

ESTUDIO DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS PELIGROSOS EN UNA PLANTA DE CELULOSA, PROCESO KRAFT

Mg. Ing. Erich F. Quiroz Verdugo

Académico Departamento de Prevención de Riesgos y Medio Ambiente
Universidad Tecnológica Metropolitana- Santiago, Chile

equiroz@utem.cl
erichquiroz@gmail.com

INTRODUCCION

La creciente intensificación de la actividad humana ha producido un efecto cada vez mas importante sobre el entorno, la generación de residuos ha crecido en forma exponencial, pero además, la naturaleza de los mismos con una contribución cada vez mayor de sustancias de alta peligrosidad, ha aumentado progresivamente, incrementando el riesgo de un incidente ambiental en las industrias (Rodríguez et al, 1999). Los residuos sólidos constituyen un problema ambiental crítico en la sociedad industrial moderna. El sector manufacturero sigue manteniéndose como una de las actividades económicas más importantes del país. Del mismo modo, la Industria de Celulosa es una de las actividades de mayor importancia dentro del sector forestal chileno, tanto en términos de producción como de generación de divisas. En el país existe una fuerte orientación hacia la producción y exportación de celulosa, tanto de fibra corta como de fibra larga, debido a la creciente demanda que existe de este producto en los mercados internacionales. En la década de los 90 este sector presentó una fuerte expansión como resultado de cuantiosas inversiones realizadas, principalmente en nuevas fábricas de celulosa, duplicando la capacidad instalada. Una carencia en el manejo y planificación del almacenamiento y transporte de RIS puede generar efectos altamente perjudiciales en la salud humana y el ambiente, culminando potencialmente en un incidente o accidente de mayores consecuencias para la empresa.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un estudio de Generación de Residuos Sólidos Industriales (RIS) en una Planta de Celulosa, estableciendo los mecanismos tecnológicos mas eficientes para el adecuado tratamiento de residuos industriales.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un diagnóstico de la situación actual de la planta, en torno a la generación, manejo, almacenamiento y disposición final de RIS generados en el proceso de producción, identificando las etapas generadoras y realizando un estudio de generación de residuos Industriales.
- Elaborar una clasificación de RIS mediante el código WINVENT para residuos industriales, de acuerdo a su potencial de reutilización, estableciendo los Factores de Emisión para las principales corrientes contaminantes.

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

La Tabla 1 muestra los Factores de Generación típicos para diferentes sectores industriales relevantes. Se aprecia los Factores de Generación típicos de la Industria de la Celulosa y su comparación con otros sectores industriales. En general, la tasa de generación de RIS varía ampliamente según el tipo de actividad, presentando valores típicos del orden de 0,1 (ton RIS / ton producto). La composición de éstos, refleja directamente la naturaleza de los materiales utilizados y de los productos derivados del procesamiento.

TABLA 1. FACTORES TÍPICOS DE GENERACIÓN DE RESIDUOS INDUSTRIALES EN CHILE

ACTIVIDAD INDUSTRIAL	FACTOR DE GENERACIÓN (Ton. RIS / Ton. producto)
Industria de Lácteos	0,005 – 0,01
Matanza de Ganado	0,035 – 0,30
Industria Recursos Marinos:	
a) Conserveras	0,05 – 0,10 0,05 – 0,12
b) Harina y Aceite de Pescado	
Industria de Productos Forestales:	
a) Aserraderos y Tableros	0,15 – 0,40
b) Pulpa y Papel	0,02 – 0,15
Refinería de Petróleo	0,0003 – 0,0006

Fuente: Zaror, (2010).

CLASIFICACION POR MANEJO

RESIDUOS NO PELIGROSOS

Los Residuos No peligrosos son aquellos considerados en la categoría de domiciliarios y comerciales.

RESIDUOS PELIGROSOS

Definido como todo desecho, barro, liquido o cualquier otro material desechable que debido a su cantidad, concentración o características físicas, químicas o infecciosas, pueda causar o contribuir significativamente a un aumento en enfermedades serias e irreversibles, o con incapacidad temporal; o presenta un riesgo inmediato o potencial, para la salud de las personas y el medio ambiente cuando se manejan, almacenan, tratan o disponen de una manera impropia e inconveniente. Contienen una normativa y controles más exigentes comparados con los residuos comunes como los municipales. Para los residuos peligrosos existen diversas categorías (EPA, 2012):

- Toxicidad
- Inflamabilidad
- Corrosividad

- Reactividad
- Explosividad

Los residuos considerados peligrosos, poseen en su composición, sustancias o materiales en concentraciones tales, que en función de la cantidad y estado en que se presente, implica necesariamente un riesgo de contraer enfermedad, o en el peor de los casos, un riesgo vital para las personas y medio ambiente. Actualmente, la elaboración de listas de sustancias peligrosas, constituye una estrategia frecuente para la clasificación de residuos peligrosos. Las listas se pueden componer, tanto por compuestos o elementos químicos específicos. Las anteriores listas, no consideran valores cuantitativos de sustancias o elementos, haciendo referencia si a cantidades y concentraciones que pudiesen presentar un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. La Tabla 1 presenta algunos ejemplos de residuos considerados como peligrosos. Se aprecia el tipo de RIS peligroso generado en la Industria de la de Celulosa. En la Tabla 2 se muestra los tipos de residuos peligrosos de cada clasificación según la N.Ch. 382 Of. 89.

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS

CLASIFICACION

Residuos Inorgánicos

- Ácidos y Álcalis.
- Residuos de Cianuro
- Borrás y Soluciones de Metales Pesados.
- Residuos de Asbesto.
- Otros Tipos de Residuos Sólidos

Residuos Aceitosos

- Aceites Lubricantes y Fluidos Hidráulicos.
- Sedimentos del Fondo de Estanques de Almacenamiento de Aceites.

Residuos Orgánicos

- Solventes Halogenados
- Residuos de Solventes No-Halogenados (Tolueno, Etanol, etc.)
- Residuos de Bifenilos Policlorados (BPCs).
- Residuos de Resinas y Pinturas.
- Residuos de Biocidas
- Otros Tipos de Residuos Químicos Orgánicos.

