



Universidad de León



Escuela Superior y Técnica
de Ingenieros de Minas

GRADO EN INGENIERÍA DE LA ENERGÍA

TRABAJO FIN DE GRADO

PLAN DE VIABILIDAD DE OBTENCIÓN DE COMBUSTIBLES A PARTIR DE RESIDUOS DE BIOMASA.

FEASIBILITY STUDY OF OBTAINING FUEL FROM BIOMASS WASTES.

León, 23 de Junio de 2014

Autor: Laura Gil Vega

Tutor: Miguel de Simón Martín

El presente proyecto ha sido realizado por Dña. **Laura Gil Vega**, alumna de la **Escuela Superior y Técnica de Ingenieros de Minas** de la **Universidad de León** para la obtención del título de Graduada en Ingeniería de la Energía.

La tutoría de este proyecto ha sido llevada a cabo por D./Dña. **Miguel de Simón Martín**, profesor del Grado en Ingeniería de la Energía.

Visto Bueno

Fdo.: D./Dña. **Nombre Apellido1 Apellido2** Fdo.: D./Dña. **Nombre Apellido1 Apellido2**

El autor del Trabajo Fin de Grado

El Tutor del Trabajo Fin de Grado

RESUMEN

El desarrollo de los países se traduce en un aumento en el consumo de bienes que han producido un incremento en la cantidad de residuos y en la demanda de energía. Una acumulación no controlada de los mismos podría acarrear serias contrariedades, por lo que es de vital importancia una buena gestión de los desechos. Debido a esto, se plantea el tratamiento de residuos con recuperación de energía como una posible solución ante estos problemas, frente a una sociedad carente de numerosas fuentes alternativas de energía. Existen técnicas de tratamiento de los mismos más convencionales, como son la incineración y la pirólisis, pero la tecnología de plasma nos ofrece mínimas repercusiones ambientales, por lo que se considera una opción alentadora. Este proceso, además, tiene la ventaja de ser capaz de tratar prácticamente cualquier residuo, independientemente de su naturaleza. Este método de tratamiento de residuos no está muy extendido, ya que se trata de un sistema relativamente nuevo e innovador. En la actualidad no hay ningún centro operativo en España, es necesario un estudio exhaustivo para conocer en profundidad esta metodología y poder llevarla a cabo, basándonos en los centros existentes en el extranjero. En este proyecto se describe la implantación de una planta de tratamiento de residuos que opera con la tecnología de plasma en la Isla de la Palma.

ABSTRACT

Ever-increasing amounts of solid waste accompany rapid economic and population growth in developing countries, challenging municipalities' ability to sustainably manage it all. In addition there is a high energy demand. An accumulation not controlled of waste could cause serious troubles, so a good management of it is really important. Therefore, waste treatment with energy recovery could be a possible solution to these problems in a society with lack of many energy resources. There are techniques used in waste treatment, such as incineration and pyrolysis, but plasma technology offers minimal environmental impact, so it is considered as a promising option. This process, also, has the advantage of being able to work with almost any waste, regardless of its nature. This method is not much extended due to it is a relatively new system. Nowadays, there are not any waste treatment plants with plasma technology in Spain, so it is necessary to do a good research about this system based in the ones that exist in other countries. The implementation of a plasma technology plan is described in this project.

ÍNDICE

| | |
|--|-----|
| RESUMEN..... | 3 |
| ABSTRACT | 3 |
| ÍNDICE..... | I |
| ÍNDICE DE FIGURAS | IV |
| ÍNDICE DE TABLAS | V |
| GLOSARIO DE TÉRMINOS..... | VII |
| 1 Introducción. | 1 |
| 1.1 Problemática existente..... | 1 |
| 1.2 Situación actual. | 2 |
| 1.2.1 Situación en Europa. | 10 |
| 1.2.2 Datos particulares de la Isla de La Palma. | 11 |
| <i>Residuos peligrosos en la isla de La Palma.</i> | 14 |
| 1.3 Gestión de residuos..... | 17 |
| 1.3.1 Prevención de residuos. | 18 |
| 1.3.2 Reutilización..... | 19 |
| 2 Residuos. | 20 |
| 2.1 Definición de residuo. | 20 |
| 2.2 Clasificación de los residuos. | 20 |
| 2.2.1 Según sus características físico-químicas..... | 20 |
| 2.2.2 Según su peligrosidad..... | 20 |
| 2.2.3 Según su origen..... | 21 |
| 2.3 Normativa referida a residuos. | 21 |
| 2.3.1 Normativa europea | 21 |
| 2.3.2 Normativa estatal..... | 23 |
| 2.3.3 Normativa autonómica..... | 24 |
| 2.3.4 Documentos de planificación. | 27 |
| 3 Procesos de tratamientos de residuos. | 29 |
| 3.1 Técnicas de tratamiento..... | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.1.1 | Incineración. | 29 |
| 3.1.2 | Pirólisis..... | 30 |
| 3.2 | Tecnología de plasma..... | 30 |
| 3.2.1 | En qué consiste el plasma..... | 30 |
| 3.2.2 | Gasificación por plasma..... | 31 |
| 3.2.3 | Métodos para generar, mantener y enfriar el plasma caliente. | 33 |
| 3.2.4 | Ventajas de la tecnología de gasificación por plasma. | 36 |
| 3.2.5 | Comparativa de la tecnología de plasma con la incineración. | 38 |
| 4 | Estudio de la planta. | 41 |
| 4.1 | Estudio de la localización de la planta..... | 41 |
| 4.2 | Capacidad. | 45 |
| 4.3 | Estudio del proceso. | 45 |
| 4.3.1 | Características y componentes del proceso. | 47 |
| 4.3.2 | Diagrama del proceso de gasificación por plasma. | 51 |
| 4.3.3 | Producción de energía..... | 52 |
| 4.4 | Mano de obra..... | 54 |
| 5 | Estudio de la viabilidad económica. | 55 |
| 5.1 | Inversión inicial. | 55 |
| 5.1.1 | Adquisición de terrenos. | 55 |
| 5.1.2 | Obra civil..... | 55 |
| 5.1.3 | Dispositivos y aparatos..... | 56 |
| 5.1.4 | Otras adquisiciones. | 56 |
| 5.1.5 | Inversión inicial total. | 57 |
| 5.2 | Costes | 57 |
| 5.2.1 | Costes directos..... | 57 |
| 5.3 | Ingresos..... | 59 |
| 5.4 | Financiación. | 59 |
| 5.5 | Amortizaciones. | 60 |
| 5.6 | Depreciación. | 60 |
| 5.7 | Cash flow | 60 |
| 5.8 | VAN..... | 60 |
| 5.9 | TIR (Tasa Interna de Retorno)..... | 61 |
| 5.10 | Pay-back. | 61 |
| 6 | Análisis y conclusiones..... | 1 |

Lista de referencias 2

Anexo A. Tabla resumen del total de los costes existentes en la planta. 1

Anexo B. Tabla resumen de los ingresos pertenecientes a la planta de tratamiento de
residuos a lo largo de un año. 3

