesidad de una estructura de mayor dimensión.

Fijamos de esta manera la longitud total del sedimentador primario, que consiste en:

- Canaleta y vertedero de entrada
- Vertedero y canaleta de salida
- Cuerpo del sedimentador

Canaleta y vertedero de entrada

Este elemento hidráulico tiene como objetivo recibir el agua cruda y volcarla en el cuerpo del decantador con la menor perturbación posible. El ingreso del agua a la canaleta se hará mediante una prolongación de la cañería de alimentación, obstruida en su extremo y practicando cada 0,10 metros orificios de 8 milímetros de diámetro en la zona inferior del caño. Por lo tanto, el fluido cae en una cama de agua de una profundidad de 0,30 metros, lo que ayuda a dispersar la energía cinética del lixiviado. Discretizando de esta forma el ingreso del fluido, las corrientes se reducen considerablemente, y el vertedero cumple su función de entregar una lámina de fluido constante y con una baja turbulencia. El dispositivo se puede ver en la *Figura 8.30*.

El ancho de la canaleta de entrada será de 0,20 metros. Por la simpleza constructiva, y teniendo en cuenta el bajo caudal que se manejará, un vertedero liso de pared delgada tendrá un buen funcionamiento siempre y cuando se verifique periódicamente su horizontalidad; la pared del mismo deberá ser fabricada con una chapa lisa, preferentemente plástica por su capacidad de mantenerse funcional y por su inalterabilidad frente a ambientes agresivos. Podría dotarse de un sistema que permita verificar su horizontalidad como un tornillo pivotante en un extremo, y los restantes con agujeros largos que permitan regular la inclinación de la chapa mediante pequeños ajustes, como se ve en la *Figura 8.31*.

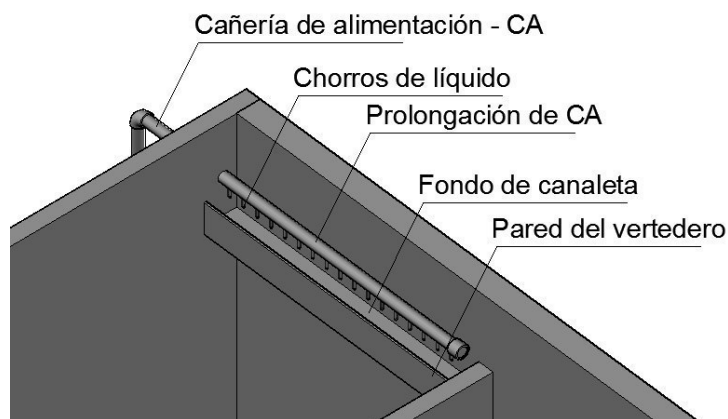


Figura 8.30 | Dispositivo de entrada al decantador.-

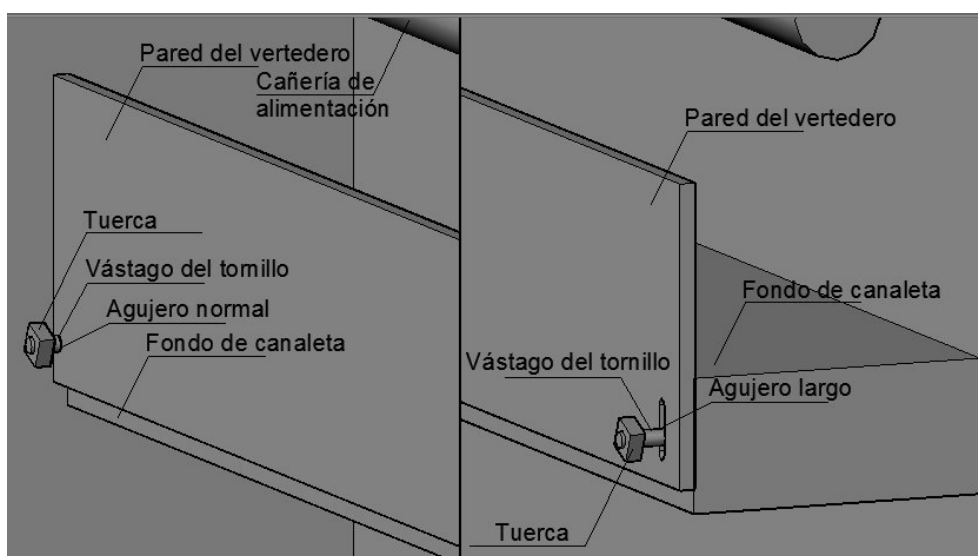


Figura 8.31 | Regulación de horizontalidad de la pared del vertedero. A la izquierda, el tornillo pivotante; a la derecha, el tornillo con agujero largo.-

Vertedero y canaleta de salida

El vertedero de salida, al igual que el de entrada, debe minimizar las corrientes y entregar un flujo con la menor alteración posible, de manera de permitir, aguas arriba, una sedimentación eficiente de las partículas que se pretende retener.

La horizontalidad de la pared del vertedero de salida puede regularse igual que para el caso del vertedero de entrada. La canaleta de salida se conecta, en su extremo, con la canaleta de ingreso a los tanques de depuración. La interacción entre estas canaletas crea un cambio en la dirección del fluido, de manera de que este ingrese al tanque de depuración de manera normal al plano de los discos (ver Figura 8.32). La canaleta tendrá, en todo su recorrido, un ancho de 0,30 metros.

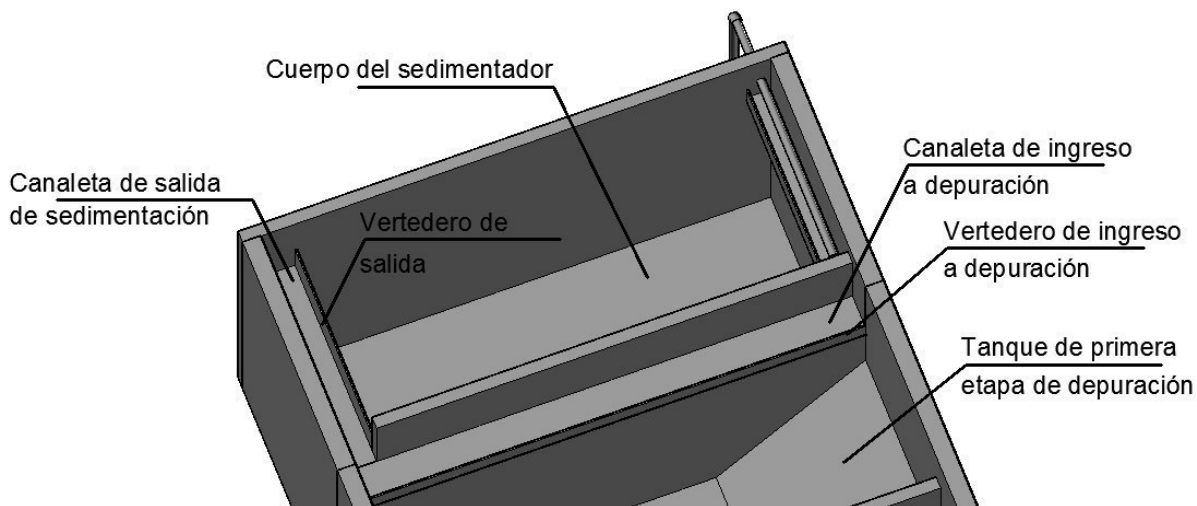


Figura 8.32 | Estructura de salida de sedimentación y entrada a depuración.-

El vuelco del agua en el tanque de la primera etapa de depuración se hará también mediante un vertedero de pared delgada, con el mismo mecanismo de verificación de la horizontalidad.

Cuerpo del sedimentador

Podemos determinar el largo del cuerpo del sedimentador como

$$L_S = L - a_{CE} - a_{CS}$$

Donde

L_S es el largo del cuerpo del sedimentador, en metros

L es el largo total del sedimentador primario, en metros

a_{CE} es el ancho de la canaleta de entrada, en metros

a_{CS} es el ancho de la canaleta de salida, en metros

Luego

$$L_S = 4,40 \text{ m} - 0,20 \text{ m} - 0,30 \text{ m}$$

$$L_S = 3,90 \text{ m}$$

El ancho del cuerpo del vertedero puede ser determinado fijando los límites del rango de la relación ancho/largo para un buen rendimiento en la sedimentación. Este parámetro, según los autores, oscila entre 1/2,5 y 1/10. Tendremos entonces

$$a/L_{\text{mín}} < a_s/L_S < a/L_{\text{máx}}$$

Donde

$a/L_{\text{mín}}$ y $a/L_{\text{máx}}$ son la relación mínima y máxima, respectivamente

a_s/L_s es la relación ancho/largo para nuestro sedimentador

$$1/2,5 < a_s/3,90 \text{ m} < 1/10$$

Entonces

$$0,39 \text{ m} < a_s < 1,56 \text{ m}$$

Por otro lado, relacionando el tiempo de retención hidráulica -o permanencia-, el caudal y el volumen del sedimentador

$$Vol = T_{RH} \times Q$$

Donde

T_{RH} es el tiempo de retención hidráulica, en horas

Q es el caudal, en metros cúbicos por hora

Despejando a_s

$$a_s = \frac{T_{RH} \times Q}{L_s \times H_s}$$

Adoptando un tiempo de retención hidráulica T_{RH} mínimo de 2 horas, y una profundidad H_s de 1,00 metro

$$a_s = \frac{2 \text{ horas} \times 0,95 \text{ m}^3/\text{hora}}{3,90 \text{ m} \times 1,00 \text{ m}}$$

$$a_s = 0,49 \text{ m}$$

Se adopta $a_s = 1,50 \text{ m}$ y se verifica

$$0,39 \text{ m} < 1,50 \text{ m} < 1,56 \text{ m}$$

Eliminación de la DBO

Con estas dimensiones adoptadas, podemos ahora determinar el porcentaje de remoción de DBO que se producirá durante la sedimentación.

$$c_s = \frac{Q}{A}$$

Donde

c_s es la carga superficial, en metros cúbicos por metro cuadrado día

Q es el caudal, en metros cúbicos por día

A es la superficie en planta del sedimentador, en metros cuadrados

$$c_s = \frac{22,875 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{1,50 \text{ m} \times 3,90 \text{ m}}$$

$$c_s = 3,91 \frac{m^3}{m^2 \text{ día}}$$

Haciendo uso de ábacos de Reducción de la DBO vs. Carga superficial, del libro *Abastecimiento de Agua y Alcantarillado*, el porcentaje de remoción es cercano al 40%. Conservadoramente, y ante la falta de un ábaco correspondiente para líquidos lixiviados, se podría adoptar un 35% de remoción.

$$\%R_s = 35\%$$

8.4.1.1.4. Sedimentador secundario

Para el sedimentador secundario, que tiene la función de retener el exceso de biomasa que pueda existir sobrenadando en el líquido tratado, se utilizará un sedimentador con las mismas dimensiones y funcionamiento que el de primario.

8.4.1.1.5. Área de biodiscos

Para efectuar una depuración de los líquidos lixiviados tendremos que obtener una superficie sobre la cual se producirá el crecimiento de los microorganismos, que degradarán de manera biológica el contenido contaminante.

Para esto se propondrá un tratamiento en etapas separadas por tabiques. Esto permitirá que se produzca, en cada una de las etapas, el crecimiento de distintos microorganismos que asimilarán determinados elementos en el líquido; tendremos así, por ejemplo, que en las primeras etapas proliferarán las bacterias que utilizan los compuestos de carbono, mientras que hacia el final del tratamiento serán más comunes los microorganismos nitrificantes, ya que la materia con alto contenido de carbono reduce su concentración.

Relación de áreas

Para un sistema de biodiscos consistente en tres etapas en serie, la relación de áreas (según la expresión de Morris A. Levin y Michael A. Gealt) es:

$$\%A_1 = 7,0527\%$$

$$\%A_2 = 22,3187\%$$

$$\%A_3 = 70,6286\%$$

Estos porcentajes, naturalmente, representan también la cantidad de discos de cada etapa con respecto a la cantidad de discos total.

El procedimiento algebraico para determinar estos porcentajes se muestra en el *Anexo 14.1.8*.

Para determinar el área total de biodiscos, es necesario conocer el valor de *remoción específica*. Según las experiencias que se han realizado para lixiviados con características similares a las esperadas, este valor oscila entre 8 y 28 g/m² día. Para tiempos de permanencia de un día o superiores, el porcentaje de remoción obtuvo siempre valores superiores al 70 por ciento, promediando el 80%.

Área necesaria de biodiscos

Para comenzar, debemos obtener la carga orgánica necesaria de ser removida por el sistema de biodiscos. Siempre se trabajará con el caudal más desfavorable, que responde a toda la superficie del módulo aportando, en época lluviosa y asumiendo los valores de carga contaminante registrados en rellenos sanitarios jóvenes.

Esta situación muy raramente se dé en la práctica, por dos motivos: los tiempos de construcción y operación de los módulos y, paralelamente, el “envejecimiento” de la masa de residuos.

El modo de construcción y funcionamiento del relleno sanitario hace que el aporte de lixiviados sea primero del primer módulo construido y utilizado; con el transcurso del tiempo, la operación se hará en el segundo módulo, y entonces aportarán líquidos contaminantes los dos módulos; y así sucesivamente. Esto hace que el líquido no tenga, inmediatamente desde el momento de la puesta en marcha del relleno sanitario, el valor de caudal más alto, sino que su valor aumenta paulatinamente con la ejecución de los módulos de enterramiento y su llenado, siendo el caudal de diseño el correspondiente a la sumatoria de todos los caudales de los módulos funcionando.

Para ese tiempo final, es decir el momento para el cual todos los módulos estén construidos y aportando, es de esperar que la carga contaminante de los líquidos del primer módulo sea considerablemente menor, ya que los procesos biológicos tienen ocurrencia también dentro de la masa de residuos, con lo que a más edad del relleno, menor carga contaminante biológica.

No obstante, se diseña para la situación más comprometida, y en todo caso, las instalaciones tendrán un muy buen desempeño, que cumplirá de manera superadora las exigencias reglamentarias.

El dimensionamiento se hará para el módulo M1, que al tener una superficie mayor que el resto de los módulos, su capacidad será también mayor; la operación del primer módulo se hará durante un tiempo que permita el diseño y construcción de una segunda unidad de procesamiento de líquidos lixiviados, que se podría adoptar igual a la Unidad 1. Por otro lado, esta forma de construcción y observación permanente, permite realizar cambios sobre el dimensionamiento y sobre alguno de los parámetros que fueron supuestos para la primera unidad, por lo que, con el transcurrir de la operación del relleno, el diseño de las otras unidades será más ajustado a la realidad, e incluso es posible que debido a la maduración natural -y consecuente reducción de las cargas contaminantes- de la masa de residuos, alguna de esas unidades no sea necesaria.

El producto del caudal por la concentración de DBO a los cinco días a remover dará el total de gramos de DBO que debemos extraer del líquido.

$$DBO_r = Q \times (DBO_{5E} - DBO_{5S})$$

Donde

DBO_r es la carga orgánica a remover, en gramos por día

Q es el caudal de lixiviado, en metros cúbicos por día

DBO_{5E} y DBO_{5S} son las concentraciones de DBO5 a la entrada -es decir, a la salida del sedimentador primario- y a la salida del tratamiento biológico, en gramos de DBO por metro cúbico de líquido.

Debido a la actuación del sedimentador primario sobre la DBO5, tendremos que

$$DBO_{5E} = DBO_5 \times \left(1 - \frac{\%R_S}{100}\right)$$

Donde

DBO_5 es la demanda bioquímica de oxígeno del líquido lixiviado inmediatamente luego de su captación

$\%R_S$ es el porcentaje de remoción de DBO5 que se produce en la etapa de sedimentación primaria.

Tenemos entonces

$$DBO_r = 22,875 \frac{m^3}{día} \times (7000 \times \left(1 - \frac{35}{100}\right) - 400) \frac{g}{m^3}$$
$$DBO_r = 94931 \frac{g}{día}$$

Ahora, considerando las experiencias de laboratorio para rellenos sanitarios similares, como se explicó previamente, obtendremos el área según la capacidad de depuración de un sistema de biodiscos típico, aplicado a líquidos lixiviados:

$$A = \frac{DBO_r}{R_E \times R_{\%}}$$

Donde

A es el área necesaria para reducir la carga orgánica del lixiviado, en metros cuadrados.

R_E es la remoción específica, en gramos de DBO por metro cuadrado por día, obtenido experimentalmente.

$R_{\%}$ es el porcentaje de remoción, obtenido experimentalmente.

Luego:

$$A = \frac{94931 \frac{g}{día}}{14 \frac{g}{m^2 día} \times \frac{80}{100}}$$
$$A = 8476 m^2$$

La superficie total de un disco viene dada por la expresión

$$A_{Disco} = \pi \times \frac{D^2}{4}$$

Donde D es el diámetro del disco. La superficie útil del disco es la que permite el crecimiento de la biomasa. Como sabemos, el crecimiento bacteriológico es posible cuando las bacterias son provistas de alimento y un medio apto para su desarrollo. El alimento para los organismos se encuentra justamente en el líquido, y el medio aeróbico es provisto por la constante rotación del disco.

Por lo tanto, el crecimiento de la biomasa se producirá en los sectores del disco donde se produzca, de manera alternada, el sumergido y luego la aireación.