Residuos Orgánicos Putrefactos

- Aceites Comestibles
- Residuos de Mataderos, Curtiembres, y Otras Industrias Alimenticias.

Residuos de Alto Volumen - Baja Peligrosidad

- Cenizas de la Quema de Combustibles Fósiles, Relaves

de Faenas Mineras,
Barros de Perforaciones de la Extracción del Petróleo,
etc.

Residuos Varios

- ❑ Residuos Infecciosos
- ❑ Residuos de Laboratorios
- ❑ Residuos Explosivos

Fuente: Norma Chilena 382 Of. 89. Sustancias Peligrosas- Terminología y Clasificación General. Primera Edición (1989).

Uno de los problemas ambientales inmediatos que enfrenta la industria de la pulpa tiene relación directa con la generación de residuos y emisiones. Tal como se ilustra en la Figura 1, los residuos, emisiones y pérdidas energéticas constituyen recursos que no han sido utilizados productivamente y, por lo tanto, representan un costo adicional del proceso productivo.

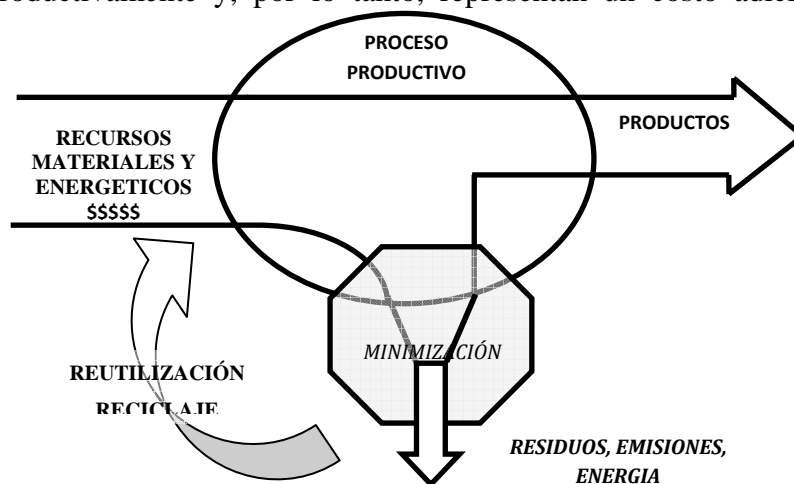


FIGURA 1. EFICIENCIA DEL PROCESO Y PREVENCIÓN DE PERDIDAS DE MATERIALES Y ENERGÍA

Tradicionalmente, las estrategias de manejo de residuos se basan en tecnologías de tipo terminal (“end of pipe”). De esta forma, los RIS se llevan a vertederos, sin reciclaje previo, las emisiones gaseosas se lavan o filtran, las emisiones líquidas se someten a diversos tratamientos, etc. La estrategia para reducir el impacto ambiental derivado de la actividad industrial, se basa en un enfoque integral preventivo, que pone énfasis en una mayor eficiencia de utilización de los recursos materiales y energéticos, de modo de incrementar simultáneamente la productividad y la competitividad. Ello involucra la introducción de medidas tecnológicas y de gestión, orientadas a reducir los consumos de materiales y energía, prevenir la generación de residuos en la fuente misma, reducir los riesgos operacionales y otros posibles aspectos ambientales adversos, a través de todo el proceso de producción (Zaror, 2000). Esta estrategia preventiva e integral tiene la ventaja de que no considera el control ambiental como algo aislado del proceso de producción, sino que surge

como consecuencia de una gestión productiva más eficiente. Así el control ambiental, basándose en un eficiente sistema de gestión, genera un aprovechamiento integral de las materias primas y de la energía utilizada, a la vez que aprovecha al máximo el potencial de la tecnología existente y se identifican oportunidades de mejoramiento en todas las áreas y actividades de la empresa (Ihobe, 2002):

- Control de calidad.
- Mantenimiento preventivo y correctivo.
- Control de pérdidas.
- Entrenamiento y motivación de los trabajadores.
- Medidas de seguridad y prevención de accidentes, etc.

De este modo, las modificaciones tecnológicas e innovaciones a los procesos industriales aparecen como conclusión de un proceso de búsqueda de un mejor desempeño productivo, que persigue reducir costos e incrementar la eficiencia de dichos procesos, generando un aumento en los beneficios económicos de una empresa (Rodríguez, 1999). La minimización de residuos corresponde a una estrategia tendiente a disminuir la cantidad y nocividad de los residuos generados, con el propósito de incrementar la productividad global del proceso y evitar costos innecesarios. Esto puede lograrse previniendo la generación del residuo en la fuente misma, reciclando y reutilizando aquellos residuos inevitables, conservando energía y agua, segregando los residuos para una mejor reutilización y/o tratamiento, e integrando conceptos ambientales a la gestión de producción.

METODOLOGÍA PARA INVENTARIAR LOS RIS EN LA PLANTA INDUSTRIAL

IDENTIFICACION DE RIS GENERADOS POR EL PROCESO

Para la identificación de RIS producidos en la empresa, se procedió a diseñar una matriz que incorpora las etapas del proceso industrial y por otro lado establecer una lista de residuos típicos generados en la industria de la celulosa cruda. Este listado de residuos sólidos industriales debió ser previamente validado en terreno de tal forma de asegurar que un residuo en particular efectivamente se está generando, esto se logra identificando las materias primas que ingresan a la planta mediante el área de Abastecimiento y Bodegas y mediante consulta a Ingenieros y Técnicos de cada etapa del proceso en particular.