Anexo C. Tabla resumen de obtención del flujo de cajas o cash flow. 4

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----------|---|----|
| 1.2.1 – 1 | Generación de residuos en países de la Unión Europea..... | 10 |
| 1.2.1 – 2 | Generación de residuos en países de la Unión Europea..... | 10 |
| 1.2.2 – 1 | Municipios pertenecientes a la Isla de La Palma..... | 11 |
| 1.3.1 | Tipos de prevención de residuos..... | 18 |
| 1.3.2 | Ciclo de aprovechamiento de los recursos..... | 19 |
| 3.1.1 | Diagrama de proceso de incineración en una planta de tratamiento de residuos..... | 29 |
| 3.2.2 | Esquema de la tecnología de plasma..... | 32 |
| 3.2.4 | Emisiones de diferentes centros de tratamiento de residuos..... | 37 |
| 4.1 – 1 | Mapa de la Isla de La Palma de Zonas de Especial Conservación para las Aves..... | 43 |
| 4.1 – 2 | Mapa de la Isla de La Palma de Lugares de Importancia Comunitaria..... | 44 |
| 4.1 – 3 | Localización del centro de tratamiento de residuos por plasma..... | 44 |
| 4.3 | Proceso de gasificación de residuos por la tecnología de plasma..... | 46 |
| 4.3.1.2 | Antorcha de plasma..... | 48 |
| 4.3.1.3 | Tiristor de suministro de potencia..... | 49 |
| 4.3.1.4 | Sistema de instrumentación y de control..... | 50 |
| 4.3.1.5 | Sistema de abastecimiento de gas..... | 50 |
| 4.3.1.6 | Sistema de refrigeración por agua..... | 51 |
| 4.3.2 | Proceso de gasificación por plasma..... | 52 |
| 4.3.3 – 1 | Turbina de gas GE Frame 6581B de General Electric..... | 52 |
| 4.3.3 – 2 | Turbina de vapor de General Electric..... | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------------|--|----|
| 1.2 – 1 | Clasificación de la composición de RSU en el mundo..... | 3 |
| 1.2 – 2 | Emisiones de gases procedentes de la eliminación de RSU..... | 4 |
| 1.2 – 3 | Valores de generación de RSU en ciudades con más de 100.000 habitantes..... | 6 |
| 1.2.2 – 1 | Evolución de la población de La Palma y Canarias..... | 12 |
| 1.2.2 – 2 | Edad media de la población en La Palma y Canarias..... | 13 |
| 1.2.2 – 3 | Proyección de población referente a los años 2011-2018..... | 13 |
| 1.2.2.1 – 1 | Organismos y sus competencias sobre la gestión de residuos..... | 14 |
| 1.2.2.1 – 2 | Número de pequeños productores de residuos tóxicos por municipios en la isla de La Palma en el año 2001..... | 15 |
| 1.2.2.1 – 3 | Datos de residuos sanitarios generados al día..... | 16 |
| 1.2.2.1 – 4 | Datos de residuos sanitarios de Grupo III en consultas y centros de día..... | 16 |
| 1.2.2.1 – 5 | Datos de residuos sanitarios generados en centros veterinarios..... | 17 |
| 1.2.2.1 – 6 | Volumen total de residuos sanitarios en la Isla de La Palma..... | 17 |
| 3.2.3.3 | Resumen de las instalaciones operativas y nuevas instalaciones..... | 35 |
| 3.2.4 – 1 | Especificaciones del gas de síntesis..... | 37 |
| 3.2.4 – 2 | Valores de la composición del slag tomados de la planta de Mihama Mikata..... | 38 |
| 3.2.5 | Comparativa de las tecnologías de plasma e incineración..... | 39 |
| 4.1 – 1 | Valores de peso otorgados a los diferentes factores en la elección de la localización..... | 42 |
| 4.1 – 2 | Espacios naturales protegidos de la Isla de La Palma..... | 42 |
| 4.3.1.1 | Valores pertenecientes al reactor de gasificación..... | 47 |
| 4.3.3 | Propiedades de la turbina de gas..... | 53 |
| 4.4 | Mano de obra en el centro de tratamiento de residuos..... | 54 |
| 5.1.2 | Capital a invertir perteneciente a la obra civil..... | 56 |
| 5.1.3 | Capital perteneciente a la adquisición de dispositivos y aparatos..... | 56 |
| 5.1.4 | Capital perteneciente a la obtención de otras adquisiciones..... | 57 |
| 5.1.5 | Capital perteneciente a la inversión inicial total..... | 57 |

| | | |
|----------|--|----|
| 5.2 – 1 | Costes pertenecientes a la obtención de materias primas..... | 58 |
| 5.2 – 2 | Consumos pertenecientes a instalaciones determinadas del centro..... | 58 |
| 5.2 -- 3 | Consumos unitarios..... | 58 |
| 5.2 – 4 | Costes asociados a la plantilla del centro..... | 58 |
| 5.2 – 5 | Costes dependientes de un periodo de tiempo determinado..... | 59 |
| 5.9 | Valores de flujos de cajas y obtención del TIR..... | 61 |

GLOSARIO DE TÉRMINOS

| Glosario de términos | |
|-----------------------|--|
| BOC | Boletín Oficial de Canarias |
| BOE | Boletín Oficial del Estado |
| CH₄ | Metano |
| CO₂ | Dióxido de carbono |
| COV | Compuestos orgánicos volátiles |
| GEI | Gases de efecto invernadero |
| HF | Fluoruro de hidrógeno |
| LICS | Lugares de importancia comunitaria |
| N₂O | Óxido nitroso |
| PFC | Perfluorocarbonos |
| RSU | Residuos sólidos urbanos |
| SF₆ | Hexafluoruro de azufre |
| TIR | Tasa interna de retorno |
| VAB | Valor añadido bruto |
| VAN | Valor actual neto |
| ZEPAS | Zonas de especial conservación para las aves |

1 Introducción.

1.1 Problemática existente.

Uno de los principales retos a los que se afronta la sociedad hoy en día es a la gestión de residuos, debido al impacto social, económico y ambiental que conllevan. Esta controversia ha existido siempre derivada de las actividades del ser humano, pero en los últimos años ha creado una mayor preocupación debido a diversos factores.

El continuo incremento de la producción de residuos es un problema vigente que compromete el desarrollo sostenible. Como consecuencia de la capacidad de consumo y producción de una sociedad moderna, el aumento de los residuos crece de igual manera.

De manera convencional se han arrojado estos desechos en vertederos, poniendo en peligro el medioambiente. Hay que destacar que la naturaleza de los residuos ha variado en gran medida, viéndose incrementado el número de aquéllos de carácter inorgánico frente a la predominancia de los orgánicos que existía anteriormente. De este modo, se ve aumentado su carácter contaminante.

La idea que Europa quiere lanzar es la de aumentar vías sostenibles, con la finalidad de reducir el número de vertederos, ya que éstos representan la opción más negativa a efectos de impactos ambientales.

Las cantidades masivas de plásticos, vidrios y metales, pueden provocar un desgaste medioambiental irreversible en condiciones no óptimas de gestión.

Particularmente, en España, cada ciudadano genera 1,2 kilos de residuos al día, sin tener en cuenta los residuos derivados de las actividades industriales.

Partimos de la premisa que el mejor residuo es aquél que no se genera. Como es inevitable la producción de desechos nos basamos en la aplicación de procesos de reciclado, reutilización, innovación en la gestión, reducción de traslados...

La eliminación de residuos es un proceso extremadamente complejo, cuya dificultad se ve incrementada debido a que no existe una única solución aplicable. Dependiendo del tipo de desecho al que nos enfrentemos podemos actuar de una manera u otra. Cabe añadir, que en muchas ocasiones la eliminación no es posible, y las medidas tomadas simplemente sirven para paliar el problema.

La situación de dependencia energética en la que está sumida España, y en general, la mayor parte de Europa, nos lleva a buscar fuentes alternativas de combustibles, y una opción viable es el tratamiento de residuos a través de procesos térmicos con el objetivo de obtener diferentes vías de producción energética.

La valorización energética de los residuos podría suponer un fin a una de las polémicas más importantes a las que se enfrenta la sociedad actual. Por ello, queremos centrarnos en la realización de un estudio de la viabilidad de llevar a cabo dicho proyecto.

La meta es que el residuo posea una finalidad útil y pueda sustituir a los materiales que se han usado hasta ahora. El objetivo de la ingeniería es conseguir mejorar las tecnologías aplicadas a la destrucción, no-producción y transformación de residuos, optimizando su compromiso con el medioambiente.

1.2 Situación actual.

La situación mundial es alarmante, en la actualidad se genera 1,2 kg de residuos sólidos urbanos por persona al día, lo que se traduce en 1,3 billones de toneladas. Se estima que para el año 2025 esta cifra habrá crecido a 4,3 billones de residuos al año, aproximadamente 1,42 kilogramos per cápita al día de residuos sólidos urbanos.

Los impactos que producen los residuos están acrecentándose con rapidez. Se deduce que mejorar el mantenimiento de los residuos, en este caso de los sólidos urbanos, es una prioridad urgente debido a los problemas sanitarios y medioambientales que puede llegar a ocasionar una nefasta gestión de los mismos, sobre todo en los países menos desarrollados económicamente.

La cantidad de desechos acumulados da lugar a una situación cada vez más preocupante, ya que en algunos lugares esta cifra está creciendo, incluso más rápido que la tasa de urbanización.

La mayor tasa de crecimiento de los residuos sólidos urbanos se recoge en China, otras partes del Este de Asia y zonas de Europa del Este y Oriente Medio. Diversos análisis relacionan la generación de residuos sólidos urbanos con la emisión de gases de efecto invernadero.