Para que el proceso sea optimizado, la superficie del segmento circular sumergido debe ser de aproximadamente el 40 por ciento del área total, como se ve en la *Figura 8.33*:

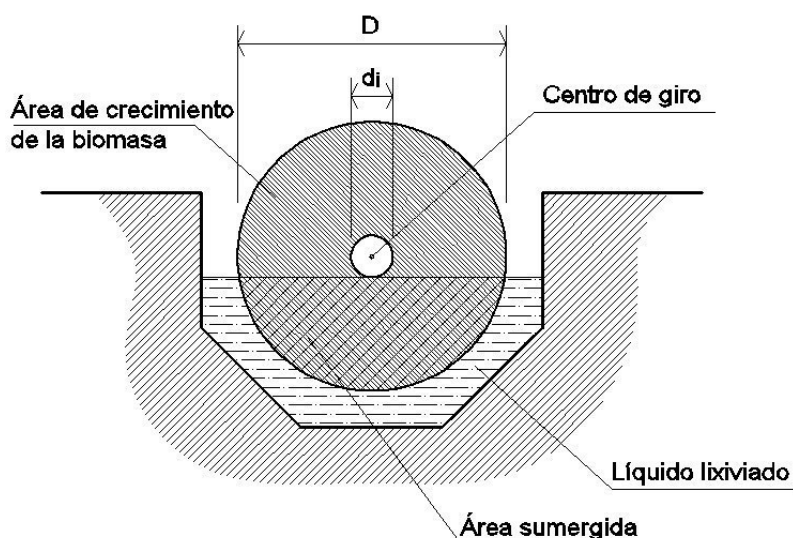


Figura 8.33 | Esquema de un biodisco.-

Igualando el área sumergida -que es el área de un segmento circular- al 40 por ciento del área del disco, y despejando el diámetro interno d_i en función del diámetro D , obtendremos

$$d_i = \frac{D}{2} \cos(0,40\pi)$$

Con esta expresión, podremos obtener el área útil del biodisco (área de crecimiento de la biomasa). Restando el área determinada por el diámetro d_i al área total, y multiplicando por ambas caras del disco, tenemos que si utilizamos un diámetro de 3,60 metros, el área aportada por un disco es de

$$A_{\text{útil1}} = \pi \times \frac{(3,60^2 - 0,55^2)}{2}$$

$$A_{\text{útil1}} = 19,87 \text{ m}^2$$

La cantidad de discos necesaria surge de dividir el área total sobre el área útil de cada disco

$$N = \frac{A}{A_{\text{útil1}}}$$

$$N = \frac{8476 \text{ m}^2}{19,87 \text{ m}^2 / \text{disco}}$$

$$N = 428 \text{ discos}$$

En cada etapa, habrá una cantidad de discos determinada por los porcentajes obtenidos en los párrafos anteriores.

$$N_{E1} = 427 \text{ discos} \times 7,0527\% = 31 \text{ discos}$$

$$N_{E2} = 427 \text{ discos} \times 22,3187\% = 96 \text{ discos}$$

$$N_{E3} = 427 \text{ discos} \times 70,6286\% = 301 \text{ discos}$$

8.4.1.1.6. Separación entre discos

La separación entre las caras de dos discos contiguos se estima según la carga orgánica total del fluido a tratar, en función de la superficie de desarrollo de la biomasa:

$$COT_S = \frac{Q \times DBO_{5E}}{A}$$

Donde

COT_S es la carga orgánica total en función de la superficie, en gramos por metro cuadrado día

Q es el caudal de lixiviado, en metros cúbicos por día

DBO_{5E} es la concentración de DBO5 a la salida del sedimentador primario

A es el área de biodiscos obtenida

$$COT_S = \frac{22,875 \frac{m^3}{día} \times 7000 \left(1 - \frac{35}{100}\right) \frac{g}{m^3}}{8476 m^2}$$

$$COT_S = 12,3 \frac{g}{m^2 día}$$

Como criterio para la separación de los discos, podríamos enunciar

$$\text{Separación mínima recomendada} \begin{cases} COT_S < 20 \frac{g}{m^2 día} \rightarrow 15 \text{ milímetros} \\ COT_S \geq 20 \frac{g}{m^2 día} \rightarrow 20 \text{ milímetros} \end{cases}$$

Adoptamos como separación entre discos, una S_D de 15 milímetros, y un espesor del disco E_D de 5 milímetros.

8.4.1.1.7. Longitud de los tanques

Ahora, podríamos determinar la longitud interna de cada tanque de la siguiente manera

$$L_{Tanque\ i} = P_{Ei} + N_{Ei} \times (S_D + E_D) - S_D + P_{Si}$$

Donde

$L_{Tanque\ i}$ es la longitud del tanque correspondiente a la Etapa i , en metros

P_{Ei} es la separación entre el plano del primer disco de la Etapa i y la pared del vertedero de entrada a la misma, en metros

N_{Ei} es la cantidad de discos de la Etapa i

S_D es la separación entre los discos, en metros

E_D es el espesor de los discos, en metros

P_S es la separación entre el plano del último disco de la Etapa i y la pared del vertedero de salida de la misma, en metros

Tendremos para cada etapa, entonces

$$L_{Tanque\ 1} = 0,20\ m + 31 \times (0,015 + 0,005)\ m - 0,015\ m + 0,20\ m$$

$$L_{Tanque\ 2} = 0,20\ m + 96 \times (0,015 + 0,005)\ m - 0,015\ m + 0,20\ m$$

$$L_{Tanque\ 3} = 0,20\ m + 301 \times (0,015 + 0,005)\ m - 0,015\ m + 0,20\ m$$

$$L_{Tanque\ 1} \cong 1,00\ m$$

$$L_{Tanque\ 2} \cong 2,30\ m$$

$$L_{Tanque\ 3} \cong 6,40\ m$$

8.4.1.1.8. Separación d_e

La separación d_e entre el contorno del disco y la pared del tanque puede tomarse como el 10 % del diámetro del disco.

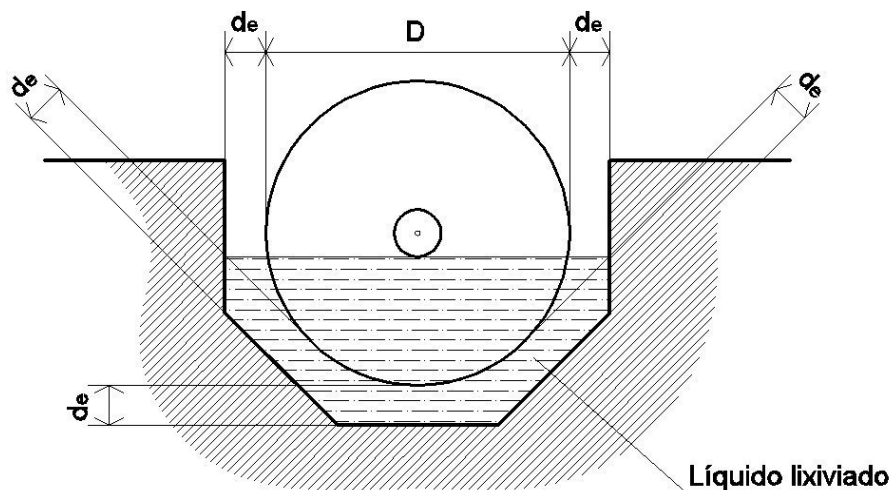


Figura 8.34 | Separación entre el contorno del disco y las paredes del tanque. -

$$d_e = 10\% \times D$$

$$d_e = 10\% \times 3,60\ m$$

$$d_e \cong 0,40 \text{ m}$$

Segmentando el borde del tanque como se mostró en la *Figura 8.34*, la sección mojada, determinada mediante un software de diseño asistido, es de

$$A_M = 6,7955 \text{ m}^2$$

8.4.1.1.9. Volumen específico

Se debe verificar el volumen específico del sistema, que se define como el volumen total por metro cuadrado de superficie de disco. Este parámetro determina el potencial de formación de zonas muertas -es decir, zonas en las que la mezcla o la depuración orgánica pudieran no ser correctas- y la capacidad de asimilar los efectos de los caudales de punta.

Para que no se produzcan estos efectos negativos, el volumen específico debe ser

$$5 \frac{L}{m^2} \leq V_{esp} \leq 9 \frac{L}{m^2}$$

El límite inferior queda definido debido a la necesidad de que un aumento súbito del caudal no afecte al tratamiento, y el límite superior acota la creación de zonas muertas dentro de los tanques.

Para nuestro sistema, tendremos

$$V_{esp} = \frac{V_B}{A}$$

Donde

V_{esp} es el volumen específico del sistema, en litros por metro cuadrado

V_B es el volumen de la Unidad 1, en litros

A es el área útil de todo el sistema, en metros cuadrados

$$V_{esp} = \frac{6,7955 \text{ m}^2 \times (1,00 + 2,30 + 6,40) \text{ m} \times 1000 \frac{\text{litros}}{\text{m}^3}}{8476 \text{ m}^2}$$

$$V_{esp} = 7,8 \frac{\text{litros}}{\text{m}}$$

8.4.1.1.10. Tiempo de retención hidráulico

El tiempo hidráulico de retención se determina como el cociente entre el volumen total del sistema por el caudal máximo.

$$T_{RHB} = \frac{V_B}{Q}$$

Donde

T_{RHB} es el tiempo de retención para el sistema de biodiscos, en horas

$$T_{RHB} = \frac{349,29 \text{ m}^3}{5,208 \frac{\text{m}^3}{\text{hora}}}$$

$$T_{RHB} \cong 69 \text{ horas}$$

Como se puede ver, el tiempo de retención que se maneja es muy superior a lo mínimo establecido para este tipo de tratamiento, donde las residencias o tiempos de retención raramente exceden las 24 horas. Esto, en principio, es muy positivo, ya que el rendimiento del proceso puede ser incluso superior al estimado.

8.4.1.1.11. Velocidad de rotación

La velocidad tangencial estándar para un tratamiento biológico de este tipo oscila entre 10 y 20 metros por minuto. La velocidad de rotación podría adoptarse de entre 1 y 3 revoluciones por minuto.

$$v_T = \frac{\pi \times D}{t}$$

Donde t es el tiempo empleado en dar una rotación completa del disco, en minutos. Adoptando inicialmente una rotación de 1 rpm:

$$v_T = \frac{\pi \times 3,60}{1 \text{ min}}$$

$$v_T = 11,31 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

8.4.1.1.12. Pileta de agua tratada

A la salida del tratamiento se construirá una pileta receptora y acumuladora del agua tratada. La misma, será el paso previo al volcado sobre las aguas de la Laguna Setúbal, y estará cubierta con tapa metálica ventilada similar a la del sistema de biodiscos. Su fondo será de hormigón armado, y sus paredes de mampostería de 0,30 metros de espesor, revestidas con mortero impermeable y pintura.

El criterio adoptado para determinar sus dimensiones es el de una capacidad de acumulación de al menos 8 horas de trabajo en el régimen de diseño, considerando que mientras se necesite efectuar alguna reparación o mantenimiento de los equipos, el sistema funcione por ese tiempo sin necesidad de interrupción.

$$V_{PA} = Q \times t_{ac} \quad ; \quad V_{PA} = L_{PA} \times A_{PA} \times h_{PA} \quad \rightarrow$$

$$Q \times t_{ac} = L_{PA} \times A_{PA} \times h_{PA}$$

Donde

V_{PA} es el volumen de la pileta de acumulación, en metros cúbicos

Q es el caudal de diseño del sistema, en metros cúbicos por hora

t_{ac} es el tiempo de acumulación, en horas

L_{PA} , A_{PA} y h_{PA} son el largo, ancho y alto -interiores- de la pileta de acumulación, en metros

Adoptando las dimensiones superficiales teniendo en cuenta la estructura que deberá construirse para su cubierta, y despejando la altura:

$$\frac{0,953 \frac{m^3}{h} \times 8 h}{3,40 m \times 2,00 m} = h_{PA}$$

$$1,12 m = h_{PA}$$

$$\rightarrow h_{PA} \cong 1,15 m$$

Se adopta una altura total interna de 1,50 metros, de manera de contar con el espacio suficiente para la instalación de los instrumentos de flotación y la ubicación de las ventilaciones.

8.4.1.2. Observaciones

El cálculo de este sistema de tratamiento de por biodiscos está ajustado a un caudal uniforme. Deberá operarse de manera de que el caudal se mantenga dentro de un rango de valores de caudales cercano al de diseño, ya sea regulando la salida del camión cisterna o construyendo un tanque pulmón receptor con un sistema de bombeo que entregue el caudal deseado a las instalaciones de depuración.

Al inicio del funcionamiento del sistema de biodiscos, sería recomendable efectuar un inóculo de la población bacteriana para acelerar el crecimiento y estabilización de la misma, y obtener un agua residual apta para volcado de la manera más pronta posible. El inóculo debería ser una porción de biomasa crecida en condiciones lo más similares posibles a las esperadas en el líquido lixiviado del relleno sanitario proyectado. Una posibilidad aceptable podría ser el traslado de fangos de las lagunas de tratamiento del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe -siempre manteniendo condiciones estrictas de seguridad y hermeticidad-; en su defecto, sería posible efectuar la carga de los tanques de depuración con aguas residuales domésticas, ya que la concentración de bacterias aeróbicas en las mismas resulta importante para un tratamiento de este estilo. En cualquiera de estos casos, la puesta en régimen de las instalaciones sería acelerada, ya sea en mayor o menor medida; en el caso de no efectuarse ningún tipo de inóculo, lo que constituye una práctica desaconsejable, debería realizarse un recirculado de las aguas hasta que el crecimiento de la biomasa permita obtener un agua apta para volcado en el cuerpo receptor.

La evacuación desde la pileta de acumulación de agua tratada deberá hacerse preferentemente por bombeo automático -activado por sistema de flotante-, ya que la extracción con un equipo similar a la cisterna de ingreso al tratamiento, ocasionaría un tránsito bastante más intenso dentro del predio, y asimismo sobre el terraplén de defensa, además de ser una práctica mucho más lenta, costosa y poco eficiente.

A la salida de la cañería de bombeo, es decir dentro del cauce de la Laguna Setúbal, deberá construirse una estructura que permita recibir las aguas provenientes del tratamiento sin generar erosiones peligrosas, por ejemplo, una cama de hormigón con pendiente. Para evitar el retroceso del fluido -principalmente en épocas de crecida de las aguas-, y el ingreso de basuras o alimañas al interior del caño, se deberá disponer sobre su remate una válvula tipo clapeta con cierre hermético.

Es necesario destacar que se trata de uno de los procesos de depuración biológica más flexible y versátil. Aunque el propósito del diseño de un sistema de biodiscos es obtener una estructura segura y funcional para un determinado período de tiempo, una deficiencia en el proceso de reducción de la carga contaminante podría salvarse efectuando una recirculación de los líquidos, modificando la velocidad de giro de los discos, incorporando nuevos discos, etc.

Frente al ingreso de algún contaminante inesperado que afecte a la población bacteriana, el sistema puede recuperarse más fácilmente que el resto de los tratamientos.

Con respecto al caudal que se utilizó para dimensionar, pueden hacerse algunas acotaciones. Contempla una situación sumamente negativa, que como ya se explicó, es muy poco probable en la práctica. No obstante, si llegase a ocurrir un aumento considerable del caudal, existe la posibilidad de erogarlo, es decir, actuar sobre su módulo de manera de que las instalaciones no vean afectada su capacidad.

De hecho, el caudal que se obtuvo y se utilizó para dimensionar las estructuras, es el caudal de producción de líquido, mas no necesariamente será el caudal que ingrese a las instalaciones de depuración; este último depende fundamentalmente de la capacidad de las unidades de bombeo y de la periodicidad de las operaciones de extracción. Aunque no es una situación óptima, retener el líquido dentro del relleno sanitario o del sistema de drenaje y captación por un corto período de tiempo es una variante muy utilizada, que otorga aún más flexibilidad al tratamiento biológico.

Inicialmente, podría construirse sólo un reactor de biodiscos como el proyectado. Monitoreando su funcionamiento, y realizando controles sucesivos sobre el caudal de líquidos lixiviados producido, podría tenerse conocimiento del nivel de funcionamiento de esta unidad. Podría no ser necesaria la construcción de un nuevo reactor, ya que el caudal quizás no aumente de manera significativa con la construcción y operación de un nuevo módulo de enterramiento; aun si el caudal aumentara realmente al estimado, el contenido de materia contaminante, debido al envejecimiento del primer módulo, se reduciría y por lo tanto la concentración total también sería menor que la inicial.

En definitiva, el tratamiento biológico, ante una cierta forma de imprevisibilidad de la respuesta de los microorganismos, debe ser constantemente observado, con el objeto de realizar eventuales ajustes sobre su funcionamiento.

8.5. Procedimiento dentro del Complejo Ambiental

Se describirán los pasos a seguir para el tratamiento de los RSU en función de su composición. En el *Anexo 14.2.14* se adjunta un esquema simplificado del proceso global. A su vez, se detalla a continuación el procedimiento para cada una de las 3 fracciones, referenciadas a los esquemas adjuntos en el *Anexo 14.2.15*.

8.5.1. Esquema general

- 1) Entrada de camiones por el Ingreso.
- 2) Control de vigilancia y registro de datos.
- 3) Pesaje en balanza - Registro P₁.
- 4) Descarga y tratamiento en función de la clasificación.
- 5) Lavado y desinfección del camión.
- 6) Pesaje en balanza y Registro P₂.
- 7) Egreso.

8.5.2. Destino del contenido en base a su composición

8.5.2.1. Fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (foRSU)

En el *Anexo 14.2.16* se adjuntan los esquemas que corresponden los pasos que se describen a continuación.

8.5.2.1.1. Planta Clasificadora

- Descarga en Tolva de foRSU - Esquema R1.
- Traslado dentro de la Tolva de foRSU mediante Tornillo sin fin hacia la Cinta de Elevación- Esquema R2.
- Elevación de foRSU desde la Tolva hacia la Cinta de clasificación mediante la Cinta de elevación - Esquema R3.
- Cinta de clasificación: en primer lugar deberá quitarse la bolsa en la que vienen contenidos los residuos. Esta tarea se realiza de forma manual por dos operadores de la planta, los cuales, mediante la utilización de una herramienta cortante, rompen y retiran la bolsa, esparciendo su contenido en la Cinta de clasificación. La bolsa plástica será depositada en un contenedor para su posterior acondicionamiento y comercialización.

En el caso de la fracción orgánica de los RSU, la operación que se realiza en la cinta se denomina "*Clasificación negativa*" y consiste en extraer todos aquellos materiales que no deben ingresar al reactor, colocándolos en contenedores para luego darles disposición final -previo registro de peso P₃ en la balanza- en el Relleno Sanitario. Esta tarea será ejecutada en forma manual por 8 operadores de la planta - Esquema R4.

- Quedará de esta manera presente en la cinta la materia orgánica de forma exclusiva. La cinta se elevará nuevamente, y terminará su recorrido a una altura de 1,90[m], depositando el material por simple gravedad en el contenedor final que -previo pesaje y registro en la balanza P₄- será destinado al área de tratamiento de materia orgánica - Esquema R5.

8.5.2.1.2. Tratamiento

- Ingreso manual al molino de materia orgánica seleccionada. Incorporación de la cantidad de agua necesaria para la molienda - Esquema M1.
- Traspaso del licor desde el molino hacia el tanque pulmón mediante la bomba centrífuga 1 - Esquema M2.
- Ingreso del licor al tanque pulmón. Incorporación del agua necesaria para la digestión anaeróbica. Decantación de partículas arenosas. Precalentamiento del licor - Esquema M3.
- Traspaso del licor desde el tanque pulmón hacia el primer digestor mediante la bomba centrífuga 2 - Esquema M4.
- 1° Digestor: Ingreso del licor. Calefacción del licor. Agitación continua - Esquema M5.
- 2° Digestor: Tránsito del licor semi-digerido desde el 1° Digestor por introducción de licor en el 1° Digestor. Agitación continua. No se requiere calefacción - Esquema M6.
- Los gases producidos en el 1° Digestor se trasladan al gasómetro del 2° Digestor, produciendo al mismo tiempo, una presión positiva en todo el sistema - Esquema M7.
- Purificación del biogás. Eliminación de H₂S - Esquema M8.
- Generación de energía eléctrica - Esquema M9.
- La materia orgánica no digerida (ceniza), es extraída de ambos digestores mediante bombeo - Esquema M10.