CALCULO DE DENSIDADES APARENTES Y CONTENIDO DE HUMEDAD

Para estimar los flujos máxicos a partir de los caudales volumétricos de residuos, se determinó las densidades aparentes promedio de los diversos tipos de residuos, sin compactación, así como el contenido de humedad de los mismos. Las diversas densidades aparentes estimadas fueron obtenidas de mediciones experimentales realizadas por el autor del estudio. En el procedimiento se extrajo un volumen determinado de RIS previamente homogeneizado y pesado mediante una Balanza Marca SARTORIUS, Modelo 1265 MP y mediante el volumen ocupado por la materia mediante una probeta graduada se determinó la densidad aparente del desecho. Por su parte, la determinación del contenido de humedad se realizó por diferencia de peso entre la muestra inicial y la muestra final del residuo una vez extraída la muestra de la estufa. Se utilizó un equipo Marca MEMMERT, Modelo 40050-IP 20. Las condiciones de operación de la estufa son 105°C de Temperatura por 24 Horas. La balanza utilizada fue la misma que para la determinación de la densidad aparente del residuo.

CUANTIFICACION DE RIS

Para la cuantificación de RIS se desarrollaron las siguientes actividades:

- Levantamiento de la información directa a través de visitas a terreno en cada una de las etapas del proceso industrial. Esto permite identificar tanto los materiales de entrada como los de salida del sistema en estudio.
- Consultas a Bitácoras de cada área, identificando volúmenes de RIS generados. Cabe destacar que este procedimiento es útil en la medida que el proceso contabilice sus desechos generados.
- Revisión de registros y consultas a Abastecimiento y Bodegas sobre adquisiciones de materiales de interés para este estudio.
- Determinación de los volúmenes o masa de los residuos a través de medición directa sobre una romana o mediante estimaciones a través de la cubicación de los residuos.

El estudio de generación de desechos se ha establecido considerando los flujos de RIS enviados desde la fuente generadora hacia los diversos patios transitorios de desechos. Se ha determinado emplear este método dado que el flujo de residuos desde los patios transitorios corresponde a una mezcla de los diversos tipos de desechos. Por lo tanto, la determinación de los flujos de entrada a patios (lo que no ocurre en flujos de salida) permite establecer los desechos por tipo y origen de generación. Como resultado de los sucesivos flujos de residuos registrados en este estudio y generados en el proceso, se realiza una estimación de residuos producidos en un determinado período de tiempo, por unidad de producto manufacturado. De esta manera, para cada situación se tiene:

$$Q \text{ producción} * f_{RIS} = Q_{RIS}$$

Ecuación (1)

Es así que para determinar la generación de residuos de una determinada área o de la empresa en general, se debe multiplicar la producción mensual / anual del área o de la empresa por el factor correspondiente. El resultado es la cantidad de residuos industriales sólidos generados en un determinado periodo de tiempo.

CASIFICACION SEGÚN CODIGO WINVENT

Por otra parte, cada residuo industrial es caracterizado a través del código WINVENT, metodología planteada por el Banco Mundial y aplicada por CADE Consultores Ltda. (1996), que emplea 10 dígitos, donde cada carácter representa una característica del residuo, donde mediante esta codificación es posible clasificarlos en cuatro categorías principales: Inertes, Residuales, Reactivos y Peligrosos. Esta separación permitirá agruparlos de acuerdo a su grado de reactividad lo cual es fundamental para una gestión adecuada y por ende, un manejo, disposición o eliminación final acorde a sus características.

La Planta opera continuamente durante todo el año, con 3 turnos de 8 horas cada uno. Genera 250 empleos directos. Aun cuando se encuentra certificada bajo un Sistema de Gestión de Calidad ISO 9000:2000, en la actualidad no posee un Sistema de Gestión Ambiental de sus procesos. La Tabla 3 indica algunos parámetros relevantes del proceso industrial.

TABLA 3. ASPECTOS RELEVANTES DEL PROCESO INDUSTRIAL

Ítem Producción	Unidad	Parámetros
Producción Celulosa	ADt (*)	1000
Maderas	MR/Adt	3
Vapor Proceso	Ton/Adt	4,63
Agua	M3/Adt	57
Petróleo		
Planta Térmica	Kg/Adt	6,2
Petróleo Horno de Cal	Kg/Adt	32,01

(*) ADt : Toneladas Secas al Aire.

IDENTIFICACIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO GENERADORAS DE RIS

Tal como se indica en el Acápite de Materiales y Métodos, para la Identificación de los diversos Residuos Industriales generados en la Planta Industrial, se diseñó una Matriz que permite identificar los RIS por áreas del proceso productivo.

DISTRIBUCIÓN DE RIS POR TIPO DE RESIDUO GENERADO

En la Tabla 4 se indica los diversos tipos de desechos generados. En ella se presentan tanto los volúmenes como los flujos másicos de RIS, ambos expresados por año. Cabe destacar que se ha realizado una conveniente agrupación de desechos semejantes para obtener un volumen que permita visualizar las cantidades gráficamente. En la última fila se presenta además el flujo volumétrico y másico estimado anualmente.

TABLA 4. DISTRIBUCIÓN DE DESECHOS POR TIPO

DESECHO GENERADO	CANTIDAD [m3/Año]	DENSIDAD (*) [Kg/m3]	TOTAL RIS [Kg/Año]
Despunte (1)	268	450	120600
Corteza Contaminada No Combustible	2800	400	1120000
Piedra/Tierra/Limpieza Calle	403	1200	483600
Pasta Lavado	2948	558	1644984

Lodo Verde (Dregs)	6264	770	4823280
Lodo Blanco (Grits)	1305	1200	1566000
Arena	3281	1200	3937470
Ceniza	5923	700	4146100
Polvo PPT,Carboncillo,Escoria,Cal	428	700	299600
Chatarra Metalica (2)	56	1200	67200
Mantenición (3)	21	650	13650
RIS Peligrosos	149	1000	149000
Otros (4)	47	450	21150
TOTAL [m3/Año]	23893		18392634

Notas: (*) Densidad Aparente. Determinación Experimental en Laboratorio (2005)

(1) Despuntes, Astilla, Despuntes con Desechos Vegetales, Materiales Varios, Aseo Preparación Maderas : 120600 kg/año.