Estudios presentados en 1999 predecían que el ratio de generación de residuos en 2025 en Asia sería cerca de 1,8 millones de toneladas por día. Esa estimación sigue vigente, pero a día de hoy, dicha tasa en el Sur y Este de Asia, así como en el Pacífico, es de aproximadamente 1 millón de toneladas al día. Asia, como otras partes del mundo, continúa teniendo en su flujo de residuos mayoría de material orgánico y papel.

El manejo de este tipo de desechos es, casi siempre, la responsabilidad de los gobiernos locales y es, a menudo, su mayor partida presupuestaria, en mayor medida en los países en vías de desarrollo.

Las estadísticas sobre los residuos nos indican que, aproximadamente el 33% de la generación de los mismos, pertenece a Asia Meridional y Oriental. En 2004 China arrebató el título de mayor generador de residuos a nivel mundial a Estados Unidos. Se prevé que hacia 2030 China producirá el doble de residuos sólidos urbanos que dicho país americano.

Las tasas de reciclaje son cada vez más influenciadas por mercados globales, los gastos de envío y los precios relativos de las materias primas.

Los siguientes datos proporcionan un fundamento sólido en la toma de decisiones políticas acerca de los residuos. Una de las problemáticas existentes es el gasto de los presupuestos destinados a los residuos, es que la mayor parte de éstos son gastados en el almacenamiento y recogida, en vez de dirigirse hacia la eliminación de los desechos.

Generalmente, consideramos los residuos sólidos como un aspecto urbano, la tasa de generación de desechos suele ser menor, en promedio, que en áreas rurales. A esto hay que añadir, que a menudo, la disposición económica de la población de dichas áreas es menor, por lo que prevalece más la reutilización y el reciclaje.

En la actualidad, más de la mitad de la población mundial reside en ciudades, y esta cifra aumenta con precipitación. Se estima que en el año 2050 vivirán exclusivamente en

ciudades el número de habitantes correspondiente a la cifra de población mundial en el año 2000, lo que se traduce en un crecimiento alarmante.

Ante esta situación, los ciudadanos y las corporaciones, probablemente, tendrán que asumir más responsabilidad respecto a la generación y disposición de residuos, en especial al diseño de productos y a la separación de residuos. Todo ello, podría desembocar en un movimiento de “minería urbana”, donde podríamos obtener materiales como papel y metal en las ciudades.

Los residuos son un subproducto, como consecuencia de una forma de vida basada en la consumición y explotación intensiva de recursos, que impulsan gran parte de la economía mundial. La forma más rápida y sencilla de disminuir el volumen de desechos consistiría en una reducción de la actividad económica, lo que no es, en general, una opción viable.

Dado que los países, particularmente China e India, su rápido ritmo de desarrollo y urbanización, se prevé que las cantidades globales de residuos aumenten considerablemente.

Tabla 1.2-1 Clasificación de la composición de RSU en el mundo. [19]

| Región | Desechos orgánicos | Papel y cartón | Madera | Textil | Caucho y cuero | Plástico | Metal | Vidrio | Otros |
|---------------------------------|--------------------|----------------|--------|--------|----------------|----------|-------|--------|-------|
| ASIA | | | | | | | | | |
| Asia del Este | 26,2 | 18,8 | 3,5 | 3,5 | 1 | 14,3 | 2,7 | 3,1 | 7,4 |
| Asia del Sur Central | 40,3 | 11,3 | 7,9 | 2,5 | 0,8 | 6,4 | 3,8 | 3,5 | 21,9 |
| Asia Sureste | 43,5 | 12,9 | 9,9 | 2,7 | 0,9 | 7,2 | 3,3 | 4 | 16,3 |
| Asia Occidental y Oriente Medio | 41,1 | 18 | 9,8 | 2,9 | 0,6 | 6,3 | 1,3 | 2,2 | 5,4 |
| ÁFRICA | | | | | | | | | |
| África del Este | 53,9 | 7,7 | 7 | 1,7 | 1,1 | 5,5 | 1,8 | 2,3 | 11,6 |
| África Central | 43,4 | 16,8 | 6,5 | 2,5 | | 4,5 | 3,5 | 2 | 1,5 |
| África del Norte | 51,1 | 16,5 | 2 | 2,5 | | 4,5 | 3,5 | 2 | 1,5 |
| África del Sur | 23 | 25 | 15 | | | | | | |
| África Occidental | 40,4 | 9,8 | 4,4 | 1 | | 3 | 1 | | |
| EUROPA | | | | | | | | | |
| Europa del Este | 30,1 | 21,8 | 7,5 | 4,7 | 1,4 | 6,2 | 3,6 | 10 | 14,6 |
| Norte de Europa | 23,8 | 30,6 | 10 | 2 | | 13 | 7 | 8 | |
| Sur de Europa | 36,9 | 17 | 10,6 | | | | | | |
| Europa Occidental | 24,2 | 27,5 | 11 | | | | | | |
| OCEANÍA | | | | | | | | | |
| Australia y Nueva Zelanda | 36 | 30 | 24 | | | | | | |
| Resto de Oceanía | 67,5 | 6 | 2,5 | | | | | | |
| AMÉRICA | | | | | | | | | |
| América del Norte | 33,9 | 23,2 | 6,2 | 3,9 | 1,4 | 8,5 | 4,6 | 6,5 | 9,8 |
| América Central | 43,8 | 13,7 | 13,5 | 2,6 | 1,8 | 6,7 | 2,6 | 3,7 | 12,3 |
| América del Sur | 44,9 | 17,1 | 4,7 | 2,6 | 0,7 | 10,8 | 2,9 | 3,3 | 13 |
| Caribe | 46,9 | 17 | 2,4 | 5,1 | 1,9 | 9,9 | 5 | 5,7 | 3,5 |

Los datos se basan en el peso de los desechos húmedos de los residuos sólidos urbanos. Dichos valores son calculados de forma estimada, por lo que puede que no sean completamente exactos.

Observando los datos de las diferentes composiciones de desechos generados en el mundo se llega a la conclusión de que, como era de esperar, los predominantes son aquéllos de naturaleza orgánica, seguidos de la generación de residuos procedentes de papel y cartón.

Hay que destacar que en Asia del Este la producción de desechos originarios de plásticos es mayor que en el resto del mundo, probablemente resultado de la masiva industrialización que se da en los países emergentes que forman dicha zona, como son China y Japón.

Tabla1.2-2 Emisiones de gases procedentes de la eliminación de RSU por países. [20]

| País | Emisiones de metano post-consumo procedentes de eliminación de RSU | Emisiones de gases de efecto invernadero. | % de CH4 en relación con la emisión GEI en la eliminación de RSU |
|---------------|--|---|--|
| Brasil | 16 | 659 | 2,40% |
| China | 45 | 3.650 | 1,20% |
| India | 14 | 1.212 | 1,10% |
| México | 31 | 383 | 8,10% |
| Sur de África | 16 | 380 | 4,30% |

La tabla de valores sólo nos indica la producción de emisiones de diferentes gases a la atmósfera por parte de ciertas naciones, lo que hace que la valoración no sea del todo completa; concretamente, se centra en aquellos países catalogados como emergentes.

No obstante, analizando los datos se ve reflejada la cuestión que tratábamos antes sobre la industrialización de algunos países asiáticos, destacando la diferencia abismal existente entre la cantidad de emisiones de metano procedentes de la eliminación de RSU en China y en el resto de países. Asimismo, China se sitúa en cabeza en la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero.

China se sitúa como el primer emisor de CO₂ a escala mundial e India ocupa el segundo puesto tras haber superado recientemente a Rusia. En el año 1990 estos dos países emitían alrededor del 10% de CO₂ global, actualmente la cifra asciende al 30%, incumpliendo con lo pactado en el protocolo de Kioto. [5]

[5] El Protocolo de Kioto consiste en un acuerdo internacional con la finalidad de minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero (CO, CH₄, N₂O, HF, PFC y SF₆). Dentro de dicho acuerdo existen Certificados de Reducción de Emisiones que toleran la emisión de más CO₂ del establecido a ciertos países industrializados que realicen su compra.