8.5.2.2. Residuos recuperables

Los esquemas que corresponden los pasos que se describen a continuación se adjuntan en el *Anexo 14.1.16*.

8.5.2.2.1. Planta Clasificadora

- Descarga en Tolva de residuos recuperables - Esquema R1.
- Traslado dentro de la Tolva de los residuos mediante Tornillo sin fin hacia la Cinta de Elevación- Esquema R2.
- Elevación de residuos desde la Tolva hacia la Cinta de clasificación mediante la Cinta de elevación - Esquema R3.

- Cinta de clasificación: en primer lugar deberá quitarse la bolsa en la que vienen contenidos los residuos. Esta tarea se realiza de forma manual por dos operadores de la planta, los cuales, mediante la utilización de una herramienta cortante, rompen y retiran la bolsa, esparciendo su contenido en la Cinta de clasificación. La bolsa plástica será depositada en un contenedor para su posterior acondicionamiento y comercialización.
- En el caso de la fracción recuperable de los RSU, la operación que se realiza en la cinta se denomina “*Clasificación positiva*” y consiste en extraer todos aquellos materiales en función de su composición -Cartones y papeles, plásticos, vidrios y metales- colocando cada uno en un contenedor para su posterior acondicionamiento y comercialización. Esta tarea será ejecutada en forma manual por 8 operadores de la planta - Esquema R4.
- Quedarán de esta manera presentes en la cinta todos aquellos materiales que no puede ser recuperados. La cinta se elevará nuevamente, y terminará su recorrido a una altura de 1,90[m], depositando el material de rechazo por simple gravedad en el contenedor final que -previo pesaje y registro en la balanza P₅- será destinado al área del Relleno Sanitario para darle disposición final - Esquema R5.
- El contenido de cada contenedor debe ser comprimido en las prensas, y enfardado - Esquema R6.
- Se deberá registrar su peso -P₆- y disponerse en la zona de acopio. En el caso de los materiales que deban ser resguardados de las inclemencias del clima, su acopio se dispondrá en el interior de la planta, en aquellas zonas diseñadas para eso. Por otra parte, aquellos materiales a los cuales estas variables no afecten su calidad, podrán ser acopiados en el exterior -aunque bajo techo-, cuando el espacio dentro de la planta se haya colmado - Esquema R7.
- Comercialización con la empresa acopiadora - Esquema R8.

8.5.2.3. Residuos irrecuperables

Los residuos irrecuperables serán descargados directamente en el área del Relleno Sanitario. Sin embargo, al comienzo de la implementación del proyecto, se pasará esta fracción por la Planta Clasificadora al igual que las otras dos fracciones -tal como se mencionó en el apartado 8.2.1.3 correspondiente a esta fracción-, ya que se estima que los hábitos de clasificación en origen no alcancen los porcentajes esperados hasta pasado un determinado tiempo.

En el *Anexo 14.2.17* se adjuntan los esquemas que corresponden los pasos que se describen a continuación.

8.5.2.3.1. Relleno Sanitario

- Ingreso del tractor con acoplado (cargado) al sector del relleno sanitario y al módulo de enterramiento - Esquema I1.
- Ubicación del tractor en el sector determinado para el llenado de la celda diaria - Esquema I2.

- Vallado de la celda diaria con los módulos de cerco móvil necesarios para impedir voladuras en la zona aun no cubierta - Esquema I3.
- Volcado de los residuos y compactación (manual o mecánica, según pendientes, disponibilidad de equipo y complejidad de la forma terminada requerida) en capas de entre 0,15 y 0,20 metros de espesor - Esquema I4.
- Egreso del tractor con acoplado (descargado) - Esquema I5.

8.5.2.3.2. Tratamiento de lixiviados

- Se sitúa el camión con cisterna y bomba con motor a explosión -o tractor con cisterna y bomba acopladas- en la dársena de extracción de lixiviados - Esquema L1.
- Se introduce la cañería flexible a través de la estructura prevista hasta alcanzar el fondo de la fosa de lixiviados y se produce el desagote completo de la misma activando el equipo de bombeo - Esquema L2.
- Se retira la manguera y se desplaza el camión a la siguiente dársena - Esquema L3.
- Una vez retirado todo el líquido -o cuando la capacidad de la cisterna se vea agotada, lo que ocurra primero- la cisterna se desplaza hacia la zona de tratamiento de lixiviados - Esquema L4.
- En la entrada del tanque de sedimentación, se vuelca en el embudo a caudal constante - aproximadamente 0,953 [m³/seg] ó 0,265 [lts/seg]- el lixiviado extraído - Esquema L5.
- A la salida del tratamiento, la pileta de acumulación recibirá el líquido depurado listo para ser volcado en las aguas de la Laguna Setúbal; un mecanismo de flotador, activará una bomba eléctrica -cuando se alcance el máximo nivel admisible dentro de la pileta- que conducirá las aguas hacia el valle de la Laguna - Esquema L6.

8.6. Balance de masa y energía

Se realizarán los balances de ingreso y egreso de materia y energía dentro del Complejo Ambiental. Para ello se analizarán las 3 fracciones de residuos por separado. A continuación se resumen los valores correspondientes a las cantidades máximas acumuladas, y en el Anexo 14.1.18 se muestra un balance equivalente diario.

8.6.1. Fracción orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (foRSU)

a) Pesaje en balanza - Registro P₁.

- Cantidad diaria estimada para el año 2036:

$$P_T = 15,33[tn]$$

- Considerando un coeficiente de desvío de foRSU del 60%:

$$P'_T = P_T \times 60\% = 15,33[tn] \times 0,6 = 9,20[tn]$$

- Cantidad acumulada máxima correspondiente a 3 días:

$$P_1 = P'_T \times 3[dias] = 9,20[tn] \times 3[dias] = 27,59[tn]$$

- Cantidad acumulada mínima correspondiente a 2 días:

$$P_2 = P'_T \times 2[dias] = 9,20 \left[\frac{tn}{dia} \right] \times 2[dias] = 18,40[tn]$$

b) Molino.

- Cantidad de agua a incorporar para realizar la molienda (15% ST):

$$R_m = 0,457[lts/kg]$$

$$A_{1m} = R_m \times P_1 = 0,457 \left[\frac{lts}{kg} \right] \times 27,59[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} = 12608,63[lts]$$

$$A_{2m} = R_m \times P_2 = 0,457 \left[\frac{lts}{kg} \right] \times 18,40[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} = 8408,80[lts]$$

c) Tanque pulmón.

- Cantidad de agua a incorporar para realizar la digestión (8% ST): $R_{tp} = 1,108[lts/kg]$

$$A_{1tp} = R_{tp} \times P_1 = 1,108 \left[\frac{lts}{kg} \right] \times 27,59[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} = 30569,72[lts]$$

$$A_{2tp} = R_{tp} \times P_2 = 1,108 \left[\frac{lts}{kg} \right] \times 18,40[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} = 20387,20[lts]$$

- Cantidad de calor a suministrar (15°C):

$$C_{tp} = 15,38 \left[\frac{kcal}{kg} \right]$$

$$C_{tp1} = C \times (P_1 + A_{1m} + A_{1tp})$$

$$C_{tp1} = 15,38 \left[\frac{kcal}{kg} \right] \times \left[27,59[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} + (12608,63[lts] + 30569,72[lts]) \times \frac{1[kg]}{1[lts]} \right]$$

$$C_{tp1} = 1088417,22[kcal]$$

$$C_{tp2} = C \times (P_2 + A_{2m} + A_{2tp})$$

$$C_{tp2} = 15,38 \left[\frac{kcal}{kg} \right] \times \left[18,40[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} + (8408,80[lts] + 20387,20[lts]) \times \frac{1[kg]}{1[lts]} \right]$$

$$C_{tp2} = 725874,48[kcal]$$

d) 1° Digestor.

- Cantidad de calor a suministrar (25°C):

$$C_d = 30,76 \left[\frac{kcal}{kg} \right]$$

$$C_d = C \times [P'_T \times (1 + R_m + R_{tp})]$$

$$C_d = 30,76 \left[\frac{kcal}{kg} \right] \times \left[9,20[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} \times \left(1 + \left(0,457 \left[\frac{lts}{kg} \right] + 1,108 \left[\frac{lts}{kg} \right] \right) \times \frac{1[kg]}{1[lts]} \right) \right]$$

$$C_d = 725967[kcal]$$

e) 2° Digestor.

- Generación de Biogás:

$$SV = P'_T \times 0,19 \times 0,90 = 9,20[tn] \times 0,171 = 1,57[tn]$$

$$G_B = 0,585 \left[\frac{m^3}{kg SV} \right]$$

$$B_G = 0,585 \left[\frac{m^3}{kg} \right] \times 1,57[tn] \times \frac{1000[kg]}{1[tn]} = 918,45[m^3]$$

- Lodos:

$$C = 10\% \times ST$$

$$ST = 1,75[tn]$$

$$C = 0,10 \times 1,75[tn] = 0,175[tn] = 175[kg]$$

f) Generador.

$$C_B = 6,102 \left[\frac{kWh}{m^3} \right]$$

$$E = C_B \times B_G = 6,102 \left[\frac{kWh}{m^3} \right] \times 918,45 \left[\frac{m^3}{dia} \right] = 5604,38 \left[\frac{kWh}{dia} \right]$$

$$E' = 0,25 \times 5604,38 \left[\frac{kWh}{dia} \right] = 1401,10 \left[\frac{kWh}{dia} \right]$$

8.6.2. Fracción Recuperable de los Residuos Sólidos Urbanos

a) Pesaje en balanza - Registro P₁.

Cantidad diaria estimada para el año 2036:

$$P_T = 11,65[tn]$$

Considerando un coeficiente de desvío de residuos recuperables del 25%:

$$P'_T = P_T \times 25\% = 11,65[tn] \times 0,25 = 2,91[tn]$$

Cantidad acumulada máxima correspondiente a 7 días:

$$P_1 = P'_T \times 7[dias] = 2,91[tn] \times 7[dias] = 20,39[tn]$$

b) Clasificación de materiales según su composición: Cartón y papel, plásticos, vidrio, y metales. Composición en *Tabla 8.14*.

Material	Sub-clasificación	Cantidades	
		[%]	[tn]
Papel y Cartón 45%	Cartón	65	0,847
	Papel archivo	26	0,334
	Papel blanco	9	0,120
	Tetrabrick	1	0,008
	Total	100	1,310
Plásticos 37%	PET Cristal	38	0,408
	PET Verde	8	0,090
	Soplado	12	0,126
	Bazar	5	0,057
	Nylon	37	0,396
	Total	100	1,077
Vidrio 13%	Total	13	0,378
Metales 5%	Cobre	3	0,004
	Aluminio (latas)	10	0,015
	Aluminio (desodorantes)	11	0,016
	Aluminio (mezcla)	3	0,005
	Baterías	2	0,003
	Latas	70	0,102
	Total	100	0,146
Total general			2,91

Tabla 8.14 | Composición de los residuos recuperables.-

8.6.3. Fracción Irrecuperable de los Residuos Sólidos Urbanos

a) Pesaje en balanza - Registro P_1 .

Cantidad diaria estimada para el año 2026 (tomando un promedio de la cantidad acumulada durante la vida útil del Relleno Sanitario):

$$P_T = 25,94[tn]$$

Considerando un coeficiente de desvío global del 39,5%:

$$P'_T = P_T \times (1 - 39,5\%) = 25,94[tn] \times (1 - 0,395) = 15,69[tn]$$

Cantidad acumulada máxima correspondiente a 7 días:

$$P_1 = P'_T \times 7[dias] = 15,69[tn] \times 7[dias] = 109,83[tn]$$

b) Relleno Sanitario.

- Cantidad de suelo suelto a utilizar para realizar la cobertura diaria:

$$S_S = 0,380[m^3/tn_{RI}]$$

$$S_{ST} = S_S \times P_1 = 0,380 \left[\frac{m^3}{tn_{RI}} \right] \times 109,83[tn_{RI}] = 41,74[m^3]$$

- Cantidad de suelo compactado a utilizar para realizar la cobertura diaria:

$$S_C = 0,292[m^3/tn_{RI}]$$

$$S_{CT} = S_C \times P_1 = 0,292 \left[\frac{m^3}{tn_{RI}} \right] \times 109,83[tn_{RI}] = 32,07[m^3]$$

8.7. Plan de Viviendas

Desde el análisis de la problemática general de los residuos en la ciudad de San José del Rincón, se tuvo conocimiento de que algunas ramas del problema eran comunes a varios abordajes, o dicho de otro modo, el análisis de la situación con los residuos traía a colación temas no menos importantes; entre ellos, el déficit habitacional de algunos sectores de la sociedad rinconense.

Tomando ahora como base la carencia habitacional de algunos sectores sociales, y considerando la incorporación de parte de los mismos -principalmente a los recuperadores informales- a los procesos que tendrán lugar en las instalaciones que se proyectan en este documento, pretenderemos iniciarnos en la solución parcial de esto, y brindar una propuesta social y humanamente agradable.

8.7.1. Necesidad de un complejo de viviendas

Una gran parte de los recuperadores informales que se encuentran trabajando en el basural a cielo abierto actualmente, viven en asentamientos -o viviendas propias- en las inmediaciones del mismo. Esto conlleva un gran y constante riesgo a su salud, por lo que una reubicación es, según nuestro criterio, sumamente necesaria ya que los efectos nocivos que acarrea el sitio contaminado no cesarán en tiempos humanamente aceptables.

El relevamiento de este grupo social indica que seis familias se encuentran habitando y trabajando en las inmediaciones del predio del basural, cada una compuesta por entre 5 y 6 miembros (padres e hijos). Este será entonces el grupo sobre el cual centraremos nuestra propuesta de viviendas.

Otro de los motivos por el que resulta viable la implementación de una serie de viviendas en las cercanías del predio, es justamente la facilidad de acceso al mismo para los trabajadores. Reducir las distancias entre sus hogares y sus lugares de trabajo aumenta notablemente la percepción positiva de su actividad.

8.7.2. Diseño de la vivienda

8.7.2.1. Ingreso a la vivienda

El ingreso se hará atravesando un porche y evitando que el vano de la puerta se oriente directamente hacia la calle.

En el frente de la vivienda existe el espacio disponible para el ingreso y estacionamiento de un automóvil de medidas estándar.

8.7.2.2. Sector social

Se proyectará un sector de estar - comedor sin divisiones físicas permanentes, con dimensiones para una familia numerosa. Sobre la pared con orientación Este de la vivienda se construirá un hogar a leña, que brindará mucha calidez al ambiente y permitirá que la calefacción se haga mediante un combustible renovable, y que por otro lado sea abundante en la zona y de relativo fácil acceso.

8.7.2.3. Sector íntimo

Idealmente, se deberían prever 3 dormitorios, pero por cuestiones económicas se diseñará cada vivienda con 2 dormitorios, dejando previsto el espacio para la construcción futura de un nuevo dormitorio.

Se diseñará un cuarto de baño de dimensiones cómodas, con las instalaciones correspondientes a un baño principal (inodoro, bidet, lavabo, receptáculo de ducha y agua caliente). Al no contar con un baño en el sector social, el baño principal será ubicado en la frontera entre las dos zonas.

8.7.2.4. Sector de servicios

Se propondrá una cocina lineal, con las instalaciones mínimas para un buen nivel de vida (bacha de cocina, cocina, espacio para heladera, mesada con mueble y agua caliente).

A en el exterior de la vivienda, protegido por una galería, se ubicará el sector de lavadero, provisto de una pileta fija y conexiones para lavarropas (agua fría, caliente y desagüe).

8.7.3. Espacios comunes

8.7.3.1. Plaza

Todas las familias tienen miembros en edad escolar o preescolar, por lo que un sector de juegos e interacción infantil es indispensable para su buen crecimiento y desarrollo social.

Se prevé un espacio destinado a la instalación de juegos de plaza, areneros y bancos para niños, para fomentar el desarrollo de las actividades de los menores en las inmediaciones de sus hogares. Además, se instalarán bancos y una zona de permanencia para los adultos que supervisen a los niños.

Toda esta zona de recreación infantil deberá estar perfectamente cerrada para impedir que los infantes atraviesen los límites de la misma e ingresen a la zona de tránsito de vehículos.

8.7.3.2. Espacio deportivo

Se diseñará un espacio deportivo de piso natural, de dimensiones importantes para emplazar un terreno de fútbol o hockey. A futuro, existe la posibilidad de construir un piso rígido que permitirá ampliar la gama de deportes practicados (vóley, básquet, patinaje, etc.).

8.7.3.3. Salón de Usos Múltiples

El objetivo de la creación de este espacio cubierto es el de servir de alojamiento para reuniones, cursos de capacitación, y en definitiva cualquier evento que amerite la conglomeración de personas. Se equipará con sanitarios y una cocina de dimensiones generosas dotada de asador.

El conjunto de espacios comunes también tiene como objetivo ser una especie de escudo frente a la zona de circulación de vehículos, tanto visual como física.

9. Evaluación Socio-Ambiental del proyecto |

El proyecto que se ha propuesto tiene un fuerte carácter ambiental: todas los componentes del mismo son motivadas por una necesidad de disminuir los impactos negativos que tiene la generación de residuos sobre el medio, tanto natural como antrópico.

El Estudio de Impacto Ambiental tiene un vínculo muy importante con los objetivos que se plantearon inicialmente. De hecho, la necesidad del proyecto se funda en la expectativa de mejora de los impactos negativos que fueron observados, buscando prevenirlos, mitigarlos y/o compensarlos.

9.1. Beneficios que implica la ejecución del Proyecto

Mejora en la calidad del servicio de recolección de residuos

Al aplicar un Sistema de Recolección de Residuos prolijo, ordenado y constante, se pretende que tanto los vecinos como todos los actores involucrados, se vean beneficiados gracias a la incorporación de una especie de rutina; esto es, que cada vecino conozca, con una buena precisión relativa, el horario en el cual debe depositar los residuos en la vía pública para que los mismos permanezcan en la misma el menor tiempo posible. Esto redundará en una reducción de la contaminación de la ciudad.

Asociado a esto, el tránsito de los camiones debe ser planteado de manera que su impacto negativo en las actividades de la ciudad -principalmente en la zona central- sea el menor posible, y asimismo el consumo de recursos necesarios para la recolección.

Comienzo de la recuperación del predio del antiguo Basural

Desde el comienzo de la operación del relleno sanitario, se clausura definitivamente el predio del antiguo basural como lugar de disposición final, impidiendo el ingreso de cualquier persona al mismo.

Luego de una evaluación técnica, ambiental y económica, se podría retirar parte del suelo contaminado por años de volcado en el sitio, para ser utilizado en el nuevo relleno como cobertura diaria o intermedia. Más tarde, se debería incorporar suelo limpio, libre de contaminantes y de características similares al original. De esta manera, se avanzaría en la recuperación de un predio natural del valle de la Laguna Setúbal, con la recuperación paisajística, vegetal y animal que eso involucra.