(2) Fierros, Aceros, Despuntes, Viruta, Soldadura, Alambres, Cables Eléctricos: 67200 Kg/año. (3) Telas, Paños, Filtros Manga

Aire-Licor, Maxi Bag, Neumáticos, Correas, Discos Corte, Guantes, Trajes de Agua: 13650 Kg/año. (4) Cartones, Plásticos,

Papeles de Oficina, Desechos Equipos Fluorescentes : 21150 Kg/año.

En la Figura 2 se puede observar que el mayor aporte de residuos al total generados corresponde a la generación de lodos verdes (Dregs) con un 25%, provenientes de caustificación. En segundo lugar en cantidad de RIS generados se encuentra la ceniza y Arena, ambos provenientes del lecho fluidizado de la Caldera de Biomasa (22%), seguido por Pasta de Lavado (9%), y Lodo Blanco (Grits) con un 9%, proveniente del Rechazo del Apagador de Cal en el área de Caustificación.

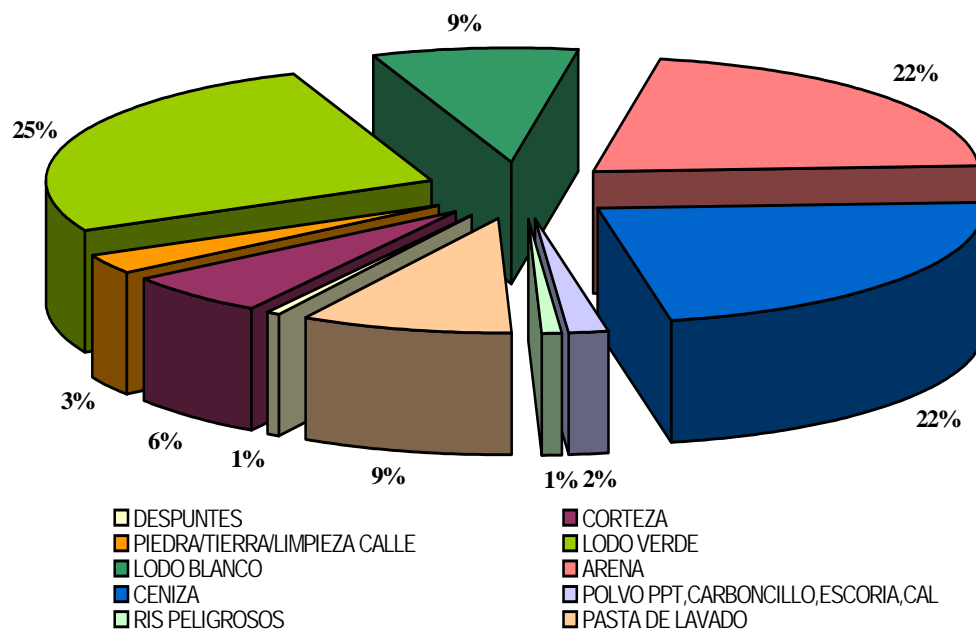


FIGURA 2. GENERACIÓN DE RIS POR TIPO (Kg/Año)

Cabe destacar que el conjunto compuesto por Arena y Ceniza contribuyen en un 44% a la generación total de desechos en el proceso. Por otra parte, los residuos compuestos por arena, ceniza, Dregs y Grits en su conjunto contribuyen en un 78% a la generación del total de RIS generados en el proceso, mientras que los Residuos Peligrosos alcanzan un 1% del total de desechos generados por la empresa. La Figura 2 muestra la distribución de desechos por tipo, incluyendo rechazos de pasta de lavado y corteza limpia, provenientes de clasificación y descortezadores, respectivamente. Sin embargo, dado el poder calorífico de la corteza, este desecho es valorizado energéticamente y empleado en la generación de energía mediante oxidación térmica en la caldera de poder. En la Figura 3 se presenta la distribución de residuos excluyendo los desechos provenientes del descortezado de rollizos.