El metano procedente de los vertederos representa el 12% de las emisiones globales de dicho gas. Los vertederos son responsables de, al menos, la mitad de las emisiones de metano atribuidas al sector de los residuos municipales. La cantidad de metano perteneciente a los vertederos varía en función del país, la composición de los residuos, de las condiciones climáticas, así como de las técnicas de eliminación y tratamiento de éstos.

La materia orgánica y biomasa se descompone en gas de vertedero, producto de la descomposición anaeróbica, compuesto por metano (alrededor del 50%), además de dióxido de carbono y otros gases.

Cabe añadir, que el metano posee un potencial de efecto invernadero 21 veces mayor que el dióxido de carbono, además de ser el segundo gas de efecto invernadero más común, por detrás del mencionado dióxido de carbono.

Las emisiones de gases de efecto invernadero resultantes de la administración de residuos pueden ser disminuidas de manera relativamente sencilla. La Unión Europea logró disminuir la tasa éstos de 69 millones de toneladas de CO₂ al año a 32 millones de toneladas al año.

A continuación, se muestran los valores de la generación de residuos sólidos urbanos en algunas de las ciudades con población de más de 100.000 habitantes del mundo. Los mayores generadores de RSU se corresponden, en la mayoría de las ocasiones, con aquellos núcleos que poseen más población, por lo que no es sorprendente que Asia genere una enorme cantidad de residuos al día, debido a su elevada densidad de población. De la misma manera se ve reflejado en núcleos urbanos como Ciudad de México, el área metropolitana de Buenos Aires o São Paulo.

Por el contrario, los mayores valores de ratios de generación de residuos pertenecen a Kutaisi (Georgia), Manila (Filipinas) y São Paulo (Brasil), en orden descendente. Este dato se obtiene teniendo en cuenta la generación de desechos respecto a la población de las localidades analizadas.

Con la recopilación de estos datos, pertenecientes a solamente algunas de las ciudades más significativas, queremos dar un enfoque más cercano a la problemática de la acumulación de residuos, otorgándole un carácter más cuantitativo para así, poder valorar la gravedad del asunto.

Tabla1.2–3 Valores de generación de RSU en ciudades con más de 100.000 habitantes. [18]

| Ciudad | Año | Población | Ratio de generación (kg/per cápita/día) | Total de RSU generados (kg/día) | Total de residuos (t/día) |
|-----------------------------------|------|------------|---|---------------------------------|---------------------------|
| ÁFRICA | | | | | |
| Benin , Parakou | 2002 | 148.450 | 0,59 | 87.671 | 88 |
| Burkina Faso , Ouagadougou | 2002 | 876.200 | 0,79 | 692.635 | 693 |
| Ghana , Kumasi | 2006 | 1.610.867 | 0,6 | 966.520 | 967 |
| Guinea , Conakry | 2007 | 3.000.000 | 0,24 | 725.274 | 725 |
| Niger , Zinder | 2006 | 242.800 | 0,29 | 69.430 | 69 |
| Zambia , Lusaka | 2005 | 1.300.000 | 0,9 | 1.171.994 | 1.172 |
| Zimbabwe , Harare | 2005 | 2.500.000 | 0,08 | 207.500 | 208 |
| ASIA DEL ESTE Y PACÍFICO | | | | | |
| China | | | | | |
| Beijing , Beijing | 2000 | 10.839.000 | 0,9 | 9.755.101 | 9.755 |
| Changchun , Jilin | 2000 | 3.093.000 | 0,9 | 2.783.701 | 2.784 |
| Chengdu , Suchuan | 2000 | 3.294.000 | 0,9 | 2.964.600 | 2.965 |
| Chongging , Chongging | 2000 | 4.900.000 | 0,9 | 4.410.000 | 4.410 |
| Guangzhou , Guangdong | 2000 | 3.893.000 | 0,9 | 3.509.701 | 3.504 |
| Shangai , Shangai | 2000 | 12.887.000 | 0,9 | 11.598.301 | 11.598 |
| Shenyang , Liaoning | 2000 | 4.828.000 | 0,9 | 4.325.200 | 4.345 |
| Tianjin , Tianjin | 2000 | 9.156.000 | 0,9 | 8.240.400 | 8.240 |
| Wuhan , Hubei | 2000 | 5.169.000 | 0,9 | 4.652.101 | 4.652 |
| Xian , Shaanxi | 2000 | 3.123.000 | 0,9 | 2.810.701 | 2.811 |
| China, Macao | | | | | |
| Macao | 2007 | 527.760 | 1,51 | 792.932 | 793 |
| Indonesia | | | | | |
| Jakarta | 2005 | 8.962.000 | 0,88 | 7.896.024 | 7.896 |
| Filipinas | | | | | |
| Manila | 2007 | 1.660.714 | 3 | 4.974.766 | 4.975 |
| Ciudad Quezón | 2005 | 2.392.701 | 1,56 | 3.728.911 | 3.729 |

| Ciudad | Año | Población | Ratio de generación (kg/per cápita/día) | Total de RSU generados (kg/día) | Total de residuos (t/día) |
|---------------------------------------|------|------------|---|---------------------------------|---------------------------|
| EUROPA DEL ESTE Y ASIA CENTRAL | | | | | |
| Albania | | | | | |
| Tirana | 2007 | 1.532.000 | 1,01 | 1.549.467 | 1.549 |
| Bielorrusia | | | | | |
| Minsk | 2007 | 1.806.200 | 1,21 | 2.181.918 | 2.182 |
| Croacia | | | | | |
| Zagreb | 2006 | 784.900 | 1,24 | 974.904 | 975 |
| Georgia | | | | | |
| Batumi | 2007 | 303.200 | 2 | 605.391 | 605 |
| Kutaisi | 2007 | 185.960 | 3,06 | 568.133 | 568 |
| Tbilisi | 2007 | 1.300.000 | 0,82 | 1.064.384 | 1.064 |
| AMÉRICA LATINA Y CARIBE | | | | | |
| Argentina | | | | | |
| Área metropolitana de Buenos Aires | 2001 | 12.544.018 | 1,16 | 14.551.061 | 14.551 |
| Ciudad de Salta | 2001 | 472.971 | 0,49 | 232.040 | 232 |
| Bolivia | | | | | |
| Cochabamba | 2001 | 717.026 | 0,6 | 430.216 | 430 |
| La Paz | 2001 | 790.353 | 0,53 | 419.677 | 420 |
| Santa Cruz de la Sierra | 2001 | 1.113.000 | 0,54 | 599.907 | 600 |
| Brasil | | | | | |
| Belem | 2001 | 1.280.614 | 1,57 | 2.012.000 | 2.012 |
| Belo Horizonte | 2001 | 2.238.526 | 1,43 | 3.201.800 | 2.202 |
| Brasilia | 2001 | 2.051.146 | 0,76 | 1.556.700 | 1.557 |
| Río de Janeiro | 2001 | 5.857.904 | 1,2 | 7.058.700 | 7.059 |
| São Paulo | 2001 | 10.434.252 | 2 | 20.855.700 | 20.856 |
| Chile | | | | | |
| Santiago, Santiago | 2001 | 200.792 | 1,63 | 327.893 | 328 |
| Valparaíso, Viña del Mar | 2001 | 286.931 | 0,96 | 275.454 | 275 |
| Colombia | | | | | |
| Bogotá | 2001 | 6.558.000 | 0,72 | 4.721.760 | 4.722 |
| Cali | 2001 | 2.181.000 | 0,77 | 1.679.370 | 1.679 |
| Medellín | 2001 | 1.909.000 | 0,81 | 1.546.290 | 1.546 |
| Costa Rica | | | | | |
| Desamparados | 2001 | 203.770 | 1,38 | 281.203 | 281 |
| San José | 2001 | 326.384 | 1,02 | 332.585 | 333 |