Mejora en la calidad de vida de la población local

El foco infeccioso -tanto para el ambiente natural como para la salud pública y particularmente de los recuperadores informales- que significa el crecimiento de un Basural a Cielo Abierto está descripto previamente. Con el fin de esta práctica, se pretende que los residuos sean trasladados a un nuevo sitio donde su tratamiento sea el adecuado -en condiciones controladas- y sus impactos sean minimizados, con el consecuente impacto positivo en la salud como en la calidad del ambiente local, y por tanto, mejorando la calidad de vida de la población.

Implementación de una fuente de energía alternativa

La necesidad y disponibilidad de energía es una de las condicionantes en el desarrollo de cualquier sociedad moderna. Con el diseño de las instalaciones que permitan recuperar la energía de biomasa, se disminuye el residuo orgánico y por otro lado se aprovecha una energía muy valiosa que puede ser inyectada a la red nacional eléctrica. De antemano se entiende que el volumen energético generado es muy bajo comparado con la demanda, pero es un buen antecedente para extender esta práctica a todo el territorio argentino.

9.2. Impactos ambientales

La primera instancia de un estudio de estas características es prever con la mayor precisión posible los impactos que se producirán sobre el medio a raíz de la construcción y operación del proyecto, identificando además en que etapa del mismo se producirán.

Podemos clasificar a los impactos en dos grandes grupos: los que ocurren durante las tareas de construcción y puesta en funcionamiento, y los que se suceden durante la operación de las estructuras.

1) Ejecución de la obra

- Trabajos preliminares e ítems iniciales de obra
 - Camino de ingreso al predio
 - Construcción del obrador e instalaciones provisorias
 - Remoción de vegetación grande y capa de suelo superficial
 - Relleno del terreno y nivelación

Estos ítems de obra crean el entorno para todas las tareas que se van a ejecutar más adelante. Son, por lo tanto, el primer conjunto de impactos que se harán sobre el medio, y donde por lo general pueden ocurrir situaciones no deseadas, ya sea por mala planificación, por insatisfacción de los vecinos debido a la intervención que significan las obras en la zona, por cuestiones logísticas que deben ser ajustadas, etc.

Algunos de los impactos que pueden ocurrir mientras se desarrollen estas tareas son:

- ruidos de maquinarias
- emanación de gases de combustión
- emanación de olores
- contaminación paisajística y visual
- polvo en la atmósfera por movimiento de suelos
- posible derrame de aceites o combustibles
- demoras en el tránsito sobre la calle lateral a la RP1
- generación de residuos sólidos

- remoción de vegetación
- afectación a la fauna, ya sea terrestre, área y acuática
- cambios en la escorrentía superficial
- afectación a las viviendas aledañas al predio
- adquisición, traslado y acopio de materiales pulverulentos y/o con riesgo contaminante
- circulación de vehículos de distinto porte
- cambios en el uso del suelo
- Construcción de las instalaciones definitivas
 - Edificios administrativos y metálicos
 - Instalaciones de depuración de líquidos lixiviados y licor de biodigestión (reja de lavado de vehículos, sistemas de biodiscos, piletas de acumulación, cañería y estructuras de salida)
 - Instalación del sistema de biodigestión (molino, tanque pulmón, digestores)
 - Caminos perimetrales permanentes
 - Red de drenaje pluvial
 - Módulo de enterramiento (terraplenes, impermeabilización, drenes y fosas de lixiviados)

La primera de estas tareas involucra la creación de un hábitat para todas las operaciones administrativas que se desarrollarán en la planta. El edificio deberá contar con todas las instalaciones que se requieren en cualquier dependencia municipal: electricidad, agua, internet, telefonía.

Los edificios metálicos albergarán todas las actividades que deben ser realizadas como parte de los procesos, asimilables a una industria, que darán como resultado energías alternativas y productos secundarios.

El resto de las instalaciones, corresponden a los procedimientos necesarios de la gestión ambiental del complejo, que deben ser construidas y puestas a funcionar correctamente desde el inicio de las actividades. Los impactos derivados de estas instalaciones, podrían ser:

- ruidos de maquinarias y herramientas
- emanación de gases de combustión
- emanación de olores
- contaminación paisajística y visual
- polvo en la atmósfera por movimiento de suelos

- posible derrame de aceites o combustibles
- generación de residuos sólidos
- impermeabilización permanente de los suelos (afectación de las escorrentías naturales)
- cambios en los cursos superficiales de escurrimiento
- adquisición, traslado y acopio de materiales pulverulentos y/o con riesgo contaminante

2) Operación del Complejo Ambiental

- o Funciones administrativas
- o Mantenimiento de máquinas, equipos y edificios
- o Tratamiento inicial de residuos
- o Acopio y comercialización de materiales recuperados
- o Procesamiento de la materia orgánica y administración de la energía recuperada
- o Operaciones de disposición final en relleno sanitario
- o Tratamiento y volcado de líquidos lixiviados
- o Enterramiento definitivo de la fracción de rechazo de los RSU

Durante el período de vida útil de las instalaciones, todo el conjunto de tareas de operación del complejo se harán de forma simultánea; por lo tanto, no tiene sentido dividir los impactos según su tiempo de ocurrencia, sino que todos se producen más o menos al mismo tiempo y de manera sostenida mientras transcurra el periodo de diseño.

Los impactos que se derivan de la operación del Complejo Ambiental pueden ser:

- ruidos de maquinarias y herramientas
- emanación de gases de combustión
- emanación de olores
- contaminación paisajística y visual
- polvo en la atmósfera por movimiento de suelos
- posible derrame de aceites o combustibles
- generación de residuos sólidos
- impermeabilización permanente de los suelos (afectación de las escorrentías naturales)
- cambios en los cursos superficiales de escurrimiento

- adquisición, traslado y acopio de materiales pulverulentos y/o con riesgo contaminante
- posible proliferación de plagas y vectores
- venteo de gases a la atmosfera
- almacenamiento controlado de pasivos ambientales
- protección de acuíferos subterráneos
- afectación de acuíferos superficiales
- reinserción de materiales al círculo productivo
- manejo de sustancias contaminantes peligrosas
- creación de puestos de empleo estable

9.3. Análisis de los impactos identificados

Con lo que fue analizado en los párrafos precedentes, podríamos construir un resumen donde, además de mencionarse claramente cada uno de los impactos, se detalle sobre qué factor del medio, natural o antrópico, tienen incidencia, su nivel de importancia y magnitud, y la etapa en la que se manifiesta.

Una de las formas más aceptadas de representar todas estas cuestiones de forma breve y clara, es la matriz de Leopold. En el *Anexo 14.3.12* se presenta dicha matriz.

9.4. Medidas de prevención, mitigación y remediación

Una vez que se han identificado los impactos y sus características, es importante actuar sobre los perjuicios que ocasionan los negativos, y en lo posible acentuar los efectos de los positivos.

Para esto, y focalizándonos ahora en los impactos negativos, es necesario pensar una serie de actividades u operaciones que tengan como objetivo prevenir (evitar que ocurra), mitigar (reducir los efectos previstos) o remediar (buscar generar un impacto positivo que compense al menos en parte al analizado) las consecuencias de cada impacto. Con este objetivo, desde la etapa de diseño del Complejo Ambiental, son consideradas las actuaciones, tanto estructurales como no estructurales, orientadas a minimizar los impactos ambientales negativos, como son la impermeabilización de los módulos de enterramiento, coberturas, barrera forestal, etc.

Para una lectura más clara y concreta, se desarrollarán las medidas separando los impactos según se trate de tareas de Ejecución de la Obra o de Operación del Complejo.

Medidas a implementar durante la ejecución de las obras

- Se deberá trabajar siempre con maquinaria y herramientas en buen estado, verificando la inexistencia de pérdidas de combustible o lubricante, y con motorizaciones de bajo nivel de emisión de gases contaminantes, ruidos y residuos.
- Debido a las características de los suelos de la zona, es necesario mantener el terreno humedecido siempre que sea posible, ya que de esta manera se contiene gran parte de las partículas de polvo, que de otra manera, se encontraría suspendido en la atmosfera.
- Se deberá cercar la zona de obra con una cortina guardapolvo de tela -símil media sombra-, que además de retener parte del polvo, cumple la función de obstruir la visual desde y hacia el interior de las viviendas cercanas.
- Las aguas precipitadas sobre el predio deben ser correctamente evacuadas hacia zonas más bajas, considerando que su evacuación posterior a la Laguna Setúbal se haga sin afectaciones a las viviendas ni a los terrenos. Para esto se deberá lograr una pendiente adecuada, construir un buen sistema de drenaje y un camino con un buen perfilado transversal.
- Para evitar que las demoras en el tránsito sean demasiado severas, y asimismo reducir el riesgo de accidentes, se deberá planear el ingreso de la maquinaria de mayor porte, materiales y herramientas durante los horarios en los que la circulación vehicular sea más baja, de manera de reducir las interferencias con el medio. Igualmente, el ingreso de camiones con materiales o provisiones debe ser optimizado, para reducir el caudal de circulación.
- La impermeabilización del suelo afecta directamente al hidrograma de la microcuenca. Para evitar sobrecargas al sistema, sería conveniente instalar retardadores pluviales para contener momentáneamente las aguas, y permitir un funcionamiento seguro de las instalaciones de bombeo, o simplemente no sobrepasar la tasa de absorción y evaporación del agua en el terreno.
- El emplazamiento de las instalaciones trae aparejada una remoción de la vegetación y desplazamiento de especies de aves y otros animales. Esta situación podría ser compensada parcialmente efectuando plantaciones de las mismas especies en zonas estratégicas, para favorecer su proliferación y la de los animales que se vinculan con estas.
- Los trabajos deberán ser prolijos, ordenados y planeados. De esta manera, se reducen los desperdicios y por lo tanto el costo de la obra, además de reducir la generación de residuos derivados de estas actividades.

Medidas a implementar durante la operación del Complejo Ambiental

- Para todas las tareas que sean susceptibles de generar residuos sólidos, una buena recomendación podría ser aplicar una generación responsable y consciente. Muy frecuentemente, en el ámbito administrativo o industrial, se utilizan elementos de uso único como vasos plásticos, filtros o capsulas de café, platos o cubiertos, etc. Estas son actitudes que, como parte de los abordajes no estructurales de este proyecto,

intentan ser eliminadas en pos de una reducción en la generación, y una migración al uso de elementos con una vida útil mucho mayor.

- Siempre se debe cuidar el aspecto vegetal del Complejo; se debe lograr una buena transición entre el terreno previamente y luego de la intervención, haciendo uso de especies vegetales de diferentes tamaños y un buen planeamiento de las plantaciones.
- Se debe controlar la presencia de animales colocando cercos y verificando siempre su hermeticidad, al igual que con el portón de ingreso al complejo y a la zona de relleno. De igual manera, se debe considerar el control de roedores e insectos, colocando cebos, trampas, repelentes ecológicos, etc.
- El nivel de olores es una de las características que se deben tratar con mayor cuidado en un complejo de estas características. La defensa principal contra olores consiste en coberturas bien practicadas y realizadas en forma estrictamente diaria. Los líquidos lixiviados también producen olores penetrantes y de gran alcance, por lo que un sistema de tratamiento cerrado y de poca superficie expuesta como el planteado, puede ser una buena línea de defensa contra este factor. Dentro de la nave de clasificación, también pueden producirse olores por la acumulación de material putrescible, por lo que resulta indispensable una limpieza diaria con agentes desinfectantes.
- Se deben mantener en óptimo funcionamiento los drenes de aguas pluviales, para que su servicio sea el esperado y no se sobrecargue el sistema de drenaje público.
- El acopio de materiales debe ser reducido al mínimo indispensable, considerando la economía y practicidad de funcionamiento de las instalaciones. No se deberían acopiar elementos ni materiales con una anticipación mayor que algunos meses, ya que al encontrarse expuestos a los factores climáticos puede perderse su calidad, favorecer el crecimiento de alimañas o malezas, estorbar a la circulación y al funcionamiento del predio, etc.

La planta dispondrá de un Sistema de Gestión Medioambiental con los siguientes principios:

- Adquirir un compromiso permanente de mejora continua de los procesos e instalaciones.
- Operar las instalaciones con el menor impacto posible para la salud de las personas y el entorno.
- Identificar y cumplir con los requerimientos legales que resulten de aplicación.
- Proporcionar información a los operarios sobre el impacto de sus actividades y las formas de reducirlo.
- Implantar los medios necesarios para conocer de forma continua el impacto causado por los procesos desarrollados en el centro.
- Establecer mecanismos de actuación ante la posibilidad de que incidentes o accidentes puedan superar los umbrales de impacto permitidos.

- Proporcionar información a las Administraciones y a las entidades sociales sobre las actividades desarrolladas y su repercusión medioambiental global.

La implantación del Sistema de Gestión se ve enormemente facilitada si los citados principios guían también el diseño del proyecto.

Estas medidas propuestas, no reducen completamente las afectaciones negativas, pero la ganancia en protección de los componentes del medio ambiente siempre resulta más valiosa.

Las recomendaciones que se explicitan en este estudio, no son excluyentes ni debieran ser las únicas; algunas operaciones de las que ocurren en el Complejo Ambiental, serán paulatinamente más eficientes y los procesos más rápidos y precisos; mientras tanto, podría esperarse que los traslados, tiempos de uso de las herramientas, tiempos muertos, materiales utilizados, sean mayores a los estrictamente necesarios, con la consecuencia propia de ello. Sin embargo, una capacitación periódica y controles permanentes acelerarán los procesos de optimización, y por lo tanto una reducción en la producción de residuos, en los tiempos de uso, etc.

De igual manera, los operarios se afianzarán en sus tareas, y la experiencia propia del trabajo hará que adquieran mayor pericia; así, los posibles impactos negativos sean más previsibles y, en caso de ocurrir, puedan ser controlados más rápida.

10. Cómputo y Presupuesto |

Se realizará el cómputo y presupuesto de los principales materiales, equipos y mano de obra necesarios para la construcción y operación del Complejo Ambiental.

Con respecto a la ejecución de los módulos de enterramiento del Relleno Sanitario, y su correspondiente unidad de tratamiento de líquidos lixiviados (sistema de Biodiscos), sólo se computa para la inversión inicial el costo referente al primer módulo. Los restantes serán contabilizados al momento de su implementación, y no serán financiados por el BID.

Los ítems de obra están organizados según el sector del complejo del que se trate. Así se obtendrá un valor de obra para el Relleno Sanitario, la Planta Clasificadora, etc.

El cómputo resulta de la medición de cada ítem en los planos correspondientes al diseño del proyecto. Se expresan en las unidades comerciales de manera de poder luego obtener, en función de los valores computados y los costos unitarios, los costos totales.

Los costos unitarios se obtuvieron en su mayoría de la “*Revista Cifras*” del mes de Julio del corriente año. Los restantes ítems se obtuvieron de sitios de venta mayorista y minorista.

Estos valores contemplan el costo del material y el costo de la mano de obra.

En la *Tabla 10.1* se muestran los valores obtenidos.

Ítem	Subítem	Identificación de la obra	Unidad	Cantidad	Costo [€]		
					Unitario	Total	Total por ítem
1		Camino de acceso					206572,89
	1,1	Servidumbre de paso	m ²	4548,06	-	-	
	1,2	Desmonte	m ²	4548,06	45,42	206572,89	
2		Complejo Ambiental					27467392,81
	2,1	Expropiación Terreno	m ²	66343,12	281,48	18674359,70	
	2,2	Desmonte	m ²	66343,12	45,42	3013304,51	
	2,3	Relleno a cota 16 IGN	m ³	11550,63	327,36	3781213,83	
	2,4	Obrador	m ²	150,00	1734,92	260238,00	
	2,5	Camino - Hormigón	m ³	752,27	1773,03	1333793,73	
	2,6	Drenajes	m	620,00	403,67	250273,54	
	2,7	Provisión de Agua					
	2,7,1	Perforación	Unidad	1	3000,00	3000,00	
2,7,2	Tanque	m ³	43,00	3516,50	151209,50		
3		Relleno Sanitario					39417145,72
	3,1	Elevación de los niveles	m ³	91097,00	327,36	29821513,92	
	3,2	Terraplenes de anclaje - Suelo	m ³	4075,07	327,36	1334014,92	
	3,3	Terraplenes temporales - Suelo	m ³	109,44	327,36	35826,28	
	3,4	Camino perimetrales					
	3,4,1	Cal	tn	163,39	3150,00	514678,50	
	3,4,2	Suelo	tn	2904,73	-	-	
			m ³	1760,44	327,36	576297,64	
	3,5	Drenajes pluviales					
	3,5,1	Hormigón	m ³	344,25	1994,42	686579,09	
	3,5,2	Pozo de bombeo					
	3,5,2,1	Mampostería	m ³	1,96	3327,65	6522,19	
	3,5,2,2	Hormigón	m ³	1,25	1994,42	2493,03	
3,5,2,3	Bomba de desagote 0,9kW	Unidad	1	4517,90	4517,90		
3,5,2,4	Caño PVC 110mm	m	35,00	243,16	8510,60		

	3,5,3	Alcantarillas				
	3,5,3,1	Caño de hormigón 450mm	Unidad	8	352,00	2816,00
	3,5,3,2	Mampostería	m³	1,80	3327,65	5989,77
	3,6	Base impermeable				
	3,6,1	Bentonita	tn	885,75	1815,00	1607636,25
	3,6,2	Suelo arcilloso	tn	9841,64	-	-
			m³	5789,20	327,36	1895152,51
	3,6,3	Membrana PEAD - Rollo 7x100m	Unidad	17	84129,5	1430201,50
	3,7	Drenajes lixiviado				
	3,7,1	Fosa - Canto Rodado 1/2"	m³	4,71	1380,00	6499,80
	3,7,2	Cañería extracción				
	3,7,2,1	Caño PVC 365mm	m	11,50	311,92	3587,08
	3,7,2,2	Tapa 365mm	Unidad	2	92,10	184,20
	3,7,2,3	Caño PVC 110mm	m	1,00	243,16	243,16
	3,7,2,4	Codo 110mm	Unidad	4	49,00	196,00
	3,7,2,5	Tapa 110mm	Unidad	2	78,00	156,00
	3,7,3	Dren				
	3,7,3,1	Canto rodado 1/2"	m³	99,67	1380,00	137544,60
	3,7,3,2	Caño PVC 110mm	m	553,74	243,16	134647,42
	3,7,3,3	Geotextil notejido	m²	1052,11	28,00	29459,08
	3,8	Chimenea de gases - Canto rodado 1 1/2"	m³	5,94	1415,15	8405,99
	3,9	Capa de drenaje - Arena limpia	m³	3109,80	302,50	940714,50
	3,10	Barrera forestal				
	3,10,1	Especies altas	Unidad	120	68,00	8160,00
	3,10,2	Arbustos	Unidad	714	39,20	27988,80
	3,11	Cerco perimetral				
	3,11,1	Postes olímpicos	Unidad	215	170,00	36550,00
	3,11,2	Alambre tejido 1,80m	m	1071,85	140,00	150059,00
4		Tratamiento de lixiviados				
	4,1	Biodiscos				
	4,1,1	Hormigón	m³	31,20	1994,42	62225,90
	4,1,2	Chapa de hierro galvanizado	m²	102,30	129,20	13217,16
						6614514,55