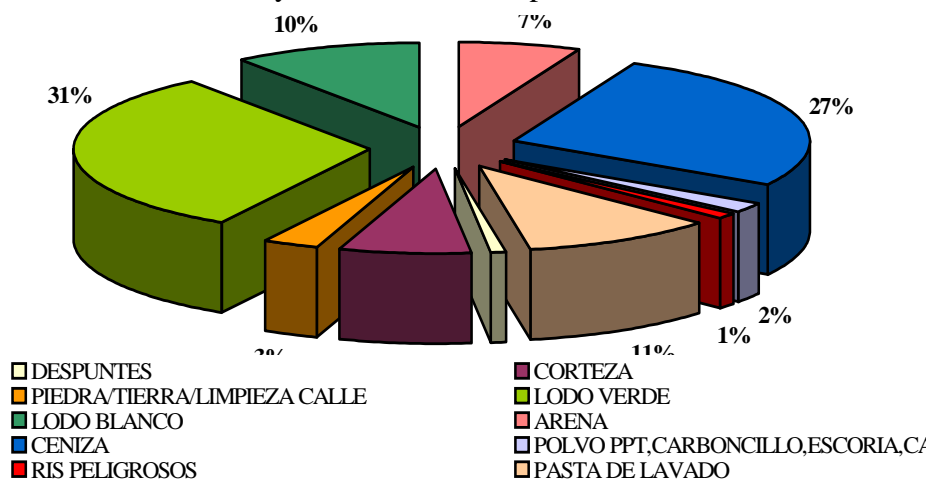


FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE RESIDUOS, EXCLUYENDO RESIDUOS PROVENIENTES DEL DESCORTEZADO

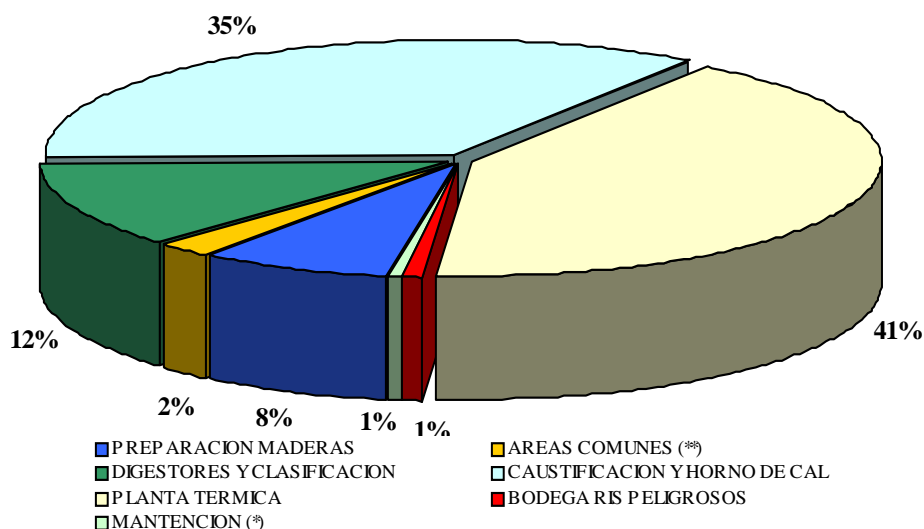
DISTRIBUCIÓN DE RIS POR FUENTE DE GENERACIÓN DE DESECHOS

Una representación interesante se obtiene cuando se presentan los aportes de residuos que realiza cada área al total de RIS generados por la Planta. Al sumar el total de residuos generados por cada área, se obtiene la Tabla 5. En ella se presentan los volúmenes y cantidades totales de RIS generados y su contribución al total de desechos.

	AREA							TOTAL
	PREPARACION MADERAS	AREAS COMUNES (**)	DIGESTORES Y CLASIFICACION	CAUSTIFICACION Y HORNO DE CAL	PLANTA TERMICA	BODEGA RIS PELIGROSOS	MANTENCION (*)	
TOTAL (m3/año)	3084	317	3988	6456	8070	149	77	22141
Densidad (Kg/m3)	450	1200	558	990	940	1000	1200	
TOTAL Kg/año	1387800	380400	2225304	6391440	7585800	149000	92400	18212144

TABLA 5. FLUJOS MASICOS TOTALES POR FUENTE DE GENERACION

(*) Incluye Viruta, Soldadura, Alambres : 4800 Kg/Año, Fierros, Aceros, Despuntes: 60000



Kg/Año, Discos de Corte : 1200 Kg/Año, Guantes Cuero, Coletos, Trajes de Agua : 3600 Kg/Año.

FIGURA 4. GENERACIÓN DE RESIDUOS SEGÚN ORIGEN

El área de Planta Termica es el área que mayor cantidad de desechos genera, compuesto por Cenizas y Arena con un 41%. El área que le sigue corresponde a Caustificación y Horno de Cal 35% de contribución al total de Residuos Generados. Cabe destacar que del total de desechos generados en la planta, cerca del 78% provienen de Planta Térmica y de Caustificación.

ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES DE GENERACIÓN DE RIS

Los factores de generación de desechos se indican en la Tabla 6. En ella destaca los volúmenes de residuos emitidos por unidad de producto final. Se ha considerado como base la Tabla 3 para una producción promedio anual de 350000 ton Adt/Año.

TABLA 6. FACTORES DE GENERACIÓN OBTENIDOS

TIPO DE RIS	FACTOR DE EMISIÓN [ton RIS/ton Adt]
Despunte	0.000345
Corteza Contaminada No Combustible	0,003200
Piedra/Tierra/Limpieza Calle	0,001380
Pasta Lavado	0,004700
Lodo Verde (Dregs)	0,013800
Lodo Blanco (Grits)	0,004470
Arena	0,011200
Ceniza	0,011850
Polvo PPT ,Carboncillo, Escoria, Cal	0,000856
Chatarra Metálica	0,000192
Mantenimiento	0,000039
RIS Peligrosos	0.0004257
Otros	0.000060428
FACTOR GLOBAL DE EMISIÓN	0,052550 [ton RIS/ton Adt]

Tanto para el cálculo de los factores de generación por tipo de residuos, como para la determinación del Factor de Emisión Global; fueron excluidos los lodos provenientes de las lagunas de decantación, ello con el propósito de no distorsionar los factores. Se debe considerar que tales lodos son retirados cada 3 años desde el sistema de decantación.

CLASIFICACION DE RIS SEGÚN CODIGO WINVENT

De acuerdo al Código Internacional WINVENT, los RIS generados en la Planta han sido codificados para su identificación y posterior clasificación mediante el procedimiento descrito en el Capítulo de Materiales y Métodos. Se establece una segregación en 4

categorías. Por lo tanto, en base a esta clasificación se presenta la Tabla 7 que detalla la distribución de los RIS en cada una de estas categorías.

TABLA 7. DISTRIBUCIÓN DE RESIDUOS EN PLANTA DE PROCESOS

RIS				
INERTE Kg/Año	RESIDUAL Kg/Año	REACTIVO Kg/Año	PELIGROSO Kg/Año	TOTAL Kg/Año
15258830	70260	2913588	144740	18387418

Se desprende de la Figura 4 una elevada cantidad de material inerte desechado, cuyas propiedades permitirán establecer las condiciones de disposición final en este estudio. Por otro lado se tiene que un tercio de los desechos pueden sufrir transformaciones (químicas o bioquímicas), situación que debe ser considerada al analizar una alternativa de disposición o tratamiento. A continuación, se presenta la Tabla 38 en la cual se cuantifican los RIS con potencial de reutilización. Esta clasificación se estableció en función del 8º carácter del Código WINVENT y esta orientada a establecer bases para las recomendaciones que se deberán proponer para su reutilización.