| | Año | Población | Ratio de generación (kg/per cápita/día) | Total de RSU generados (kg/día) | Total de residuos (t/día) |
|--|------|-----------|---|---------------------------------|---------------------------|
| Cuba | | | | | |
| Ciudad de la Habana | 2001 | 2.186.632 | 0,75 | 1.639.974 | 1.640 |
| Santiago de Cuba | 2001 | 452.307 | 0,5 | 226.154 | 226 |
| Ecuador | | | | | |
| Quito | 2001 | 1.841.200 | 0,72 | 1.325.664 | 1.326 |
| El Salvador | | | | | |
| San Salvador, San Salvador | 2001 | 479.605 | 0,81 | 388.480 | 388 |
| Granada | | | | | |
| Granada | 2001 | 95.551 | 0,85 | 81.218 | 81 |
| Guatemala | | | | | |
| Guatemala | 2001 | 2.541.581 | 0,95 | 2.414.502 | 2.415 |
| San Benito | 2001 | 366.735 | 0,8 | 293.388 | 293 |
| República Cooperativa de Guyana | | | | | |
| Georgetown | 2001 | 180.000 | 1,53 | 275.400 | 275 |
| Haití | | | | | |
| Delmas | 2001 | 335.866 | 0,6 | 201.520 | 202 |
| Puerto Príncipe | 2001 | 1.100.085 | 0,6 | 660.051 | 660 |
| Honduras | | | | | |
| Distrito Central | 2001 | 819.867 | 0,67 | 549.311 | 549 |
| San Pedro Sula | 2001 | 483.384 | 0,69 | 333.535 | 334 |
| Jamaica | | | | | |
| Riverton | 2001 | 1.458.155 | 1 | 1.458.155 | 1.458 |
| México | | | | | |
| Guadalajara, México | 2001 | 1.650.776 | 1,2 | 1.980.931 | 1.981 |
| Juárez, México | 2001 | 1.264.121 | 1,22 | 1.543.492 | 1.543 |
| México, Distrito Federal | 2001 | 8.615.955 | 1,38 | 11.890.018 | 11.890 |
| Puebla, Puebla | 2001 | 1.372.446 | 1,38 | 1.893.975 | 1.894 |
| Nicaragua | | | | | |
| Managua | 2001 | 952.068 | 0,71 | 676.920 | 677 |
| Panamá | | | | | |
| Ciudad de Panamá | 2001 | 708.438 | 0,94 | 665.932 | 666 |
| Paraguay | | | | | |
| Asunción | 2001 | 513.999 | 1,31 | 673.579 | 674 |

| Ciudad | Año | Población | Ratio de generación (kg/per cápita/día) | Total de RSU generados (kg/día) | Total de residuos (t/día) |
|--|------|------------|---|---------------------------------|---------------------------|
| Perú | | | | | |
| Callao, Callao Cercado | 2001 | 449.282 | 0,81 | 365.716 | 366 |
| Lima, Ate | 2001 | 410.734 | 0,56 | 228.368 | 228 |
| Lima, Comas | 2001 | 469.747 | 0,52 | 244.268 | 244 |
| Lima, San Martín de Porres | 2001 | 448.345 | 0,79 | 352.399 | 352 |
| Santa Lucía | | | | | |
| Santa Lucía | 2001 | 162.157 | 1,18 | 191.345 | 191 |
| San Vicente y las Granadinas | | | | | |
| San Vicente | 2001 | 106.916 | 0,34 | 36.351 | 36 |
| Surinam | | | | | |
| Ciudad de Paramibo | 2001 | 287.131 | 1 | 287.131 | 287 |
| Trinidad y Tobago | | | | | |
| Tunapuca/ Piarco | 2001 | 203.975 | 2,2 | 448.745 | 449 |
| Uruguay | | | | | |
| Montevideo | 2001 | 1.303.182 | 1,23 | 1.602.914 | 1.603 |
| Venezuela | | | | | |
| Bogotá Distrito Capital | 2001 | 1.836.286 | 1,1 | 2.019.915 | 2.020 |
| Municipio Maracaibo Edo Zulia | 2001 | 1.405.933 | 1,08 | 1.518.408 | 1.518 |
| ORIENTE MEDIO Y NORTE DE ÁFRICA | | | | | |
| Egipto | | | | | |
| El Cairo | 2007 | 7.765.000 | 1,77 | 13.766.234 | 13.766 |
| Irán | | | | | |
| Tehran | 2005 | 8.203.666 | 0,88 | 7.044.000 | 7.044 |
| Iraq | | | | | |
| Baghdad | 2005 | 6.784.000 | 1,71 | 11.621.432 | 11.621 |
| SUR DE ASIA | | | | | |
| India | | | | | |
| Bombai | 2005 | 11.978.450 | 0,45 | 5.390.303 | 5.390 |
| Delhi | 2005 | 10.306.452 | 0,57 | 5.874.678 | 5.875 |
| Nepal | | | | | |
| Kathmandu | 2003 | 738.173 | 0,31 | 226.800 | 227 |
| Sri Lanka | | | | | |
| Dehiwala- Mount Lavinia | 2007 | 209.787 | 0,73 | 154.110 | 154 |
| Moratuwa | 2007 | 189.790 | 0,67 | 127.854 | 128 |

1.2.1 Situación en Europa.

A través de las gráficas, observamos que Europa ha desarrollado un incremento en la generación de residuos de manera paralela a su crecimiento económico. Cabe añadir que estos datos no son del todo transparentes, ya que se encuentran influenciados por la población existente en cada país. De esta manera, sería más complejo determinar cuál de estos países es el que más residuos genera por habitante.

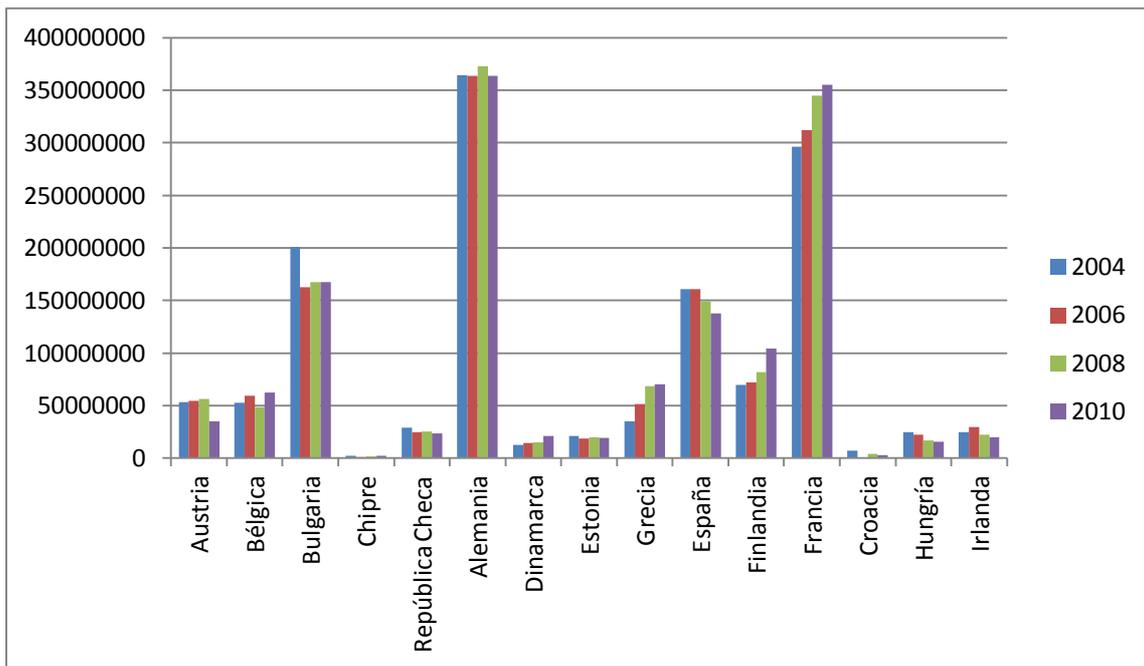


Figura1.2.1- 1 Generación de residuos en países de la Unión Europea. [9]