	4,1,3	Polietileno 5mm	m ²	8512,39	750,00	6384292,50	
	4,1,4	Eje acero inoxidable 72mm	m	11,00	450,15	4951,65	
	4,1,5	Caño PVC 60mm	m	34,75	213,71	7426,42	
	4,1,6	Mampostería	m ³	1,05	3327,65	3494,03	
	4,2	Pileta de agua tratada					
	4,2,1	Mampostería	m ³	5,45	3327,65	18135,69	
	4,2,2	Hormigón	m ³	4,95	1994,42	9872,38	
	4,2,3	Chapa de hierro galvanizado	m ²	10,24	129,20	1323,01	
	4,2,4	Bomba de desagote 0,9kW	Unidad	1	4517,90	4517,90	
	4,2,5	Caño PVC 110mm	m	430,30	243,16	104631,75	
	4,2,6	Curvas 110mm	Unidad	4	49,00	196,00	
	4,2,7	Válvula clapeta 110mm	Unidad	1	230,15	230,15	
	5		Planta Clasificadora				
5,1		Galpón	m ²	738,50	6742,85	4979594,73	
5,2		Tolva de recepción					
5,2,1		Excavación	m ³	74,21	366,97	27234,31	
5,2,2		Hormigón	m ³	4,82	1994,42	9620,08	
5,2,3		Chapa 12[mm]	m ²	1,32	455,00	600,60	
5,2,4		Tornillo sin fin	Unidad	2	1600,00	3200,00	
5,2,5		Motor tornillo 5HP	Unidad	1	4750,00	4750,00	
5,3		Cinta transportadora	Unidad	1	100000,00	100000,00	
5,4		Contenedores					
5,4,1		Bolsones Big Bag	Unidad	24	119,00	2856,00	
5,4,2		Contenedor rechazo	Unidad	3	6000	18000,00	
5,4,3		Contenedor foRSU	Unidad	3	2000	6000,00	
5,5		Balanza chica	Unidad	1	25000	25000,00	
5,6		Prensas	Unidad	2	114900,00	229800,00	
6		Biodigestores					1248796,00
	6,1	Molino	Unidad	1	24000,00	24000,00	
	6,2	Bombas Centrífugas 3/4HP	Unidad	2	2500,00	5000,00	
	6,3	Tanque pulmón					
	6,3,1	Excavación	m ³	102,30	366,97	37541,03	

	6,3,2	Hormigón	m³	20,79	3516,50	73108,04	
	6,3,3	Serpentina	m	150,00	19,50	2925,00	
	6,4	Reactor					
	6,4,1	Excavación	m³	188,50	366,97	69172,22	
	6,4,2	Hormigón	m³	127,59	3516,50	448654,45	
	6,4,3	Tela	m²	113,10	64,00	7238,23	
	6,4,4	Agitadores	Unidad	4	3000,00	12000,00	
	6,4,5	Motores Agitadores 5HP	Unidad	4	4750,00	19000,00	
	6,4,6	Serpentina	m	559,14	19,50	10903,17	
	6,4,7	Cañerías PVC ø40mm	m	100	87,65	8765,00	
	6,4,8	Bomba extracción barros	Unidad	1	4517,90	4517,90	
	6,5	Eliminación H2S	Unidad	1	1000,00	1000,00	
	6,6	Compresor	Unidad	1	26584,30	26584,30	
	6,7	Microturbina	Unidad	1	25000,00	25000,00	
	6,8	Caldera	Unidad	1	182052,30	182052,30	
	6,9	Antorcha	Unidad	2	500,00	1000,00	
	6,10	Laboratorio	m²	15,81	6371,56	100734,36	
	6,11	Instalaciones	Unidad	1	189600,00	189600,00	
		Taller					
7	7,1	Galpón	m²	189,00	6742,85	1274398,65	1294288,18
	7,2	Fosa					
	7,2,1	Excavación	m³	24,00	366,97	8807,28	
	7,2,2	Hormigón	m³	5,00	2216,45	11082,25	
8		Oficina Vigilancia	m²	4,00	6371,56	25486,24	25486,24
9		Oficinas administrativas y Vestuarios	m²	150,00	6371,56	955734,00	955734,00
10		Zona de acopio	m²	691,33	-	-	0,00
11		Balanza	Unidad	1	100000	100000,00	100000,00
		Zona de lavado					
12	12,1	Excavación	m³	4,16	366,97	1526,60	38585,64
	12,2	Hormigón	m³	16,72	2216,45	37059,04	
13		Disposición inicial					3275000,00
	13,1	Contenedores	Unidad	250	4500,00	1125000,00	

	13,2	Cestos en altura	Unidad	2000	1075,00	2150000,00	
14		Personal de planta					
	14,1	Capacitación del personal				322500	352500
	14,2	Elementos de protección personal				30000	
15		Construcción Plan de Viviendas					
	15,1	Expropiación terreno	m ²	2603,92	281,48	732955,26	7526132,72
	15,2	Viviendas	m ²	405,60	13814,50	5603161,20	
	15,3	SUM	m ²	186,77	6371,56	1190016,26	
	15,4	Playón deportivo	m ²	600,00	-	-	
	15,5	Plazoleta	m ²	1411,55	-	-	
Costo total inicial							93928804,46

Tabla 10.1 | Cómputo y presupuesto de la obra.-

10.1. Beneficios

Los beneficios económicos del proyecto resultan del análisis comparativo de la *Situación Sin Proyecto* versus la *Situación Con Proyecto*.

En este sentido, para evaluar la *Situación Sin Proyecto* no se considera la situación actual tal cual como se desarrolla en el presente, ya que resulta muy difícil cuantificar y otorgarle un valor económico a los daños medioambientales y sobre la salud pública que se registran como producto de esta práctica inadecuada, debido a que no se cuenta con información al respecto.

Por tanto una buena aproximación para poder cuantificar los beneficios, resulta de considerar en la *Situación Sin Proyecto*, lo legalmente viable -o “correcto”-. Es decir, tomando -al menos- como referencia los costos de traslado de los residuos al Relleno Sanitario de Santa Fe generados durante la emergencia hídrica, el cual conlleva costos de transporte y costos de ingreso al Relleno Sanitario.

Por su parte, la *Situación Con Proyecto* tendrá los beneficios relacionados a la venta de la energía eléctrica generada a partir del biogás.

No se considerarán como parte de los beneficios los ingresos obtenidos por la venta de materiales recuperables, debido a que -como ya se mencionó precedentemente- este dinero será repartido en un 100% -por partes iguales- entre los integrantes de la cooperativa.

Costos de traslado e ingreso al Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe

Estos costos a Septiembre de 2016 son:

- Costo de Transporte: $C_T = 39,14[\$/km]$.

Teniendo en cuenta que por cada viaje se trasladan $5[m^3]$ de residuos y que -según la *Tabla 4.5* del libro “*Desechos Sólidos - Principios de Ingeniería y Administración*” de *George Tchobanoglous*- la densidad típica del residuo sin compactar es de $200[lb/yard^3]$ (lo cual equivale a $130,5[kg/m^3]$), la capacidad de transporte en peso por cada viaje P resulta:

$$P = 130,5 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times 5[m^3] = 652,6[kg] = 0,653[tn]$$

Se desprende entonces que el costo de transporte por cada tonelada de residuos C_{T1} será:

$$C_{T1} = \frac{39,14[\$/km]}{0,653[tn]} = 59,98[\$/km/tn]$$

Las distancias desde cada una de las tres localidades hasta el Relleno Sanitario de Santa Fe es:

- San José del Rincón: 30[km].
- Arroyo Leyes: 35[km].
- Santa Rosa de Calchines: 60[km].

Por lo que el costo de transporte resultante para cada una de ellas es el que se muestra en la *Tabla 10.2*:

Localidad	Distancia hasta el Relleno Sanitario de Santa Fe [km]	Costo del transporte por tonelada [\$/tn]
San José del Rincón	30	1799,31
Arroyo Leyes	35	2099,20
Santa Rosa de Calchines	60	3598,63

Tabla 10.2 | Costo de transporte expresado por tonelada de residuos para las 3 localidades del Consorcio.-

La generación diaria para un periodo de 20 años -ya calculada previamente-, se expresa en la Tabla 10.3 año a año. A su vez se discrimina, en función de la población de cada localidad, la generación correspondiente a cada una de ellas con el fin de calcular los costos de transporte equivalentes.

Año	Generación diaria [tn]				Costo de transporte al Relleno Sanitario S.F. [\$]			
	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total
2016	11,53	4,35	5,88	21,76	20751,12	9135,71	21142,65	51029,48
2017	11,75	4,44	5,99	22,18	21149,74	9311,21	21548,79	52009,73
2018	11,98	4,52	6,10	22,60	21548,36	9486,70	21954,93	52989,99
2019	12,20	4,60	6,21	23,01	21946,98	9662,19	22361,07	53970,24
2020	12,42	4,69	6,33	23,43	22345,60	9837,68	22767,21	54950,49
2021	12,64	4,77	6,44	23,85	22744,22	10013,18	23173,35	55930,75
2022	12,86	4,85	6,55	24,27	23142,84	10188,67	23579,49	56911,00
2023	13,08	4,94	6,67	24,69	23541,46	10364,16	23985,64	57891,26
2024	13,31	5,02	6,78	25,10	23940,08	10539,66	24391,78	58871,51
2025	13,53	5,10	6,89	25,52	24338,70	10715,15	24797,92	59851,76
2026	13,75	5,19	7,00	25,94	24737,32	10890,64	25204,06	60832,02
2027	14,00	5,28	7,13	26,41	25187,43	11088,81	25662,67	61938,91
2028	14,25	5,38	7,26	26,88	25637,55	11286,97	26121,28	63045,80
2029	14,50	5,47	7,39	27,36	26087,66	11485,14	26579,89	64152,69
2030	14,75	5,57	7,51	27,83	26537,78	11683,30	27038,49	65259,58
2031	15,00	5,66	7,64	28,30	26987,90	11881,46	27497,10	66366,46
2032	15,25	5,75	7,77	28,77	27438,01	12079,63	27955,71	67473,35
2033	15,50	5,85	7,90	29,24	27888,13	12277,79	28414,32	68580,24
2034	15,75	5,94	8,02	29,72	28338,25	12475,96	28872,93	69687,13
2035	16,00	6,04	8,15	30,19	28788,36	12674,12	29331,54	70794,02
2036	16,25	6,13	8,28	30,66	29238,48	12872,29	29790,15	71900,91

Tabla 10.3 | Costo de transporte al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consorcio.-

- Costo de ingreso al Relleno Sanitario de Santa Fe: $C_I = 450,00[\$/tn]$.

Para la generación diaria dada año a año en la *Tabla 10.3*, los costos relativos al ingreso de residuos al Relleno Sanitario de Santa Fe para cada una de las localidades viene dado en la *Tabla 10.4*.

Año	Generación diaria [tn]				Costo de ingreso al Relleno Sanitario S.F. [\$]			
	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total
2016	11,53	4,35	5,88	21,76	5189,76	1958,40	2643,84	9792,00
2017	11,75	4,44	5,99	22,18	5289,45	1996,02	2694,63	9980,10
2018	11,98	4,52	6,10	22,60	5389,15	2033,64	2745,41	10168,20
2019	12,20	4,60	6,21	23,01	5488,84	2071,26	2796,20	10356,30
2020	12,42	4,69	6,33	23,43	5588,53	2108,88	2846,99	10544,40
2021	12,64	4,77	6,44	23,85	5688,23	2146,50	2897,78	10732,50
2022	12,86	4,85	6,55	24,27	5787,92	2184,12	2948,56	10920,60
2023	13,08	4,94	6,67	24,69	5887,61	2221,74	2999,35	11108,70
2024	13,31	5,02	6,78	25,10	5987,30	2259,36	3050,14	11296,80
2025	13,53	5,10	6,89	25,52	6087,00	2296,98	3100,92	11484,90
2026	13,75	5,19	7,00	25,94	6186,69	2334,60	3151,71	11673,00
2027	14,00	5,28	7,13	26,41	6299,26	2377,08	3209,06	11885,40
2028	14,25	5,38	7,26	26,88	6411,83	2419,56	3266,41	12097,80
2029	14,50	5,47	7,39	27,36	6524,41	2462,04	3323,75	12310,20
2030	14,75	5,57	7,51	27,83	6636,98	2504,52	3381,10	12522,60
2031	15,00	5,66	7,64	28,30	6749,55	2547,00	3438,45	12735,00
2032	15,25	5,75	7,77	28,77	6862,12	2589,48	3495,80	12947,40
2033	15,50	5,85	7,90	29,24	6974,69	2631,96	3553,15	13159,80
2034	15,75	5,94	8,02	29,72	7087,27	2674,44	3610,49	13372,20
2035	16,00	6,04	8,15	30,19	7199,84	2716,92	3667,84	13584,60
2036	16,25	6,13	8,28	30,66	7312,41	2759,40	3725,19	13797,00

Tabla 10.4 | Costo de ingreso al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consorcio.-

En consecuencia, los costos diarios totales que representa el traslado de los residuos de las tres localidades al Relleno Sanitario de Santa Fe serán la suma de estos dos costos. Los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 10.5*.

En la *Tabla 10.6* se muestran los resultados obtenidos expresados anualmente.

Año	Costo de transporte al Relleno Sanitario S.F. [\$]				Costo de ingreso al Relleno Sanitario S.F. [\$]				Costo total [\$]			
	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total
2016	20751,12	9135,71	21142,65	51029,48	5189,76	1958,40	2643,84	9792,00	25940,88	11094,11	23786,49	60821,48
2017	21149,74	9311,21	21548,79	52009,73	5289,45	1996,02	2694,63	9980,10	26439,19	11307,23	24243,42	61989,83
2018	21548,36	9486,70	21954,93	52989,99	5389,15	2033,64	2745,41	10168,20	26937,50	11520,34	24700,34	63158,19
2019	21946,98	9662,19	22361,07	53970,24	5488,84	2071,26	2796,20	10356,30	27435,82	11733,45	25157,27	64326,54
2020	22345,60	9837,68	22767,21	54950,49	5588,53	2108,88	2846,99	10544,40	27934,13	11946,56	25614,20	65494,89
2021	22744,22	10013,18	23173,35	55930,75	5688,23	2146,50	2897,78	10732,50	28432,44	12159,68	26071,13	66663,25
2022	23142,84	10188,67	23579,49	56911,00	5787,92	2184,12	2948,56	10920,60	28930,76	12372,79	26528,06	67831,60
2023	23541,46	10364,16	23985,64	57891,26	5887,61	2221,74	2999,35	11108,70	29429,07	12585,90	26984,98	68999,96
2024	23940,08	10539,66	24391,78	58871,51	5987,30	2259,36	3050,14	11296,80	29927,38	12799,02	27441,91	70168,31
2025	24338,70	10715,15	24797,92	59851,76	6087,00	2296,98	3100,92	11484,90	30425,69	13012,13	27898,84	71336,66
2026	24737,32	10890,64	25204,06	60832,02	6186,69	2334,60	3151,71	11673,00	30924,01	13225,24	28355,77	72505,02
2027	25187,43	11088,81	25662,67	61938,91	6299,26	2377,08	3209,06	11885,40	31486,69	13465,89	28871,73	73824,31
2028	25637,55	11286,97	26121,28	63045,80	6411,83	2419,56	3266,41	12097,80	32049,38	13706,53	29387,68	75143,60
2029	26087,66	11485,14	26579,89	64152,69	6524,41	2462,04	3323,75	12310,20	32612,07	13947,18	29903,64	76462,89
2030	26537,78	11683,30	27038,49	65259,58	6636,98	2504,52	3381,10	12522,60	33174,76	14187,82	30419,60	77782,18
2031	26987,90	11881,46	27497,10	66366,46	6749,55	2547,00	3438,45	12735,00	33737,45	14428,46	30935,55	79101,46
2032	27438,01	12079,63	27955,71	67473,35	6862,12	2589,48	3495,80	12947,40	34300,14	14669,11	31451,51	80420,75
2033	27888,13	12277,79	28414,32	68580,24	6974,69	2631,96	3553,15	13159,80	34862,82	14909,75	31967,47	81740,04
2034	28338,25	12475,96	28872,93	69687,13	7087,27	2674,44	3610,49	13372,20	35425,51	15150,40	32483,42	83059,33
2035	28788,36	12674,12	29331,54	70794,02	7199,84	2716,92	3667,84	13584,60	35988,20	15391,04	32999,38	84378,62
2036	29238,48	12872,29	29790,15	71900,91	7312,41	2759,40	3725,19	13797,00	36550,89	15631,69	33515,34	85697,91

Tabla 10.5 | Costo total de traslado al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consorcio.-

Año	Costo total diario [€]				Costo total anual [€]			
	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total	S.J. del Rincón	Arroyo Leyes	Santa Rosa de Calchines	Total
2016	25940,88	11094,11	23786,49	60821,48	9468420,55	4049351,04	8682068,40	22199839,98
2017	26439,19	11307,23	24243,42	61989,83	9650304,73	4127137,28	8848847,10	22626289,11
2018	26937,50	11520,34	24700,34	63158,19	9832188,91	4204923,53	9015625,80	23052738,25
2019	27435,82	11733,45	25157,27	64326,54	10014073,10	4282709,78	9182404,51	23479187,38
2020	27934,13	11946,56	25614,20	65494,89	10195957,28	4360496,02	9349183,21	23905636,51
2021	28432,44	12159,68	26071,13	66663,25	10377841,46	4438282,27	9515961,91	24332085,64
2022	28930,76	12372,79	26528,06	67831,60	10559725,64	4516068,52	9682740,62	24758534,77
2023	29429,07	12585,90	26984,98	68999,96	10741609,82	4593854,76	9849519,32	25184983,91
2024	29927,38	12799,02	27441,91	70168,31	10923494,00	4671641,01	10016298,02	25611433,04
2025	30425,69	13012,13	27898,84	71336,66	11105378,19	4749427,26	10183076,73	26037882,17
2026	30924,01	13225,24	28355,77	72505,02	11287262,37	4827213,50	10349855,43	26464331,30
2027	31486,69	13465,89	28871,73	73824,31	11492643,55	4915048,69	10538179,71	26945871,95
2028	32049,38	13706,53	29387,68	75143,60	11698024,73	5002883,88	10726503,99	27427412,60
2029	32612,07	13947,18	29903,64	76462,89	11903405,91	5090719,07	10914828,26	27908953,24
2030	33174,76	14187,82	30419,60	77782,18	12108787,09	5178554,26	11103152,54	28390493,89
2031	33737,45	14428,46	30935,55	79101,46	12314168,27	5266389,44	11291476,82	28872034,54
2032	34300,14	14669,11	31451,51	80420,75	12519549,45	5354224,63	11479801,10	29353575,18
2033	34862,82	14909,75	31967,47	81740,04	12724930,63	5442059,82	11668125,38	29835115,83
2034	35425,51	15150,40	32483,42	83059,33	12930311,82	5529895,01	11856449,65	30316656,48
2035	35988,20	15391,04	32999,38	84378,62	13135693,00	5617730,20	12044773,93	30798197,12
2036	36550,89	15631,69	33515,34	85697,91	13341074,18	5705565,38	12233098,21	31279737,77

Tabla 10.6 | Costo total de traslado al Relleno Sanitario de Santa Fe para las 3 localidades del Consorcio expresado anualmente.-

Venta de energía

La venta de la energía generada a partir del biogás obtenido, se encuadra dentro del Programa de Prosumidores de la Provincia de Santa Fe, el cual tiene como objeto incentivar la generación de energía distribuida renovable conectada a la red de baja tensión por usuarios de la Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe (EPESF) bajo condiciones técnicas y administrativas específicas. Además, facilita el repago de las instalaciones renovables, a través de una compensación monetaria que permite la amortización de estos equipos por parte de los clientes que adhieran al Programa. Este programa contribuye a la incorporación de energías renovables a la red eléctrica para cumplir con los objetivos previstos por las leyes nacionales y provinciales.