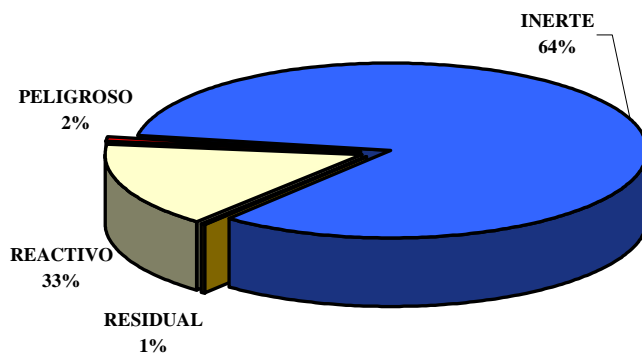


FIGURA 4. DISTRIBUCIÓN DE RIS SEGÚN CATEGORÍAS CODIGO WINVENT

TABLA 7. POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS

POSIBLE CON TRATAMIENTO	POSIBLE SIN TRATAMIENTO	NO ES POSIBLE	INCIERTO	TOTAL
(Kg/Año)	(Kg/Año)	(Kg/Año)	(Kg/Año)	(Kg/Año)
5214135	1758040	6936592	4478651	18387418

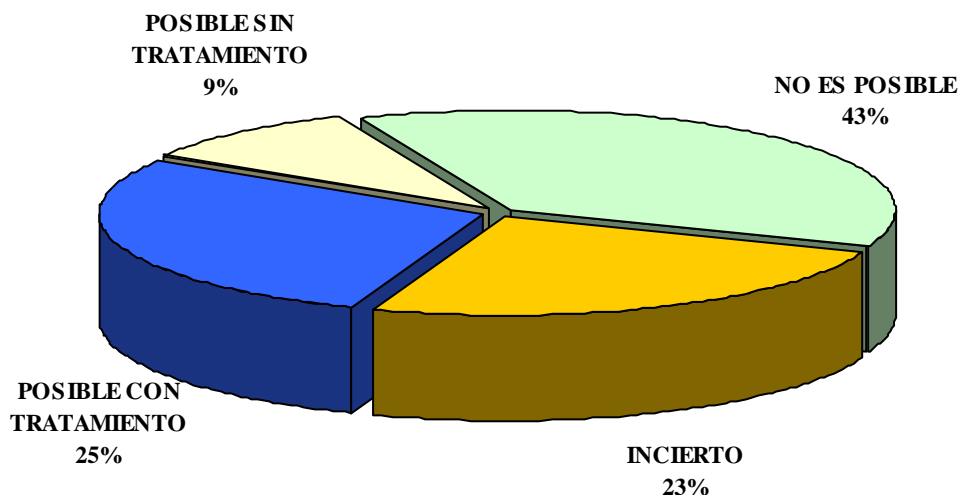


FIGURA 5. POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DE RIS EN PLANTA

En la Figura 5 se puede establecer que un 43 % de los desechos generados en Planta no presentan alternativas de reutilización. Estos corresponden básicamente a piedra-tierra, Cenizas, Dregs y Grits, provenientes de preparación Maderas, Planta Térmica y Caustificación, respectivamente. Del total de residuos generados, solo el 9 % de ellos es posible recuperarlos sin tratamiento previo, estos corresponden básicamente a pasta de lavado, papeles, cartones, vidrios no contaminados, plásticos, bolsas maxi bag, neumáticos, cables eléctricos, fierros, alambres. Un cuarto de los desechos generados (25%) pueden ser recuperarlos utilizando segregación o mediante sistemas de tratamiento, ellos son aceites de lubricación, solventes de diluyentes, envases de productos químicos, envases de vidrios de reactivos, Corteza contaminada con tierra, despuntes y astillas no pulpables. Por su parte, un 23 % de los residuos se desconoce si son recuperables, debido a falta de ensayos específicos a cada tipo. En la Planta, el único residuo sólido que se recircula al proceso son nudos y corteza proveniente de los descortezadores. Esta corteza no contaminada es aprovechada energéticamente por medio de su oxidación térmica en la caldera de poder. El resto de los desechos se envía a depósito de RIS.

TABLA 8. SEGREGACIÓN DE RESIDUOS POR COLORES SEGÚN SU POTENCIAL DE COMERCIALIZACION

NEGRO NPNC	Disposicion Inicial Planta	Disposicion Transitoria Planta	Disposicion Final	Observaciones
Guantes Cuero Usados (no contaminados)	(B)	(A)	Deposito RISNP	Priorizar envios a Compostaje Comunal
Organicos (restos comida,etc)	(B)	(A)	Deposito RISNP	
Ropa Seguridad Usada (nocontaminada)	(B)	(A)	Deposito RISNP	
VERDE NPCM	Disposicion Inicial Planta	Disposicion Transitoria Planta	Disposicion Final	Observaciones
Residuos de madera	(B)	(A)	Deposito RISNP	
Restos de jardin (corte pasto, hojas, podas, etc.)	(B)	(A)	Deposito RISNP	
Restos de corteza sucia, aserrin	(B)	(A)	Deposito RISNP	
TRANSPARENTE NPCV	Disposicion Inicial Planta	Disposicion Transitoria Planta	Disposicion Final	Observaciones
Vidrios no contaminados	(B)	(A)	Reciclador	Priorizar envios a
Envases vidrio no contaminados	(B)	(A)	Reciclador	Fundaciones Sociales o
Instrumentos vidrio laboratorios no contaminados	(B)	(A)	Reciclador	Ambientales Comunales
CAFÉ NPCPP	Disposicion Inicial Planta	Disposicion Transitoria Planta	Disposicion Final	Observaciones
Planchas plasticas	(B)	(A)	Reciclador	
Envases plasticos no contaminados	(B)	(A)	Reciclador	
Papeles	(B)	(A)	Reciclador	
Cartones	(B)	(A)	Reciclador	
AZUL NPM	Disposicion Inicial Planta	Disposicion Transitoria Planta	Disposicion Final	Observaciones
Metales	(B)	(A)	Reciclador	
Restos metalicos de mantención	(B)	(A)	Reciclador	
Alambres	(B)	(A)	Reciclador	
ROJO PNC	Disposicion Inicial Planta	Disposicion Transitoria Planta	Disposicion Final	Observaciones
Textiles contaminados con grasa/aceites	(B)	(A)	Deposito Seguridad	Se debe priorizar proveedores que acepten retorno de envases contaminados
Envases de solventes/quimicos/aerosoles	(Bod)	(Bod)	Retorno al Proveedor	
Envases de pinturas	(Bod)	(Bod)	Retorno al Proveedor	
Envases plasticos con productos quimicos	(Bod)	(Bod)	Retorno al Proveedor	
Envases plasticos con restos de solventes	(Bod)	(Bod)	Retorno al Proveedor	
Pilas y Baterias	(B)	(A)	Deposito Seguridad	
Envases de productos de Limpieza	(B)	(A)	Deposito Seguridad	
Toner de Fotocopias e Impresoras	(B)	(A)	Reciclador	
Luminarias de mercurio/otros metales pesados	(B)	(A)	Deposito Seguridad	
Tubos Fluorescentes	(B)	(A)	Deposito Seguridad	
AMARILLO PC	Disposicion Inicial Planta	Disposicion Transitoria Planta	Disposicion Final	Observaciones
Aceites y Lubricantes de Planta	(Bod)	(Bod)	Retorno al Proveedor	
Tambores metalicos contaminados 200 l	(Bod)	(Bod)	Retorno al Proveedor	
Aceites y Lubricantes de Planta	(Bod)	(Bod)	Retorno al Proveedor	
ORGANIZACIÓN DE CONTENEDORES				
NEGRO : No Peligroso No Comercializable	NPNC	AZUL : No Peligroso Metales	NPM	NOMENCLATURA
TRANSPARENTE: No Peligroso Comercializable Vidrios	NPCV	ROJO : Peligroso No Comerciable	PNC	
VERDE : No Peligroso Comercial Maderas	NPCM	AMARILLO : Peligroso Comercializable	PC	
CAFÉ : No Peligroso Comercial Plastico Papel	NPCPP	(A) BASURERO	(B) CONTENEDOR	
				(BOD) BODEGA