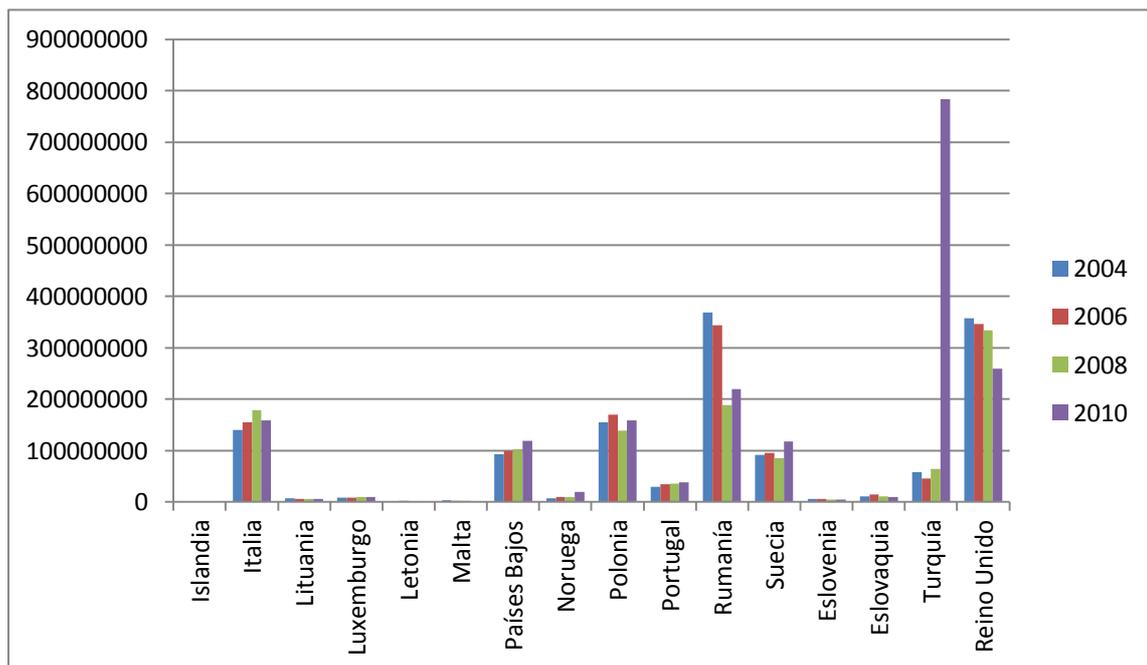


Tabla1.2.1-2 Generación de residuos en países de la Unión Europea. [9]

Los mayores generadores de residuos de la Unión Europea se corresponden con las mayores potencias económicas: Francia y Alemania. Donde Francia tiene tendencia al aumento de dicha generación, mientras que Alemania se mantiene prácticamente estable a lo largo de los años. Es destacable la diferencia abismal de producción de desechos existente entre Francia y un país semejante, respecto su número de habitantes, como podría ser Italia, lo que concluye que la generación de residuos, en muchas ocasiones, va ligada al nivel de industrialización de dicho país.

Turquía ha experimentado un crecimiento alarmante en el nivel de generación de desechos, provocado, probablemente por su veloz crecimiento económico, siendo un país con un destacable mercado emergente. El aumento tan radical de residuos que sufre este país podría provocar una situación alarmante si no se toman las medidas adecuadas respecto a la gestión y tratamiento de los mismos.

1.2.2 Datos particulares de la Isla de La Palma.

El objetivo de nuestro proyecto es el de localizar la planta de tratamiento de residuos en la Isla de La Palma. Para ello, analizaremos la situación particular en la que se encuentra sumida dicha isla.

La Palma es una isla del océano Atlántico, perteneciente al archipiélago de Canarias y adscrita a la provincia de Santa Cruz de Tenerife. Toda la isla es reserva de la biosfera desde el año 2002.

El archipiélago canario presenta un crecimiento demográfico elevado, mayor que en el resto del país, consecuencia de unas altas tasas de natalidad y una mortalidad en descenso, como resultado del desarrollo del turismo y la construcción en esta zona.

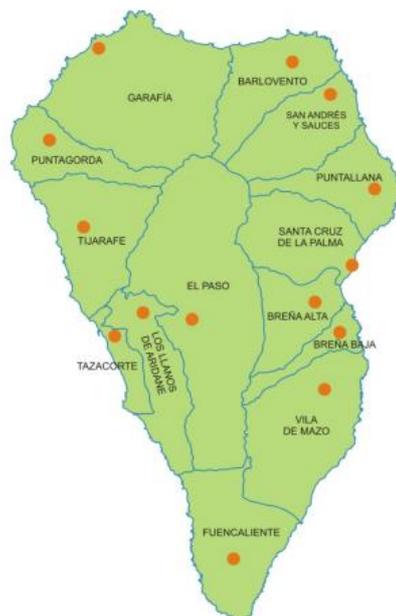


Figura1.2.2 -1 Municipios pertenecientes a la isla de La Palma. [6]

Por el contrario, la isla de La Palma no cumple del todo estas características. Como se puede observar en los datos presentados en la tabla adjunta, el crecimiento demográfico en dicha isla se ha mantenido muy estable, con un leve ascenso en los últimos 20 años.

La densidad de población en la isla es de 123 habitantes por kilómetro cuadrado, muy superior a la media nacional.

Tabla1.2.2-1 Evolución de la población de La Palma según municipios. [3]

| MUNICIPIO | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|--------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Barlovento | 2.367 | 2.350 | 2.507 | 2.506 | 2.383 | 2.387 | 2.363 | 2.296 |
| Breña Alta | 6.665 | 6.847 | 7.039 | 7.158 | 7.184 | 7.279 | 7.337 | 7.347 |
| Breña Baja | 4.187 | 4.186 | 4.355 | 4.470 | 4.708 | 4.952 | 5.115 | 5.259 |
| Fuencaliente de La Palma | 1.857 | 1.877 | 1.913 | 1.935 | 1.964 | 1.925 | 1.935 | 1.898 |
| Garafia | 1.998 | 1.948 | 1.924 | 1.886 | 1.849 | 1.829 | 1.804 | 1.714 |
| Los Llanos de Aridane | 20.001 | 19.659 | 19.878 | 20.173 | 20.170 | 20.525 | 20.766 | 20.948 |
| El Paso | 7.544 | 7.218 | 7.404 | 7.505 | 7.514 | 7.698 | 7.815 | 7.837 |
| Puntagorda | 1.789 | 1.708 | 1.795 | 1.962 | 1.974 | 1.955 | 2.108 | 2.177 |
| Puntallana | 2.364 | 2.380 | 2.424 | 2.368 | 2.407 | 2.423 | 2.460 | 2.425 |
| San Andrés y Sauces | 5.102 | 5.012 | 5.086 | 5.020 | 4.975 | 4.972 | 4.884 | 4.874 |
| Santa Cruz de La Palma | 18.201 | 17.857 | 17.788 | 17.640 | 17.353 | 17.132 | 17.084 | 17.128 |
| Tazacorte | 6.107 | 5.797 | 5.835 | 5.830 | 5.828 | 5.786 | 5.755 | 5.697 |
| Tijarafe | 2.687 | 2.666 | 2.713 | 2.720 | 2.744 | 2.757 | 2.768 | 2.769 |
| Villa de Mazo | 4.762 | 4.777 | 4.591 | 4.889 | 4.880 | 4.908 | 4.802 | 4.955 |
| TOTAL | 85.631 | 84.282 | 85.252 | 86.062 | 85.933 | 86.528 | 86.996 | 87.324 |

Los municipios más poblados son Santa Cruz de La Palma, Los Llanos de Aridane, observando los datos de la demografía perteneciente a la isla a lo largo de ocho años.

La tendencia general, al igual que en el resto de la península, es de envejecimiento paulatino de la población, provocado por el número creciente de ancianos y el decreciente de jóvenes.

Tabla 1.2.2-2 Edad media de la población en La Palma y Canarias. [3]

| | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CANARIAS | 36,5 | 36,7 | 37 | 37,3 | 37,7 | 37,9 | 38,2 | 38,5 |
| LA PALMA | 39,8 | 40 | 40,3 | 40,6 | 41 | 41,2 | 41,5 | 41,9 |

Realizando una proyección podemos conocer una evolución aproximada de la población futura, aunque no lo sabremos con exactitud. Según esta proyección, la población en el archipiélago canario, así como en la Isla de La Palma, sufrirá un pequeño crecimiento.

Tabla 1.2.2-3 Proyección de población 2011-2018. [3]

| | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| CANARIAS | 2.194.889 | 2.225.333 | 2.254.944 | 2.283.699 | 2.311.809 | 2.339.748 | 2.367..510 | 2.395.239 |
| LA PALMA | 89.505 | 90.385 | 91.294 | 92.214 | 93.148 | 94.119 | 95.109 | 96.095 |

El aumento de la población se traduce en un aumento progresivo de los residuos. Actualmente se estima que cada habitante de las Islas Canarias genera 1'5 kilogramos al día. Lamentablemente, el destino de la mayoría de estos residuos es el vertedero. La opción más viable económica y medioambientalmente hablando, sería la de su aprovechamiento energético mediante un procedimiento limpio.