La tarifa promocional dispuesta para este programa es de 5,50 \$/kWh (pesos cinco con 50/100 por kilowat hora) para la energía generada a partir de fuentes de energías renovables. Esta tarifa se compone de un aporte realizado por la EPESF correspondiente al monto que paga la empresa por la energía en el Mercado Eléctrico Mayorista, y un aporte realizado por la Secretaría de Estado de la Energía.

Esto representa un ingreso anual como la que se muestra en la *Tabla 10.7*.

Año	Generación de residuos anual [tn]	Generación de biogás anual [m³]	Energía eléctrica anual [kWh]	Ingresos anuales obtenidos de la venta de energía [\$]
2016	7942,40	238355,40	363611,16	1999861,35
2017	8094,97	242934,10	370595,97	2038277,81
2018	8247,54	247512,80	377580,78	2076694,26
2019	8400,11	252091,50	384565,59	2115110,72
2020	8552,68	256670,20	391550,39	2153527,17
2021	8705,25	261248,91	398535,20	2191943,63
2022	8857,82	265827,61	405520,01	2230360,08
2023	9010,39	270406,31	412504,82	2268776,53
2024	9162,96	274985,01	419489,63	2307192,99
2025	9315,53	279563,71	426474,44	2345609,44
2026	9468,10	284142,42	433459,25	2384025,90
2027	9640,38	289312,62	441346,41	2427405,24
2028	9812,66	294482,83	449233,56	2470784,59
2029	9984,94	299653,04	457120,72	2514163,93
2030	10157,22	304823,25	465007,87	2557543,28
2031	10329,50	309993,46	472895,02	2600922,63
2032	10501,78	315163,67	480782,18	2644301,97
2033	10674,06	320333,88	488669,33	2687681,32
2034	10846,34	325504,09	496556,48	2731060,66
2035	11018,62	330674,30	504443,64	2774440,01
2036	11190,90	335844,50	512330,79	2817819,35

Tabla 10.7 | Ingresos obtenidos de la venta de energía.-

10.2. Costos

Los costos del proyecto vienen dados por los costos de inversión y los costos de operación.

Costos de inversión

Este valor se desprende del Cómputo y Presupuesto del proyecto realizado precedentemente.

Estos costos implican la expropiación y adecuación de los terrenos, la construcción del Complejo Ambiental y sus dependencias, los caminos de acceso, el Plan de Viviendas, el valor de equipar la Planta de Tratamiento, la adquisición e instalación de los contenedores y cestos en altura para la disposición inicial, y los costos de capacitación del personal de planta, así como los elementos necesarios de higiene y seguridad.

El total obtenido es de \$93928804,46.

Este valor -tal como se mencionó precedentemente- corresponde a la inversión inicial. Es decir, contabilizando los costos referentes a la ejecución primer módulo de enterramiento.

Para cuantificar el costo de la construcción de los sucesivos módulos, se relaciona el valor de los ítems necesarios para la impermeabilización y construcción de los módulos de enterramiento obtenidos para el primero, con su correspondiente área, extrayendo así un valor unitario por [m²]. Los costos concernientes a la construcción de los restantes módulos resultan entonces de la suma de este valor, más el relativo a una unidad de biodiscos. En la *Tabla 10.8* se muestran los resultados.

Ítem	Identificación de la obra	Unidad	Cantidad	Costo [\$]	
				Unitario	Total
3,2	Terraplenes de anclaje - Suelo	m ³	4075,07	327,36	1334014,92
3,5,1	Drenajes pluviales - Hormigón	m ³	344,25	1994,42	686579,09
3,6	Base impermeable				
3,6,1	Bentonita	tn	885,75	1815,00	1607636,25
3,6,2	Suelo arcilloso	m ³	5789,20	327,36	1895152,51
3,6,3	Membrana PEAD - Rollo 7x100m	Unidad	17	84129,5	1430201,50
3,7	Drenajes lixiviado				
3,7,1	Fosa - Canto Rodado 1/2"	m ³	4,71	1380,00	6499,80
3,7,2	Cañería extracción				
3,7,2,1	Caño PVC 365mm	m	11,50	311,92	3587,08
3,7,2,2	Tapa 365mm	Unidad	2	92,10	184,20
3,7,2,3	Caño PVC 110mm	m	1,00	243,16	243,16
3,7,2,4	Codo 110mm	Unidad	4	49,00	196,00
3,7,2,5	Tapa 110mm	Unidad	2	78,00	156,00
3,7,3	Dren				
3,7,3,1	Canto rodado 1/2"	m ³	99,67	1380,00	137544,60
3,7,3,2	Caño PVC 110mm	m	553,74	243,16	134647,42
3,7,3,3	Geotextil notejido	m ²	1052,11	28,00	29459,08
3,8	Chimenea de gases - Canto rodado 1 1/2"	m ³	5,94	1415,15	8405,99
3,9	Capa de drenaje - Arena limpia	m ³	3109,80	302,50	940714,50
				Total	6947907,92

Tabla 10.8 | Costos de ejecución del módulo 1.-

Las áreas correspondientes a los 4 módulos de enterramiento son:

- Módulo 1: 9150 [m²]
- Módulo 2: 7644 [m²]
- Módulo 3: 7959 [m²]
- Módulo 4: 8532 [m²]

En consecuencia, el costo unitario por superficie del Módulo 1 será:

$$C_1 = \frac{6947907,92[\$]}{9150[m^2]} = 759,34[\$/m^2]$$

Por lo tanto, los valores correspondientes a la ejecución resultan del producto de este valor por cada una de las áreas. En la *Tabla 10.9* se resumen los resultados. Se incorpora además el valor correspondiente a la unidad de biodiscos, obteniéndose el total por módulo.

Módulo	Área [m ²]	Costo ejecución [\$]	Costo biodisco [\$]	Costo total [\$]
2	7644	5804350,62	6614514,55	12418865,16
3	7959	6043540,89	6614514,55	12658055,44
4	8532	6478639,39	6614514,55	13093153,93

Tabla 10.9 | Costos de ejecución de los sucesivos módulos.-

Estos módulos se ejecutarán en los años 2021, 2025 y 2028 respectivamente.

Costos de operación

Los costos operativos están relacionados a los costos de recolección, a los costos necesarios para mantener en correcto funcionamiento el Complejo Ambiental, y a las constantes campañas de educación y concientización necesarias para garantizar el compromiso de la población.

Los costos de recolección, teniendo presente que los camiones son propiedad del municipio, implican: el combustible necesario para los camiones, el mantenimiento de los mismos, y el salario del chofer.

Este valor se estima según indicadores del Observatorio Nacional GIRSU en 514,22[\$/tn].

Para las cantidades de residuos estimadas año a año los costos de transporte resultan los de la *Tabla 10.10*.

Año	Generación diaria [tn]	Generación anual [tn]	Costo de recolección [\$]
2016	21,76	7942,40	4084140,93
2017	22,18	8094,97	4162595,47
2018	22,60	8247,54	4241050,02
2019	23,01	8400,11	4319504,56
2020	23,43	8552,68	4397959,11
2021	23,85	8705,25	4476413,66
2022	24,27	8857,82	4554868,20
2023	24,69	9010,39	4633322,75
2024	25,10	9162,96	4711777,29
2025	25,52	9315,53	4790231,84
2026	25,94	9468,10	4868686,38

2027	26,41	9640,38	4957276,20
2028	26,88	9812,66	5045866,03
2029	27,36	9984,94	5134455,85
2030	27,83	10157,22	5223045,67
2031	28,30	10329,50	5311635,49
2032	28,77	10501,78	5400225,31
2033	29,24	10674,06	5488815,13
2034	29,72	10846,34	5577404,95
2035	30,19	11018,62	5665994,78
2036	30,66	11190,90	5754584,60

Tabla 10.10 | Costos de recolección.-

Los costos relativos al funcionamiento del Complejo Ambiental implican los insumos necesarios para el proceso de tratamiento y disposición final, servicios, operación de maquinaria, mantenimiento, entre otros.

Este valor se encuentra entre 20[$U\$/tn$] y 59[$U\$/tn$], dependiendo del tamaño de la población y de la tecnología de operación de la planta. Para el caso del Consorcio que atiende este proyecto, cuya población estimada al año 2036 es de 30472 habitantes, y considerando una operación semi-mecanizada tanto en la Planta Clasificadora como en el Relleno Sanitario, se toma un valor intermedio que contemple estas características. Esto es 30[$U\$/tn$], lo cual equivale en moneda nacional al día de hoy a 450[$\$/tn$].

Es importante tener en cuenta que el tratamiento de la fracción orgánica conlleva una tecnología relativamente compleja (en comparación a otros tratamientos), por lo que el valor estimado se ve aumentado en un 25% aproximadamente, lo cual arroja un valor final de 600[$\$/tn$].

En la *Tabla 10.11* se muestran los costos operativos año a año para la generación correspondiente.

Año	Generación anual [tn]	Costos operativos [€]
2016	7942,40	4765440,00
2017	8094,97	4856982,00
2018	8247,54	4948524,00
2019	8400,11	5040066,00
2020	8552,68	5131608,00
2021	8705,25	5223150,00
2022	8857,82	5314692,00
2023	9010,39	5406234,00
2024	9162,96	5497776,00
2025	9315,53	5589318,00
2026	9468,10	5680860,00
2027	9640,38	5784228,00
2028	9812,66	5887596,00
2029	9984,94	5990964,00
2030	10157,22	6094332,00
2031	10329,50	6197700,00
2032	10501,78	6301068,00
2033	10674,06	6404436,00
2034	10846,34	6507804,00

2035	11018,62	6611172,00
2036	11190,90	6714540,00

Tabla 10.11 | Costos de operativos del Complejo Ambiental.-

Se debe tener presente que estos costos no surgirán durante los primeros meses en que se ejecutará la obra, por lo que serán válidos durante ese periodo los costos relacionados con el traslado e ingreso al Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe.

Por último, los costos de campañas de educación y concientización vienen dados según la referencia de PMGIRSU, como:

- Campaña de sensibilización y comunicación: 13,69[\$/hab].
- Programas Educativos, capacitación: 4,50[\$/hab].
- Fortalecimiento: 4,84[\$/hab].

Lo cual arroja un valor global de 23,03[\$/hab].

En la *Tabla 10.12* se muestran los valores obtenidos para las estimaciones de crecimiento de la población de las tres localidades desde el año 2016 hasta el año 2036.

Año	Proyección de la población [habitantes]	Costos de campañas de concientización [\$]
2016	21630	498143,94
2017	22046	507713,06
2018	22461	517282,19
2019	22877	526851,31
2020	23292	536420,44
2021	23708	545989,56
2022	24123	555558,69
2023	24539	565127,81
2024	24954	574696,94
2025	25370	584266,06
2026	25785	593835,19
2027	26254	604640,52
2028	26724	615445,84
2029	27193	626251,17
2030	27662	637056,50
2031	28131	647861,83
2032	28600	658667,16
2033	29070	669472,49
2034	29539	680277,81
2035	30008	691083,14
2036	30477	701888,47

Tabla 10.12 | Costos de campañas de educación y concientización de la población.-

Todos estos valores arrojan costos totales por año, lo cuales se muestran en la *Tabla 10.13*.

Año	Costo de recolección [€]	Costos operativos [€]	Costos de campañas de concientización [€]	Costos totales de operación [€]
2016	4084140,93	22199839,98(*)	498143,94	26782124,85
2017	4162595,47	22626289,11(*)	507713,06	27296597,65
2018	4241050,02	4948524,00	517282,19	9706856,21
2019	4319504,56	5040066,00	526851,31	9886421,88
2020	4397959,11	5131608,00	536420,44	10065987,55
2021	4476413,66	5223150,00	545989,56	10245553,22
2022	4554868,20	5314692,00	555558,69	10425118,89
2023	4633322,75	5406234,00	565127,81	10604684,56
2024	4711777,29	5497776,00	574696,94	10784250,23
2025	4790231,84	5589318,00	584266,06	10963815,90
2026	4868686,38	5680860,00	593835,19	11143381,57
2027	4957276,20	5784228,00	604640,52	11346144,72
2028	5045866,03	5887596,00	615445,84	11548907,87
2029	5134455,85	5990964,00	626251,17	11751671,02
2030	5223045,67	6094332,00	637056,50	11954434,17
2031	5311635,49	6197700,00	647861,83	12157197,32
2032	5400225,31	6301068,00	658667,16	12359960,47
2033	5488815,13	6404436,00	669472,49	12562723,62
2034	5577404,95	6507804,00	680277,81	12765486,77
2035	5665994,78	6611172,00	691083,14	12968249,92
2036	5754584,60	6714540,00	701888,47	13171013,07

Tabla 10.13 | Costos operativos.-

(*) Costos referidos al traslado e ingreso al Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe.

11. Evaluación Financiera |

Para determinar si el proyecto es rentable económicamente, se calcularán los siguientes indicadores:

- Valor Actual Neto (VAN)

Se trata de un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

La fórmula que permite calcular el VAN es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

- t cada periodo.
- n es el número de periodos considerados. Para este proyecto se considera:

$$n = 20[\text{años}]$$

- V_t representa los flujos de caja en cada periodo t .

k es la tasa de descuento. Para este proyecto se considera la tasa de descuento proporcionada por el *Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios – Secretaría de Obras Públicas de la Nación*:

$$k = 12\%$$

- I_0 es la inversión inicial.

Si el resultado es mayor a cero, se interpreta que la inversión realizada producirá ganancias por encima de la rentabilidad, es decir que crea valor, con lo cual se admite que el proyecto puede aceptarse. Por el contrario, si es menor, la inversión producirá pérdidas, es decir que destruye valor, y el proyecto debe de rechazarse. De resultar nulo, la inversión no produciría ni pérdidas ni ganancias y la decisión de aceptabilidad del proyecto deberá basarse en otros criterios.

- Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno de una inversión es tasa de descuento con la que el VAN es igual a cero. Esta tasa, al igual que el VAN, puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto, es decir: a mayor TIR, mayor rentabilidad. Por lo tanto, si la TIR es mayor a la tasa de descuento, se acepta; y de lo caso contrario, se rechaza.

La fórmula que permite calcular la TIR es la siguiente:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+TIR)^t} - I_0$$

Resulta importante realizar las siguientes aclaraciones antes de calcular los indicadores mencionados:

Los montos relacionados a la expropiación y elevación de los terrenos, estarán a cargo de la Provincia, y el monto de ejecución de la obra, del BID.

El terreno será entonces propiedad de la Provincia, y su explotación será cedida por la Administración Provincial al Consorcio, con el fin de tratar y disponer los residuos de sus localidades.

En consecuencia el monto a devolver es el correspondiente al financiado por el BID.

De la *Tabla 10.1 | Cómputo y Presupuesto de la obra.-*, se desprende entonces que del valor total (\$93928804,46) corresponde:

- Provincia: \$56023347,22.
- BID: \$37905457,24.

El banco ofrece un financiamiento hasta 24 años, en cuotas semestrales, con una tasa promedio del 1,85%. Se calcula entonces el valor de la cuota que debe afrontar el Consorcio. En la *Tabla 11.1* se muestran los resultados obtenidos.

Préstamo BID	37905457,24	[\$]
Plazo de devolución	24	[años]
Tasa	1,85	[%]
Cuota pura anual	1579394,05	[\$]
Cuota pura semestral	789697,03	[\$]
Cuota con recargo	804306,42	[\$]

Tabla 11.1 | Cuota de devolución del préstamo.-

En la *Tabla 11.2* se muestra el balance obtenido entre los costos y los beneficios previamente evaluados. Para ello se considerará que los primeros 18 meses no generan los beneficios asociados a la generación de energía, ni los costos relativos a la operación del Complejo Ambiental, ya que es el plazo de ejecución de la obra. Por lo tanto estos valores se empezarán a tener en cuenta a partir del año 2018.

Sí se contemplan durante ese periodo los gastos de traslado e ingreso al Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe, el costo de recolección, y el costo asociado a las campañas de educación y concientización necesarias antes del comienzo de la operación del Complejo Ambiental, de manera de garantizar la valiosa colaboración por parte de la población.

A continuación se determinan los indicadores económicos -VAN y TIR-, en función de los valores obtenidos en la *Tabla 11.2*, calculados con las fórmulas recientemente explicadas. En la *Tabla 11.3* se muestran los resultados. Además se expresa la relación Beneficio-Costo (B/C), que de resultar mayor a 1, indica que el proyecto se debe aceptar.