La identificación de las etapas generadoras de desechos, así como el tipo de desecho generado en cada uno de los procesos, no es un aspecto que debe ser considerado como estático, por el contrario, considerando que la generación de residuos es un proceso dinámico, LA matriz de identificación de residuos industriales por etapa del proceso, debe someterse al menos una vez cada dos años a una validación, o cada vez que se realice una modificación del proceso o se produzcan cambios en las variables operacionales de alguna etapa del mismo. Lo anterior debido a que la generación de residuos está influenciada, entre otros factores, con la eficiencia del proceso, tipo de tecnología empleada, tipo y calidad de materias primas, etc. Es por ello que se sugiere validar periódicamente tal matriz de

identificación de residuos. Como se mencionó en el acápite de resultados, entre los residuos provenientes directamente del proceso industrial se encuentran Dregs y Gritz, los cuales en conjunto contribuyen en un 46 % del total de residuos generados en el proceso. De esta manera es importante concentrar esfuerzos en mejorar la eficiencia del proceso de apagado de la cal, en particular, se debe priorizar aquella piedra caliza de alta pureza (> 98 % pureza), ya que en el grado que la pureza está directamente relacionada con la generación de desechos en el apagador de cal. En forma complementaria se propone estudiar la necesidad de analizar la alternativa de procesar estos rechazos del apagador (carbonato no reaccionado), haciéndolos reaccionar con licor verde débil, en un proceso paralelo, para incrementar la eficiencia del proceso; esto implica un mejor aprovechamiento de las material primas y menor generación de emisiones.

La generación de arena y ceniza en su conjunto contribuye en un 44% al total de residuos generados por el proceso. En éste sentido se debe recordar que el total de arena utilizada como medio de fluidización por la caldera es eliminada como residuo. Por lo tanto, es importante estudiar la alternativa de clasificar la arena desechada por la caldera de poder, generando la recirculación de una fracción de la misma, previamente mezclada con arena fresca. Se estima que como mínimo un 10% de la arena desechada puede ser recirculada al sistema. De ésta manera, los flujos de arena que son enviados a deposito de residuos decrece considerablemente, tal como se analiza en el capítulo de resultados. Sin embargo, esta recirculación está determinada por las propiedades y granulometría requeridas por el sistema de fluidización.

Por otra parte, la arena rechazada del sistema de clasificación, al ser un material inerte, puede ser donada como material de relleno a particulares, o bien como parte de la cubierta diaria del depósito de residuos Quivolgo. En el primer caso, incrementando la vida útil del vertedero, disminuyendo costos de transporte y prolongando la vida útil del relleno. Por su parte, las cenizas generadas, pueden ser aplicadas a terrenos de baja calidad, estableciendo las tasas adecuadas de aplicación al mismo¹².

Sin embargo, previamente es necesario estudiar las tasas de aplicación y las condiciones que deben reunir los suelos sometidos a la eventual aplicación del desecho.

Se sugiere un sistema de almacenamiento temporal para cenizas y arena desechadas. Este sistema debe ser capaz de evitar arrastre de partículas al ambiente producto del viento del sector. Además, se debe considerar una división interna en tal sistema para evitar contaminación de arena destinada a recirculación con ceniza eliminada. Para este propósito puede emplearse un patio transitorio que permita almacenar temporalmente estos residuos, en espera a su destino final.

INTERNALIZACIÓN DE COSTOS DE RESIDUOS GENERADOS

Un manejo adecuado debe considerar la internalización de los costos asociados a la gestión de desechos. Esto es, cada área en el establecimiento industrial debe internalizar los costos derivados del manejo de sus residuos. En ese contexto, se sugiere realizar estimaciones sobre

¹ DIA proyecto Reutilización de Cenizas de Caldera de Biomasa como Mejoramiento de Suelos Agrícolas, Central Termoeléctrica Constitución, Empresa Energía Verde, Filial AES, 2003.

² Bellote, A. Efecto de la Aplicación de Ceniza de Caldera en el Suelo y en el Crecimiento de Eucaliptus Grandis. Bosque 16 (1) 95-100, 2002.

flujos de residuos, representados al nivel de composición de los mismos, de tal forma de traspasar los costos a cada unidad productiva. Estos costos deben tener relación directa con el tipo y flujo de residuos generados en el área estudiada. De esta manera, se espera que al internalizar los costos por cada una de las unidades, éstas analicen alternativas e incorporen técnicas de minimización de desechos en todas y cada una de las etapas del proceso en la cuales tienen competencia. Se espera minimizar los costos asociados al manejo, reduciendo flujos de generación de emisiones.