Este problema se ve acrecentado en el caso de las zonas insulares, ya que el aislamiento que sufren es un inconveniente a la hora del tratamiento de residuos y, en muchas ocasiones, genera una controversia. Particularmente, la ubicación de las Islas Canarias respecto a la Península Ibérica no favorece en este aspecto, debido a la gran distancia que las separa.

Para paliar el problema de la generación de residuos en la isla de La Palma, hay que sopesar las alternativas que existen en el tratamiento de estos desechos, ya que la acumulación de los mismos podría desembocar en problemas tanto medioambientales como sanitarios.

El VAB (Valor Añadido Bruto) de la isla procede un 69% del sector terciario, un 22% del sector secundario y un 9% del sector primario (relacionado con el aprovechamiento de los recursos naturales).

La relevancia del sector primario en dicha zona es elevada, no solamente por el aporte directo que puede generar el VAB, sino también por las repercusiones que tiene sobre los sectores servicios e industriales, ya que se encuentran vinculados. De este modo, el peso real del sector primario será mayor, con cifras cercanas al 30 y 40%.

De todo esto se deduce que una gran cantidad de los residuos que se generan en la Isla de La Palma proceden de actividades relacionadas con el sector primario. Por lo que, focalizaremos nuestro proyecto en el tratamiento de aquéllos desechos originarios de biomasa.

1.2.2.1 Residuos en la isla de La Palma.

Las comunidades autónomas tienen competencia en materia de autorización, vigilancia, inspección y sanción de las actividades de producción y gestión de residuos. En el caso de las zonas insulares, al tratarse de una localización más delicada en este aspecto, se han de construir los denominados Complejos Medioambientales. Concretamente, su construcción es llevada a cabo por el gobierno insular y serán gestionados por los cabildos.

Los Complejos Medioambientales surgieron como una alternativa a la convencional manera de tratar a los residuos en las islas. Consisten en un conjunto de instalaciones donde son descargados los desechos y son acondicionados, según su naturaleza, para su valorización, tratamiento o eliminación.

Tabla 1.2.2.1-1 Organismos y sus competencias sobre la gestión de residuos. [8]

| Organismo | Competencias |
|---------------------|--|
| Gobierno autonómico | Planificación de la gestión de residuos peligrosos |
| | Autorización, vigilancia, inspección y sanción de producción y gestión de residuos |
| | Potestad reglamentaria |
| Cabildos insulares | Explotación de los Complejos Medioambientales |
| Ayuntamientos | Transporte de los residuos hasta los Complejos Medioambientales |
| | Recogida de los residuos urbanos |

Los municipios recogen de manera individual los residuos mezclados, de forma directa o mediante concesiones administrativas.

Residuos peligrosos en la isla de La Palma.

Los residuos peligrosos generados en La Palma son regidos por el artículo 4 de la Ley 1/99, de 29 de enero, de Residuos de Canarias. Se consideran Residuos Peligrosos aquéllos que figuran en la Lista Europea de Residuos (LER), cuyo código (*) se encuentra recogido en la orden MAM 304/2002 de 8 de febrero.

De acuerdo con la actual legislación, este residuo es clasificado teniendo en cuenta diversos criterios, como puede ser su técnica de tratamiento. Nunca son clasificados en relación a la actividad que lo genera.

Los sectores productores de este tipo de desecho en la isla de La Palma, son mayoritariamente el agropecuario, industrial, transporte, servicios, construcción y sector público

La comunidad canaria cuenta con un fichero de pequeños productores de residuos tóxicos, de acuerdo con la Orden de 14 de mayo de 1996 por la que se regula el libro personal de registro de pequeños productores de Residuos Tóxicos de Canarias. En 2001 se recogieron datos de 238 pequeños productores, reflejados en la tabla adjunta.

Existe un fichero en la comunidad canaria en el que se recogen los pequeños productores de residuos tóxicos y de este modo son regulados. En la tabla adjunta aparecen los pequeños productores de este tipo de residuo existentes en la Isla de La Palma en el año 2001.

El número de productores no es muy elevado, pero hay que tener en cuenta que estamos hablando de una localidad que no está muy poblada. Es recomendable realizar un control y seguimiento de los mismos.

Tabla1.2.2.1-2 Número de pequeños productores de residuos tóxicos por municipios en la isla de La Palma en el año 2001. [3]

| Municipio | Número de pequeños productores |
|------------------------|--------------------------------|
| Barlovento | 4 |
| Breña Alta | 18 |
| Breña Baja | 23 |
| Fuencaliente | 6 |
| Garafía | 7 |
| Los Llanos | 55 |
| El Paso | 24 |
| Puntagorda | 3 |
| Puntallana | 5 |
| San Andrés y Sauces | 18 |
| Santa Cruz de La Palma | 38 |
| Tzacorte | 6 |
| Tijarafe | 6 |
| Villa de Mazo | 25 |
| TOTAL | 238 |

El acceso a estos datos es más restringido en la actualidad, aunque cabe añadir que las cantidades totales no han sufrido variaciones sustanciales. El Cabildo Insular, en 2008, recuperó 22,6 toneladas de este tipo de residuos procedentes de diversos puntos limpios.

Residuos sanitarios en la isla de La Palma.

Serán clasificados como residuos sanitarios todos los que aparezcan así clasificados en la Lista Europea de Residuos (LER), de la Orden MAM 304 /2002 de 8 de febrero, recogidos en el capítulo 18.

Particularmente, cabe destacar que la mayor parte de los residuos generados pertenecen a centros de carácter hospitalario (aquéllos en los que existe ingreso del paciente). Por norma general, la mayoría de los centros de día y consultas generan un solo tipo de residuo, los denominados objetos cortantes y punzantes. El número de visitas que un centro externo reciba repercuten en el volumen de residuos generados.

Son tomados los siguientes valores en función de los grupos de residuos de acuerdo a ratios a nivel nacional:

- Grupo I: 1,72 kg/cama/día
- Grupo II: 1,40 kg/cama/día
- Grupo III: 0,36 kg/cama/día

En la tabla adjunta se muestran los datos resultantes de la aplicación de estos valores a las camas existentes en los centros hospitalarios de La Palma.

Tabla1.2.2.1-3 Datos de residuos sanitarios generados al día. [3]

| TOTAL CAMAS | RESIDUOS GRUPO I | RESIDUOS GRUPO II | RESIDUOS GRUPO III | RESIDUOS TOTALES |
|-------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| 274 | 471,28 | 383,6 | 36 | 893,8 |

Solamente los residuos pertenecientes al Grupo III son considerados como peligrosos. Atienden a esta clasificación los residuos del Grupo IV (residuos citostáticos), que no se producen en la isla.

Se puede estimar la obtención de residuos en consultas y centros de día (en los que no existe internamiento), teniendo en cuenta la población y valores aproximados de generación de residuos de Grupo III (tomamos 8 gramos/visita).

Tabla1.2.2.1-4 Datos de residuos sanitarios de Grupo III en consultas y centros de día. [3]

| VISITAS AL MES | RESIDUOS GRUPO III AÑO EN T. |
|----------------|------------------------------|
| 49.920 | 0.3 |

Hay que tener en cuenta en la valorización de residuos del Grupo III, aquéllos generados en centros veterinarios. Éstos establecen una cantidad media de 6,96 kg a la semana por cada centro generador. Establecemos una evaluación de los Residuos Biosanitarios Específicos (RBE) que como máximo se pueden generar en la isla, reflejados en la siguiente tabla.

Tabla 1.2.2.1-5 Datos de residuos sanitarios generados en centros veterinarios. [3]

| Nº DE CENTROS | VOLUMEN RESIDUOS T/AÑO |
|---------------|------------------------|
| 7 | 2,5 |

Conociendo estos valores, recogemos el volumen total, de manera aproximada, que deberán ser tratados como Residuos Peligrosos.

Tabla 1.2.2.1-6 Volumen total de residuos sanitarios en la Isla de la Palma al año. [3]

| RESIDUOS HOSPITALARIOS | RESIDUOS CENTROS DE ASISTENCIA PRIMARIA Y CONSULTAS | RESIDUOS VETERINARIOS | TOTAL |
|------------------------|---|-----------------------|--------------|
| 36 (t/año) | 4,8 (t/año) | 2,5 (t/año) | 43,3 (t/año) |

Solamente existe un sistema de gestión de Residuos Peligrosos por parte del gobierno canario, de aquéllos que han sido generados en hospitales.