Año	Costos [\$]			Beneficios [\$]	Total [\$]	Tasa 12,00%	Total actualizado [\$]
	Inversión	Operación	Total				
2016	37905457,24	26782124,85	64687582,09	0,00	-64687582,09	1,000	-64687582,09
2017	0,00	27296597,65	27296597,65	0,00	-27296597,65	0,893	-24371962,19
2018	0,00	9706856,21	9706856,21	25129432,51	15422576,30	0,797	12294783,41
2019	0,00	9886421,88	9886421,88	25594298,10	15707876,22	0,712	11180556,03
2020	0,00	10065987,55	10065987,55	26059163,68	15993176,14	0,636	10163952,56
2021	12418865,16	10245553,22	22664418,38	26524029,27	3859610,89	0,567	2190046,87
2022	0,00	10425118,89	10425118,89	26988894,85	16563775,97	0,507	8391724,39
2023	0,00	10604684,56	10604684,56	27453760,44	16849075,88	0,452	7621666,25
2024	0,00	10784250,23	10784250,23	27918626,03	17134375,80	0,404	6920287,01
2025	12658055,44	10963815,90	23621871,34	28383491,61	4761620,28	0,361	1717088,01
2026	0,00	11143381,57	11143381,57	28848357,20	17704975,63	0,322	5700528,31
2027	0,00	11346144,72	11346144,72	29373277,19	18027132,47	0,287	5182369,81
2028	13093153,93	11548907,87	24642061,80	29898197,18	5256135,38	0,257	1349119,04
2029	0,00	11751671,02	11751671,02	30423117,18	18671446,16	0,229	4279013,55
2030	0,00	11954434,17	11954434,17	30948037,17	18993603,00	0,205	3886467,49
2031	0,00	12157197,32	12157197,32	31472957,16	19315759,84	0,183	3528917,11
2032	0,00	12359960,47	12359960,47	31997877,15	19637916,68	0,163	3203369,60
2033	0,00	12562723,62	12562723,62	32522797,15	19960073,53	0,146	2907071,75
2034	0,00	12765486,77	12765486,77	33047717,14	20282230,37	0,130	2637492,92
2035	0,00	12968249,92	12968249,92	33572637,13	20604387,21	0,116	2392308,99
2036	0,00	13171013,07	13171013,07	34097557,12	20926544,06	0,104	2169387,13
Total	76075531,78	270490581,43	346566113,20	560254225,27	213688112,06	-	8656605,95

Tabla 11.2 | Costos de campañas de educación y concientización de la población.-

Indicador	Valor	Condición
VAN	8656605,95	Se acepta el proyecto
TIR	13,32%	Se acepta el proyecto
B/C	1,62	Se acepta el proyecto

Tabla 11.3 | Indicadores económicos.-

Devolución del préstamo

Se propone que los ingresos obtenidos por la venta de energía sean utilizados para realizar la devolución del préstamo otorgado por el ente financiador de la obra.

De la *Tabla 11.1* se desprende que la cuota a devolver al BID anualmente viene dada por:

$$A = 2 \times 804306,42[\$] = 1608612,84[\$]$$

Se compara este valor con aquellos dados en la última columna de la *Tabla 10.7 | Ingresos obtenidos de la venta de energía*, de manera de evaluar las posibilidades concretas de devolución del préstamo. Se debe tener en cuenta que la generación de energía será posible a partir del año 2018, cuando la obra se encuentre ejecutada.

La diferencia resultante entre los beneficios anuales obtenidos por la venta de energía y la cuota expresada también de forma anual, se muestra en la *Tabla 11.4*.

Año	Ingresos anuales obtenidos de la venta de energía [\$]	Diferencia [\$]
2016	-	-1608612,84
2017	-	-1608612,84
2018	2076694,26	468081,42
2019	2115110,72	506497,88
2020	2153527,17	544914,33
2021	2191943,63	583330,78
2022	2230360,08	621747,24
2023	2268776,53	660163,69
2024	2307192,99	698580,15
2025	2345609,44	736996,60
2026	2384025,90	775413,06
2027	2427405,24	818792,40
2028	2470784,59	862171,75
2029	2514163,93	905551,09
2030	2557543,28	948930,44
2031	2600922,63	992309,78
2032	2644301,97	1035689,13
2033	2687681,32	1079068,48
2034	2731060,66	1122447,82
2035	2774440,01	1165827,17
2036	2817819,35	1209206,51

Tabla 11.4 | Beneficios extra de la venta de energía.-

De la *Tabla 11.4* se observa que durante los primeros 2 años en los que no existe aún generación de energía, la cuota no puede ser solventada por el propio proceso productivo, por lo que indefectiblemente deberán trasladarse estos costos a los usuarios mediante la Tasa General de Inmuebles (TGI).

En la *Tabla 11.5* se expone -en función de la cantidad de habitantes proyectada para estos primeros 4 años- el valor en que aumentará la TGI anualmente por cada habitante. A su vez, se tendrá en cuenta que por cada vivienda reside una familia tipo de 4 integrantes.

Año	Diferencia [\$]	Proyección de la población [habitantes]	Costo anual por habitante [\$]	Costo mensual por habitante [\$]	Costo mensual por familia [\$]
2016	1608612,84	21630	74,37	6,20	24,79
2017	1608612,84	22046	72,97	6,08	24,32

Tabla 11.5 | Aumento de la TGI para devolución del préstamo.-

A partir del año 2018, tal como se puede observar en la *Tabla 11.4*, la cuota comienza a solventarse con los ingresos derivados de la venta de energía eléctrica, e incluso se presentan excedentes. Es por eso que se propone que parte de los costos operativos sean solventados con este beneficio extra, y el resto -al igual que el costo derivado de la devolución del préstamo- sea transferido a los usuarios a través de un aumento en la Tasa General de Inmuebles.

El valor a abonar por cada usuario viene dado por la diferencia entre los costos operativos - ver *Tabla 10.13*- y la parte que se cubre con el beneficio extra de la ganancia de la venta de energía. En la *Tabla 11.6* se muestran los resultados obtenidos.

Año	Costos totales de operación [\$]	Beneficio extra [\$]	Costos a cubrir con la TGI [\$]	Proyección de la población [habitantes]	Costo anual por habitante [\$]	Costo mensual por habitante [\$]	Costo mensual por familia [\$]
2016	26782124,85	-	26782124,85	21630	1238,18	103,18	412,73
2017	27296597,65	-	27296597,65	22046	1238,18	103,18	412,73
2018	9706856,21	468081,42	9238774,78	22461	411,32	34,28	137,11
2019	9886421,88	506497,88	9379924,00	22877	410,02	34,17	136,67
2020	10065987,55	544914,33	9521073,22	23292	408,77	34,06	136,26
2021	10245553,22	583330,78	9662222,43	23708	407,56	33,96	135,85
2022	10425118,89	621747,24	9803371,65	24123	406,39	33,87	135,46
2023	10604684,56	660163,69	9944520,87	24539	405,26	33,77	135,09
2024	10784250,23	698580,15	10085670,08	24954	404,17	33,68	134,72
2025	10963815,90	736996,60	10226819,30	25370	403,11	33,59	134,37
2026	11143381,57	775413,06	10367968,51	25785	402,09	33,51	134,03
2027	11346144,72	818792,40	10527352,32	26254	400,97	33,41	133,66
2028	11548907,87	862171,75	10686736,12	26724	399,90	33,32	133,30
2029	11751671,02	905551,09	10846119,93	27193	398,86	33,24	132,95
2030	11954434,17	948930,44	11005503,73	27662	397,86	33,15	132,62
2031	12157197,32	992309,78	11164887,53	28131	396,89	33,07	132,30
2032	12359960,47	1035689,13	11324271,34	28600	395,95	33,00	131,98
2033	12562723,62	1079068,48	11483655,14	29070	395,04	32,92	131,68
2034	12765486,77	1122447,82	11643038,95	29539	394,16	32,85	131,39
2035	12968249,92	1165827,17	11802422,75	30008	393,31	32,78	131,10
2036	13171013,07	1209206,51	11961806,56	30477	392,48	32,71	130,83

Tabla 11.6 | Aumento de la TGI para solventar costos operativos.-

La Ley Provincial 13055 establece en su Artículo 18, inciso i:

(...) los proyectos de GIRSU, que contemplen emprendimientos sociales y productivos asociados, podrán ser beneficiados con el financiamiento de hasta el 50% de sus costos operativos por hasta dos años.

Con lo cual, el valor correspondiente a los años 2016 y 2017 -que representa el aumento más importante para los usuarios- se ve reducido en un 50%. Esto es:

$$A_{TGI} = 50\% \times \$412,73 = \$206,37$$

Con respecto a los costos de ejecución de los sucesivos módulos de enterramiento, cuyos valores fueron obtenidos en la *Tabla 10.9*, se propone que sea solventado por los contribuyentes a través de la TGI, pero de manera uniforme a lo largo del periodo de diseño. La sumatoria resulta:

$$C_T = 12418865,16[\$] + 12658055,44[\$] + 13093153,93[\$] = 38170074,54[\$]$$

Este valor total, distribuido en 20 años, resulta:

$$C' = \frac{38170074,54[\$]}{20[\text{años}]} = 1908503,73[\$/\text{año}]$$

Mensualmente, adopta el valor:

$$C'_m = \frac{1908503,73[\$/\text{año}]}{12[\text{meses/año}]} = 159041,98[\$/\text{mes}]$$

En función de la cantidad de habitantes por año, el aumento mensual de la TGI por habitante y por familia viene dado por la *Tabla 11.7*.

Año	Proyección de la población [habitantes]	Aumento mensual por habitante [\$]	Aumento mensual por familia [\$]
2016	21630	7,35	29,41
2017	22046	7,21	28,86
2018	22461	7,08	28,32
2019	22877	6,95	27,81
2020	23292	6,83	27,31
2021	23708	6,71	26,83
2022	24123	6,59	26,37
2023	24539	6,48	25,93
2024	24954	6,37	25,49
2025	25370	6,27	25,08
2026	25785	6,17	24,67
2027	26254	6,06	24,23
2028	26724	5,95	23,81
2029	27193	5,85	23,39
2030	27662	5,75	23,00
2031	28131	5,65	22,61
2032	28600	5,56	22,24
2033	29070	5,47	21,88
2034	29539	5,38	21,54
2035	30008	5,30	21,20
2036	30477	5,22	20,87

Tabla 11.7 | Aumento de la TGI para solventar costos de ejecución de módulos sucesivos de enterramiento.-

Sumando los aumentos de la TGI calculados precedentemente, se obtiene el aumento mensual por familia definitivo. En la *Tabla 11.8* se muestran dichos valores.

Año	Aumento de la TGI para devolución del préstamo [\$]	Aumento de la TGI para solventar costos operativos [\$]	Aumento de la TGI para solventar costos de ejecución de módulos sucesivos [\$]	Aumento total de la TGI [\$]
2016	24,79	206,37	29,41	260,56
2017	24,32	206,37	28,86	259,54
2018	-	130,16	28,32	165,43
2019	-	129,29	27,81	164,48
2020	-	136,26	27,31	163,57
2021	-	135,85	26,83	162,69
2022	-	135,46	26,37	161,83
2023	-	135,09	25,93	161,01
2024	-	134,72	25,49	160,22
2025	-	134,37	25,08	159,45
2026	-	134,03	24,67	158,70
2027	-	133,66	24,23	157,89
2028	-	133,30	23,81	157,10
2029	-	132,95	23,39	156,35
2030	-	132,62	23,00	155,62
2031	-	132,30	22,61	154,91
2032	-	131,98	22,24	154,23
2033	-	131,68	21,88	153,56
2034	-	131,39	21,54	152,92
2035	-	131,10	21,20	152,30
2036	-	130,83	20,87	151,70

Tabla 11.8 | Aumento total de la TGI.-

Durante los primeros dos años se percibe un aumento de la cuota mucho más elevado en comparación a los años siguientes -aproximadamente un 65% en promedio-, debido al traslado e ingreso de los residuos al Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe.

Pero a partir del año 2018, los usuarios verán su TGI aumentada entre \$151,70 y \$165,43 mensualmente. Este valor no se considera para nada despreciable, sino todo lo contrario. Pero aun así, se reconoce como un valor razonable para el servicio que se brinda, y para los beneficios ambientales y sociales que conlleva.

11.1. Beneficios extra

Se evaluarán en esta sección los beneficios económicos obtenidos del aprovechamiento de los materiales recuperados.

Estos beneficios no fueron contabilizados en la ecuación económica debido a que -como ya se mencionó precedentemente- las ganancias obtenidas de la venta de materiales serán en un 100% repartidas -en partes iguales- entre los integrantes de la cooperativa.

Del Anexo 14.2.18, se obtienen las cantidades de materiales recuperados en función de su composición. En la Tabla 11.9 se muestran dichos valores.

Material	Sub-clasificación	Composición [%]	Composición [tn]
Papel y Cartón 45%	Cartón	65	0,847
	Papel archivo	26	0,334
	Papel blanco	9	0,120
	Tetrabrick	1	0,008
Plásticos 37%	PET Cristal	38	0,408
	PET Verde	8	0,090
	Soplado	12	0,126
	Bazar	5	0,057
	Nylon	37	0,396
Metales 5%	Cobre	3	0,004
	Aluminio (latas)	10	0,015
	Aluminio (desodorantes)	11	0,016
	Aluminio (mezcla)	3	0,005
	Baterías	2	0,003
	Latas	70	0,102
Vidrio 13%	Vidrio	100	0,378

Tabla 11.9 | Composición de materiales recuperados.-

Tomando como referencia los precios ofrecidos por la Planta Clasificadora del Complejo Ambiental de la Ciudad de Santa Fe, se calculan las ganancias obtenidas para esas cantidades de materiales. En la Tabla 11.10 se muestran los resultados.

Material	Sub-clasificación	Composición [%]	Composición [tn]	Precio Unitario [\$/kg]	Precio Total [\$/]
Papel y Cartón 45%	Cartón	65	0,847	1,80	1524,55
	Papel archivo	26	0,334	0,95	317,66
	Papel blanco	9	0,120	2,70	324,37
	Tetrabrick	1	0,008	1,40	11,21
Plásticos 37%	PET Cristal	38	0,408	3,50	1427,44
	PET Verde	8	0,090	1,30	116,64
	Soplado	12	0,126	3,50	442,51
	Bazar	5	0,057	1,20	68,52
	Nylon	37	0,396	0,75	296,70
Metales 5%	Cobre	3	0,004	43,00	175,96
	Aluminio (latas)	10	0,015	9,00	132,31
	Aluminio (desodorantes)	11	0,016	16,00	261,90
	Aluminio (mezcla)	3	0,005	14,00	67,90
	Baterías	2	0,003	7,50	26,14
	Latas	70	0,102	0,55	56,10

Vidrio 13%	Vidrio	100	0,378	0,38	143,75
Total		100	2,91	-	5393,69

Tabla 11.10 | Precio de materiales recuperados.-

El valor total obtenido en la *Tabla 11.10*, es diario, por lo que mensualmente las ganancias totales G serán:

$$G = 5393,69 \left[\frac{\$}{\text{dia}} \right] \times 30[\text{dias}] = 161810,70[\$]$$

Las cuales se repartirán entre los aproximadamente 30 recuperadores urbanos, por lo que a cada uno le corresponderá mensualmente una cantidad igual a G_1 :

$$G_1 = \frac{161810,70[\$]}{30} = 5393,69[\$]$$

De la *Tabla 11.10* se puede obtener una relación Precio/Cantidad -suponiendo que las proporciones de los materiales componentes se mantienen- igual a:

$$\frac{\text{Precio}}{\text{Cantidad}} = \frac{5393,69[\$]}{2,91[\text{tn}]} = 1853,50[\$/\text{tn}]$$

Con este valor, y en función de las cantidades calculadas en la *Tabla 11.10*, se obtienen los beneficios derivados de la venta de materiales. En la *Tabla 11.11* se muestran los resultados, teniendo en cuenta que los materiales recuperables representan -como bien se explicó precedentemente- el 38% del total de los RSU, y que el coeficiente de desvío para esta fracción es del 25%.

Año	Generación anual [tn]	Ingresos obtenidos de la venta de materiales recuperados [\$]
2016	7942,40	1398518,10
2017	8094,97	1425383,01
2018	8247,54	1452247,93
2019	8400,11	1479112,84
2020	8552,68	1505977,76
2021	8705,25	1532842,67
2022	8857,82	1559707,59
2023	9010,39	1586572,51
2024	9162,96	1613437,42
2025	9315,53	1640302,34
2026	9468,10	1667167,25
2027	9640,38	1697502,76
2028	9812,66	1727838,26
2029	9984,94	1758173,76
2030	10157,22	1788509,26
2031	10329,50	1818844,77
2032	10501,78	1849180,27
2033	10674,06	1879515,77
2034	10846,34	1909851,27
2035	11018,62	1940186,78
2036	11190,90	1970522,28

Tabla 11.11 | Ganancias obtenidas de la recuperación de materiales.-

11.2. Análisis Costo-Efectividad (ACE)

Otro de los enfoques que se podrían aplicar -y que quizás resulte el más adecuado para el caso- a un proyecto de estas características, es el que consiste en obtener el costo por unidad de efecto del proyecto.

Se trata de un cociente en el cual el *denominador* es la *unidad del efecto* que se analiza, explicitado en los objetivos del proyecto, en una medida determinada -para este proyecto, podrían ser toneladas de residuos procesados, kilowatt hora de energía recuperada, etc.; mientras que el *numerador* es el *costo en dinero* de dicha mejora. Queda claro, por lo tanto, que se trata de una relación incremental, ya que vincula el aumento en el efecto con el aumento del costo.

Desde esta perspectiva, que principalmente se aplica para proyectos vinculados a la salubridad pública, pueden analizarse varios índices como

- Costo / tonelada procesada de residuos [$\$/t$]
- Costo / tonelada de residuos reciclables recuperados [$\$/t_{rr}$]
- Costo / tonelada de residuos con disposición final en relleno sanitario [$\$/t_{dr}$]
- Costo / metro cúbico de gas metano obtenido [$\$/m^3$]
- Costo / kilowatt hora de energía recuperada [$\$/kWh$]

Estos índices tienen un rol fundamental al momento de la evaluación del proyecto por parte de los entes financiadores: permiten ranquear al proyecto con respecto a sus competidores en base a sus valores, o efectuar comparaciones con proyectos similares.

Pero también son un buen indicador del nivel de funcionamiento durante la etapa de explotación del proyecto, tanto para los entes financiadores como para los encargados de llevar adelante su operación. Los indicadores pueden ser revisados periódicamente con el objeto de controlar su evolución temporal y, eventualmente, efectuar las rectificaciones necesarias o reafirmar los procedimientos llevados a cabo. Finalmente, el objetivo ideal debería ser el de la reducción del costo por unidad de efecto.

Indicadores para el Proyecto

El costo necesario para lograr cada uno de los efectos esperados es muy difícil, sino imposible, de determinar de manera aislada, por lo que lo más conveniente podría ser considerar el costo total para cada efecto.

El costo que se tiene en cuenta para determinar cada uno de los indicadores, se evalúa para cada año considerando *costos de operación*, *costos de educación y concientización*, y *cuota a devolver anualmente* -los primeros dos ítems agrupados bajo el concepto de *costos totales de operación*-. Este análisis anual será por lo tanto variable con respecto a ese periodo de tiempo analizado.

De la misma manera, y asociada a la población -y por lo tanto a la generación de residuos del consorcio- y a la eficiencia en los procesos de clasificación se manifestará una variación en las producciones de los efectos deseados para cada año.