FACTORES DE GENERACIÓN DE RESIDUOS

El factor de generación de residuos de planta constitución se situó en 0.052 [ton RIS/ton Adt], lo que se presenta como un factor intermedio para plantas industriales de estas características³. Sin embargo, estos factores de generación deben ser validados periódicamente para ser considerados como índices de desempeño ambiental en la generación de residuos de la empresa.

ASPECTOS GENERALES EN TORNO A RESIDUOS PELIGROSOS

La generación de residuos peligrosos contribuyen en un 1% al total de desechos generados por la planta industrial. Tal cifra es baja en términos porcentuales; sin embargo, representan un total de 149 ton/año, lo que sin duda es un flujo elevado. Considerando además las características especiales que poseen estos residuos (reactivos, inflamables, tóxicos, corrosivos) es necesario manejarlos bajo condiciones diferentes que los residuos no peligrosos, en ese sentido, la bodega de residuos peligrosos debe ser capaz de administrar adecuadamente los desechos ingresados al sistema, de acuerdo a la propuesta de manejo realizada en el capítulo de resultados. En particular, la limpieza de los contenedores de residuos peligrosos, ubicados en diversas zonas de la Planta, deben ser realizados en una superficie impermeable y con sistema de contención de derrames, evitando arrojar aguas de desecho a canaletas o suelo. En ese sentido puede emplearse la zona de pozo de contención de residuos peligrosos ubicados a un costado de la Bodega de residuos peligrosos. El residuo del pozo debe ser trasvasiado mediante una bomba a contenedores metálicos debidamente rotulados y sellados; manejados como residuos peligrosos tal como se presentó en el capítulo de resultados.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el acápite de resultados, es posible establecer las siguientes conclusiones del estudio:

Los residuos sólidos asimilables a domésticos corresponden a un total de 101 ton/año, de los cuales 70 toneladas son destinadas a venta o donaciones, por su parte los residuos peligrosos corresponden a un total de 149 toneladas/año que equivalen a un 1% del total generado. Los residuos generados directamente por el proceso industrial que presentan potencial de reutilización sin tratamiento intermedio, posibles con tratamiento, sin posibilidad de reutilización y aquellos cuyo potencial es incierto equivalen a 1700 (9%),

³ Industria de Pulpa y Papel: 0,02 – 0,15 ton RIS/ton Adt.. Zaror (2000)

5200 (25%), 6900 (43%) y 4400 (23%) ton/año, respectivamente. El factor de generación de residuos en Planta fue de 0.052 ton RIS/ton Adt; factor que se encuentra en el intervalo esperado para empresa de estas características (0,02-0,15 ton RIS/ton Adt). El área de Planta Térmica corresponde al mayor generador de residuos, compuesto por cenizas y arena con un 41%. El área que sigue corresponde a Caustificación y Horno de Cal con un 35% de contribución al total de residuos generados. Estas dos áreas contribuyen en un 76% a la generación total de residuos.

REFERENCIAS

- American Society for Testing and Materials, USA (Procedimiento de prueba F 739-83).
- Alliende, F. Manual de Manejo de Residuos Sólidos Industriales. Ministerio de Economía - Comisión Nacional del Medio Ambiente, Santiago, Chile, 1996.
- Bellote, A. Efecto de la Aplicación de Ceniza de Calderas en el Suelo y en el Crecimiento de Eucaliptus Grandis. Bosque 16 (1) : 95 - 100, 1995.
- Cade Consultores. Diagnóstico y Aplicación de Metodologías para Determinar Producción de Residuos Sólidos Industriales e Impacto Ambiental de su Disposición Final. Región de la Araucanía. Informe Final. Ministerio de Economía. Santiago, Chile, 1996.
- DIA Proyecto Reutilización de Cenizas de Caldera de Biomasa como Mejoramiento de Suelos Agrícolas, Central Termoeléctrica Constitución, Empresa Energía Verde, Filial AES, 2003.
- DIA Proyecto Caldera de Biomasa en Planta Pacifico, Mininco, 2004.
- DICTUC. Estudio de Características Estratigráficas y Permeabilidad del Deposito de RIS, 1990.
- EPA. Environmental Protection Agency. United State of America, 2005.
- Ihobe. Libro Blanco para la Minimización de Residuos y Emisiones. Pulpa y Papel. Depto. de Ordenación del Territorio, Vivienda y Medio Ambiente. España, 2002.
- Ihobe S.A. Gestión Eficaz de Aceites Lubricantes y Fluidos Hidráulicos, Madrid, España, 2002.
- Normas Chilenas Oficiales Nch382.Of89 y Nch 2120/ 1 al 9, Of89. Sustancias Peligrosas.
- OMS, Oficina Regional. Accidentes Químicos: Aspectos relativos a la Salud. Guía para la Preparación y Respuesta. Organización Panamericana de la Salud, 1998.
- Reglamento Sanitario sobre Manejo de Residuos Peligrosos. Ministerio de Salud, Santiago, Chile, 2004.
- Rodríguez, J., Irabien, A. Los Residuos Peligrosos, Caracterización, Tratamiento y Gestión. Editorial Síntesis, Madrid, España, 1999.
- Tchobanoglous, G. Gestión Integral de Residuos Sólidos, Vol. I y II. Editorial Mc Graw-Hill, México, 1982.

Márquez R, F. Manejo Seguro de Sustancias Peligrosas. Sistema de Gestión para el Manejo de Sustancias Químicas y Residuos Tóxicos - S.Q.R.T. Facultad de Ingeniería, Depto. de Ingeniería Química, , Universidad de Concepción, 1998.

Zaror, C. Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de Procesos. Facultad de Ingeniería , Depto. Ingeniería Química, , Universidad de Concepción, 2000.