Considerando todo lo anterior, podríamos construir la *Tabla 11.12*, que surge como una combinación de los costos relacionados al tratamiento de residuos y los efectos obtenidos a través de éste.

Año	Costos totales de operación [\$]	Cuota anual a devolver [\$]	Costo total anual [\$]	Toneladas procesadas de residuos [t]	Toneladas de residuos reciclables recuperados [t]	Toneladas de residuos con disp. final en relleno sanitario [t]	Metros cúbicos de gas metano obtenidos [m³]	Kilowatt hora de energía recuperada [kWh]
2016	26782124.85	1608612.84	28390737.69	21.76	2.07	13.16	139040.65	212106.51
2017	27296597.65	1608612.84	28905210.49	22.18	2.11	13.42	151833.81	231622.48
2018	9706856.21	1608612.84	11315469.05	22.60	2.15	13.67	165008.53	251720.52
2019	9886421.88	1608612.84	11495034.72	23.01	2.19	13.92	178564.81	272400.62
2020	10065987.55	1608612.84	11674600.39	23.43	2.23	14.18	192502.65	293662.80
2021	10245553.22	1608612.84	11854166.06	23.85	2.27	14.43	206822.05	315507.04
2022	10425118.89	1608612.84	12033731.73	24.27	2.31	14.68	221523.01	337933.35
2023	10604684.56	1608612.84	12213297.40	24.69	2.35	14.94	236605.52	360941.72
2024	10784250.23	1608612.84	12392863.07	25.10	2.38	15.19	252069.59	384532.16
2025	10963815.90	1608612.84	12572428.74	25.52	2.42	15.44	267915.23	408704.68
2026	11143381.57	1608612.84	12751994.41	25.94	2.46	15.69	284142.42	433459.25
2027	11346144.72	1608612.84	12954757.56	26.41	2.51	15.98	289312.62	441346.41
2028	11548907.87	1608612.84	13157520.71	26.88	2.55	16.26	294482.83	449233.56
2029	11751671.02	1608612.84	13360283.86	27.36	2.60	16.55	299653.04	457120.72
2030	11954434.17	1608612.84	13563047.01	27.83	2.64	16.84	304823.25	465007.87
2031	12157197.32	1608612.84	13765810.16	28.30	2.69	17.12	309993.46	472895.02
2032	12359960.47	1608612.84	13968573.31	28.77	2.73	17.41	315163.67	480782.18
2033	12562723.62	1608612.84	14171336.46	29.24	2.78	17.69	320333.88	488669.33
2034	12765486.77	1608612.84	14374099.61	29.72	2.82	17.98	325504.09	496556.48
2035	12968249.92	1608612.84	14576862.76	30.19	2.87	18.26	330674.30	504443.64
2036	13171013.07	1608612.84	14779625.91	30.66	2.91	18.55	335844.50	512330.79

Tabla 11.12 | Costos y Efectos del Tratamiento de Residuos.-

En la *Tabla 11.12*, la cuarta columna corresponde al costo total de cada año, es decir el numerador de cada índice a determinar, mientras que de la quinta a la novena columna, se muestra el valor (cantidad) de los efectos logrados. Solo resta efectuar los cocientes para cada año, lo que se expresa en la *Tabla 11.13*.

Año	Costo / tonelada de residuos procesada [\$/t]	Costo / tonelada de residuos reciclables recuperados [\$/trr]	Costo / Tonelada de residuos con disp. final en relleno sanitario [\$/tdr]	Costo / Metros cúbicos de gas metano obtenidos [\$/m³]	Costo / Kilowatt hora de energía recuperada [\$/kWh]
2016	1304721.40	13733909.49	2156564.30	204.19	133.85
2017	1303210.57	13718006.02	2154067.06	190.37	124.79
2018	500684.47	5270362.86	827577.64	68.58	44.95
2019	499566.92	5258599.11	825730.44	64.37	42.20
2020	498275.73	5245007.70	823596.25	60.65	39.76
2021	497030.02	5231894.98	821537.23	57.32	37.57
2022	495827.43	5219236.11	819549.47	54.32	35.61
2023	494665.75	5207007.91	817629.34	51.62	33.84
2024	493739.56	5197258.57	816098.45	49.16	32.23
2025	492650.03	5185789.78	814297.57	46.93	30.76
2026	491595.78	5174692.37	812555.00	44.88	29.42
2027	490524.71	5163417.99	810784.64	44.78	29.35
2028	489491.10	5152537.87	809076.19	44.68	29.29
2029	488314.47	5140152.30	807131.35	44.59	29.23
2030	487353.47	5130036.50	805542.92	44.49	29.17
2031	486424.39	5120256.71	804007.25	44.41	29.11
2032	485525.66	5110796.45	802521.76	44.32	29.05
2033	484655.83	5101640.31	801084.02	44.24	29.00
2034	483650.73	5091060.29	799422.69	44.16	28.95
2035	482837.45	5082499.52	798078.44	44.08	28.90
2036	482049.12	5074201.23	796775.40	44.01	28.85

Tabla 11.13 | Indicadores Costo-Efectividad del proyecto.-

Los valores expresados en la *Tabla 11.13* pueden ser la base de la construcción de curvas de Costo-Efectividad, que como hemos explicado son de buena utilidad al momento de cotejar el rendimiento real con el previsto.

En el año de inicio del tratamiento, los índices alcanzan valores sensiblemente superiores que para los años siguientes; esto se debe por un lado a los altos costos de traslado de los residuos del consorcio hacia el relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe -práctica que se realiza mientras dura el proceso de construcción y puesta en funcionamiento de las instalaciones del complejo ambiental proyectado- y por otro a la menor eficiencia inicial supuesta. Por esto, sería interesante observar los índices una vez que el proyecto se encuentre en plena aplicación, y luego registrar su fluctuación con el tiempo.

De la *Tabla 11.13*, para el año estimado de conclusión de las obras y puesta en funcionamiento del Complejo Ambiental, tendremos que los índices son

- Costo / tonelada procesada de residuos

$$i_{[\$/t]} = 500684.47$$

- Costo / tonelada de residuos reciclables recuperados

$$i_{[\$/t_{rr}]} = 5270362.86$$

- Costo / tonelada de residuos con disposición final en relleno sanitario

$$i_{[\$/t_{rr}]} = 827577.64$$

- Costo / metro cúbico de gas metano obtenido

$$i_{[\$/t_{rr}]} = 68.58$$

- Costo / kilowatt hora de energía recuperada

$$i_{[\$/t_{rr}]} = 44.95$$

Indicador	Valor
Costo / tonelada procesada de residuos	500684.47
Costo / tonelada de residuos reciclables recuperados	5270362.86
Costo / tonelada de residuos con disposición final en relleno sanitario	827577.64
Costo / metro cúbico de gas metano obtenido	68.58
Costo / kilowatt hora de energía recuperada	44.95

Tabla 11.14 | Indicadores Costo-Efectividad del proyecto para el año 2018.-

12. Conclusiones |

Este proyecto -tal como se mencionó al inicio del desarrollo del mismo- se propone con el fin de proteger y racionalizar el uso de los recursos naturales a corto, mediano y largo plazo; de minimizar los impactos negativos que los residuos puedan producir sobre el ambiente natural y antrópico, y así proteger al mismo y la calidad de vida de la población tanto local como de las zonas de influencia; y de lograr una sustentabilidad y equidad Intergeneracional.

Lograr una adecuada Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos es un desafío muy complejo que atraviesan todas las sociedades. No se puede determinar cuál o cuáles son las actividades, acciones, tecnologías, componentes, etc., que se deben aplicar a una comunidad sin considerar la totalidad de los aspectos que, directa o indirectamente, se vinculan con la generación y el tratamiento de los residuos.

En ese sentido, y con las limitaciones propias de un Proyecto Final de Carrera -tiempo, recursos económicos, accesibilidad a la clase política, etc.- se pudo conocer el carácter general de la población, sus conductas con respecto a las distintas etapas de la Gestión Integral, y sus demandas sociales.

En base a esto, y esperando contribuir con un aporte de la ciudadanía -tanto económico como actitudinal-, se diseñaron las instalaciones necesarias para reducir los impactos negativos de la generación de residuos, que como se explicó en otros capítulos es una consecuencia inevitable de la conducta humana, y su magnitud está sujeta a cuestiones que escapan a la ingeniería civil.

Los habitantes del consorcio del Corredor de la Costa, deberían ser objeto constante e intensivo de campañas de concientización, educación y capacitación, para obtener la mejor respuesta de los mismos, y por consecuencia el mejor rendimiento del proyecto.

Pero la tarea de la Administración Pública no debería ser únicamente solicitar la colaboración y administrar las economías de la ciudadanía para el correcto funcionamiento del Plan, sino que, a modo de devolución y como otra herramienta de motivación, deberían ser publicados periódicamente los resultados obtenidos de la aplicación de la nueva GIRSU.

Técnica, ambiental y económicamente, el proyecto cumple con las expectativas que una ciudad como San José del Rincón podría plantearse. Se alcanzan todos los objetivos no solo de estas localidades, sino de cualquier otra que pretenda una sostenibilidad ambiental acorde con las nuevas tendencias y necesidades.

Tanto los residuos orgánicos como los recuperables, dejan de ser un *desecho* para convertirse en *materias primas*, ya sea de energía o de nuevos productos, respectivamente. Paralelamente, se reduce la creación del pasivo ambiental que hasta ahora significan los residuos, por lo que los recursos son protegidos desde la disminución de su consumo -tanto para producción de energía como para manufactura de productos- como también de la reducción de la agresión a la que son sometidos. Claro que el nivel de funcionamiento de la GIRSU depende casi en su totalidad del aporte en la generación diferenciada que realicen los habitantes.

Un caso especial es el de los residuos irrecuperables; su potencial de recuperación, al menos con las tecnologías aplicables a esta comunidad, es prácticamente nulo. Por lo tanto, las prácticas más adecuadas consisten en la reducción de la generación de este tipo de

residuos, lo que se logra mediante campañas de educación y concientización para una generación responsable.

El tratamiento de los residuos no es una actividad que genere ingresos económicos, sino muy por el contrario, requiere de la inyección constante de recursos. En este contexto, se debe ajustar al mínimo indispensable el costo de operación, o dicho de otra manera, las operaciones deben lograr un máximo de eficiencia; mientras tanto, los productos del tratamiento se deben maximizar de manera de obtener el máximo ingreso, derivado de ellos, posible.

La GIRSU es un servicio básico y esencial de la comunidad, tal como la educación, la salud, la seguridad, etc., y la cantidad de beneficios que se obtienen con la ella versus el alto grado de perjuicios que ocasiona la NO-GIRSU en forma adecuada, dejan sin lugar a dudas la certeza de que el proyecto debe ejecutarse de manera de garantizar el derecho de los ciudadanos de vivir en un ambiente digno. Es el Estado quien debe garantizar el cumplimiento de estos derechos dentro de su territorio de manera de que su población se pueda desarrollar sin riesgos ambientales.

Aun si los indicadores económicos resultaran en un balance negativo que indique la inviabilidad del proyecto, se trata de un servicio que debe realizarse de todas maneras, tal como lo indican las leyes nacionales y provinciales que obligan a implementarla, sin evaluación económica previa, en resguardo de la salud y el medio ambiente.

Como se puede interpretar, el problema no depende solamente del tratamiento que se pueda dar a los residuos, sino del origen de los mismos, su cantidad, presupuesto disponible, y destino de los productos obtenidos.

La energía es un bien escaso, y por lo tanto sumamente valioso. La recuperación de la energía contenida en los residuos, y la posterior incorporación de la misma a la matriz energética, es poco relevante desde su magnitud en el contexto nacional, pero constituiría un antecedente muy importante para la implementación en todo el territorio.

Con la inserción de los recuperadores informales al circuito de procesamiento formal de los residuos, creemos, como proyectistas y futuros profesionales, que la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos propuesta atiende simultáneamente a todas las problemáticas asociadas a los residuos, considerando además su influencia sobre la disponibilidad de los recursos naturales.

13. Bibliografía y Fuentes Consultadas |

- Apuntes de Cátedra de Gestión e Impacto Ambiental.
- Apuntes de Cátedra de Hidráulica General y Aplicada.
- Apuntes de Cátedra de Ingeniería Sanitaria.
- Apuntes de Cátedra de Proyecto Final.
- Biodigestor Anaerobio para el Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos en Pequeñas Comunidades - E. Gropelli, J. Muesati, B. Pampinella, O. Giampaoli.
- Biotratamiento de Residuos Tóxicos y Peligrosos - Morris A. Levin & Michael A. Gealt.
- Desechos Sólidos: Principios de Ingeniería y Administración - George Tchobanoglous.
- Diseño de Proyectos Bajo el Enfoque de Marco Lógico - Prof. Lic. Alejandra Marcela Nardi.
- El Enfoque del Marco Lógico: 10 Casos Prácticos - Cuaderno para la Identificación y Diseño de Proyectos de Desarrollo - Hugo Camacho, Luis Cámara, Rafael Cascante, Héctor Sainz.
- Estructuras Metálicas, Proyecto por Estados Límites - Parte I - Séptima Edición - Gabriel Troglia - Editorial Jorge Sarmiento Universitas Libros - 2010.
- Estructuras Metálicas, Proyecto por Estados Límites - Parte II - Séptima Edición - Gabriel Troglia - Editorial Jorge Sarmiento Universitas Libros - 2010.
- Estudio Básico del Biogás - Agencia Andaluza de la Energía - Consejería de Economía, Innovación y Ciencia.
- Estudio Técnico-Económico de la Digestión Anaerobia Conjunta de la Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos y Lodos de Depuradora para la Obtención de Biogás - María Estela Montes Carmona.
- Evolución de la Calidad de los Líquidos Lixiviados y Contaminación de las Napas Durante la Vida Útil del Relleno Sanitario de la Ciudad de Santa Fe - A. Bernabeu, M. Cabrero, A.L. Pino, E. Gropelli.
- Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil - Ministerio de Economía y Finanzas y Ministerio del Ambiente de Perú.
- Guía para el Diseño, Construcción y Operación de Rellenos Sanitarios Manuales - Jorge Jaramillo.
- Maestría Gestión de Residuos - Vertido de Residuos Urbanos - Universidad Internacional de Andalucía.

- Manual de Eliminación de Residuos - Caterpillar.
- Manual de Información Tecnológica - CIT.
- Manual del Biogás - María Teresa Varnero Moreno.
- Manual del Constructor - H. Dubbel.
- Manual del Ingeniero - Hütte.
- Manual del Ingeniero Químico - Manual Perry.
- Mecánica de los Fluidos e Hidráulica - Rananld. V Giles.
- Manual Técnico del Agua - Degremont.
- Marco Lógico en el Monitoreo y Evaluación de Proyectos, Unidades 1 A 7 -
Compilado por: Jorge de la Fuente Olgún.
- Operaciones Unitarias en Ingeniería Química - Warren L. Mc. Cabe, Julian C. Smith,
Peter Harriott.
- Procedimiento para el Tratamiento de Solicitudes de Generación en Isla o en
Paralelo con la Red de La EPESF - Empresa Provincial de la Energía de Santa Fe -
Manual de Procedimientos.
- Procesos de Transferencia de Calor- Donald Q. Kern.
- Reglamento CIRSOC 101 “Cargas y Sobrecargas Gravitatorias para el Cálculo de
Estructuras de Edificios” - Edición 2005 - INTI.
- Reglamento CIRSOC 102 “Acción del Viento Sobre las Construcciones” - Edición
2005 - INTI.
- Reglamento CIRSOC 301 “Proyecto, Cálculo y Ejecución de Estructuras de Acero
para Edificios” - Edición 2005 - INTI.
- Revisión de las Principales Tecnologías de Purificación de Biogás - B. Morero, E.
Groppelli, E. Campanella.
- Solid Waste Landfill Engineering and Design - Mc. Bean, E., Rovers. F., Farquhar. G.
- Solid Waste Landfill Design Manual - Washington State Department of Ecology.
- Tratamiento, Evacuación y Reutilización de Aguas Residuales- Metcalf & Eddy, Inc.
- Tratamiento de Aguas Residuales - R. S. Ramalho.

13.1. Entrevistas personales

- Abg. Juan Pablo Magnín.
- Área de Compostaje de la Ciudad de Santa Fe: Jorge Horacio Rabey. Catastro de San José del Rincón: Arq. María Pía Uriburu.
- Cooperativa de Viviendas y Provisión de Obras y Servicios Públicos, Sociales, Asistenciales y de Crédito de Ltda. de San José del Rincón.
- Ecopen: Federico Pensiero.
- Encargado Municipal de Camiones Recolectores de Residuos de San José del Rincón: Pablo Castaño.
- Ex Subsecretaría de Urbanismo, Hábitat y Turismo de San José del Rincón: Lic. Julieta di Filippo.
- Jefe de Personal de Recolección de Residuos de San José del Rincón: Horacio Soperez.
- Municipalidad de Oro Verde: Ing. Javier Fernández.
- Planta Clasificadora de Paraná: integrantes de la cooperativa, encargado de mantenimiento de máquinas y equipos.
- Planta Clasificadora de Santa Fe: Diego Videla.
- Presidente Comunal de Santa Rosa de Calchines: Carlos Kaufmann.
- Secretaria de Desarrollo Social de San José del Rincón: Laura Ruiz.
- Secretaría de Obras Públicas de San José del Rincón: Arq. Sergio Trevisani, Arq. Nicolas Barnij.
- Recuperadores Urbanos de San José del Rincón: Rosana Maciel y flia.
- Relleno Sanitario de Santa Fe: Ing. Mauro Cabrero, Téc. Maximiliano Sesma.
- Ricardo Mallozzi S.A.: Arq. Antonio Mallozzi.
- SAMCo de San José del Rincón: Dr. Laura Ledesma.
- Vicepresidente Comunal de Arroyo Leyes: Diego Bagatolli.

13.2. Páginas web

- <http://ambiente.gob.ar/>
- <https://es.wikipedia.org/>
- <http://observatoriorsu.ambiente.gob.ar/>
- <http://www.afip.gob.ar/>
- <http://www.aqualimpia.com/home.htm>
- <http://www.cifrasonline.com.ar/cifras/index.php>
- <http://www.desarrollosindustriales.com/>
- <http://www.ecoreciclar.com.ar/>
- <http://www.electronicworld.co.in/products/hammer-crusher.html>
- <http://www.ellitoral.com/>
- <http://www.energiaestrategica.com/>
- <http://www.estrucplan.com.ar/>
- <http://www.iadb.org/es/banco-interamericano-de-desarrollo,2837.html>
- <http://www.ina.gov.ar/>
- <http://www.inti.gob.ar/>
- <http://www.municipalidadrincon.gob.ar/>
- <http://www.santafe.gov.ar/>
- <http://www.santafeciudad.gov.ar/>
- <http://www.santarosacalchines.gov.ar/>
- <http://www.unosantafe.com.ar/>
- <https://www.zerowasteurope.eu/>