1.3 Gestión de residuos.

La gestión de residuos está adquiriendo un papel, cada vez más importante, en la política municipal. La generación total de desechos ha aumentado en las últimas décadas, a pesar de que los niveles de reciclaje hayan aumentado.

España posee 162 islas, con una población total cercana a los 3,2 millones de personas. La mayor parte de dichas islas se encuentran deshabitadas, por lo que la mayoría de la población se concentra en las islas Baleares y Canarias.

La gestión de residuos presenta diversas particularidades. A menudo, existe el problema de falta o saturación de instalaciones de tratamiento, lo que ocasiona costosos transportes.

El turismo es una fuente de ingresos predominante en las islas, particularmente en Canarias gracias a la buena temperatura que presentan, incluidos los meses de invierno. Por lo que la población real es muy superior a la censada allí, ya que la estacionalidad en muchos casos es larga. Este dato habría que tenerlo en cuenta para una gestión adecuada de los residuos.

Por otro lado, las Islas Canarias constituyen uno de los territorios de la Unión Europea más alejados del continente. Su aislamiento es un condicionante en la gestión eficiente

de los residuos y como solución, en ocasiones, son trasladados a otras islas o a la península.

La Directiva Marco de Residuos (*Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*) instituye un orden de prioridades en el ámbito de la gestión de residuos: prevención, reutilización, reciclaje, valorización energética y vertido controlado.

La aplicación de la política de gestión de residuos según el marco normativo se realiza con el objetivo de reducir los efectos sobre el medio ambiente y la salud humana, así como, favorecer la jerarquía de gestión de residuos.

La jerarquía de gestión de residuos de la que hablamos instituye un orden de prioridades:

1. Prevención
2. Reutilización
3. Reciclado
4. Cualquier otro tipo de valorización (como es la valorización energética)
5. Eliminación

1.3.1 Prevención de residuos.

De manera rigurosa, la prevención no es una técnica de gestión de residuos, ya que va referida a sustancias u objetos antes de que éstos se conviertan en residuos.

Se entiende como prevención las medidas adoptadas antes de que una sustancia, material o producto se haya convertido en residuo, con el objetivo de reducir:

- a) La cantidad de residuo.
- b) Los impactos sobre el medio ambiente y la salud humana de la generación de residuos.
- c) El contenido de sustancias nocivas en materiales y productos.

Podemos distinguir la prevención cualitativa y la prevención cuantitativa.

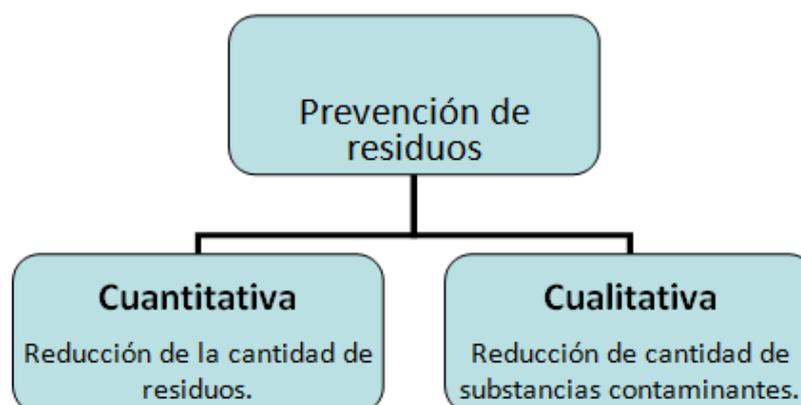


Figura 1.3.1.- Tipos de prevención de residuos.

1.3.2 Reutilización.

La reutilización puede ser considerada como un tipo particular de prevención de residuos, ya que se usan de nuevo con el objetivo para el que fueron diseñados, sin llegar a convertirse en residuos.



Figura 1.3.2. Ciclo de aprovechamiento de los recursos.

Para el proceso de reutilización es necesario que se cumplan dos condiciones: que el producto no se convierta en desecho y que su uso sea semejante al inicial. Debido a esto, en gran parte, hay que realizar operaciones de acondicionamiento y preparación antes de la reutilización de los mismos.

El Marco Normativo [2008/98/CE] establece que cualquier productor o poseedor de residuos debe llevar a cabo el tratamiento de residuos por sí mismo o encargar su realización a una empresa, negociante o a una entidad. Si fuese necesario, los Estados miembros pueden cooperar estableciendo una red de eliminación de residuos. La red deberá estar diseñada de modo que la Comunidad pueda llegar a ser independiente en el sector de eliminación de residuos.

Los residuos de naturaleza peligrosa tienen que ser almacenados y manipulados en condiciones que respeten la naturaleza y la salud humana. Cabe añadir, que de ningún modo se deben mezclar estos desechos con otros tipos de residuos peligrosos, además tendrán que estar envasados o etiquetados siguiendo las normas comunitarias o internacionales

2 Residuos.

2.1 Definición de residuo.

Un residuo es cualquier sustancia u objeto que su poseedor desecha o tenga la intención o la obligación de desechar. Por lo tanto, entendemos como tal, aquél material que ya no tienen ninguna utilidad o es carente de valor para su propietario.

Se puede entender, también, como un producto de desecho, en estado sólido, líquido o gaseoso resultante de actividades de producción y consumo, que debido a la falta de la tecnología adecuada o por la inexistencia de un mercado competitivo, ya no posee valor económico.

2.2 Clasificación de los residuos.

Podemos llevar a cabo diversas categorizaciones atendiendo a las características que presenten los residuos.

2.2.1 Según sus características físico-químicas.

Es la clasificación más básica, cuyo criterio de clasificación se basa en el estado físico en el que se encuentran los residuos. En la actualidad, la ley no efectúa ninguna diferenciación entre éstos.

Se distinguen residuos sólidos, residuos líquidos, lodos/fangos, residuos pastosos y residuos radioactivos.

Cabe destacar que las emisiones a la atmósfera y los vertidos de aguas residuales poseen una regulación específica.

2.2.2 Según su peligrosidad.

Atendiendo a la peligrosidad que poseen los residuos, se pueden clasificar en

- Residuos inertes: son aquéllos que no presentan ninguna actividad físico-química, que permita apreciar liberación de contaminantes al medio.
- Residuos peligrosos: son aquéllos resultantes de actividades industriales que poseen características o sustancias que los transforman en tóxicos para las personas o para el medio.
- Residuos biocontaminados: la principal carga contaminante de este tipo de residuos es la presencia de microorganismos patógenos con posibilidad de causar daño o enfermedad.
- Residuos no peligrosos: son aquellos desechos que en un principio no presentan ninguna característica de peligrosidad, pero que no pueden ser considerados como inertes.

2.2.3 Según su origen.

- Residuos sólidos urbanos: se entienden como basuras domésticas y el resto de desechos generados dentro de una población. La gestión de éstos es llevada a cabo por los municipios.
- Residuos comerciales: se refieren a los desechos resultantes de cualquier actividad comercial. La gestión será responsabilidad del municipio cuando posea la consideración de residuo sólido urbano, y de los productores cuando tenga la calificación de envase comercial.
- Residuos industriales: aquéllos que proceden de actividades industriales. Dentro de esta clasificación, encontramos dos subtipos, distinguiendo los similares a residuos sólidos urbanos y los denominados residuos de proceso, que son los generados en las actividades de producción. Estos últimos son gestionados por los productores.
- Residuos agropecuarios: desechos resultantes de actividades ganaderas y agrícolas. La gestión de éstos es llevada a cabo por los productores, así como por las Comunidades Autónomas.
- Residuos de construcción y demolición: procedentes de todas las actividades relacionadas con la construcción y demolición de infraestructuras. La gestión es responsabilidad de los productores y municipios.
- Residuos sanitarios y hospitalarios: aquéllos procedentes de cualquier actividad sanitaria, incluyendo alguna actividad sanitaria.

2.3 Normativa referida a residuos.

2.3.1 Normativa europea

- *DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas.*

Se establece un marco jurídico por la presente normativa con el fin de erradicar la relación que existe entre el crecimiento económico. Pretende controlar el ciclo completo de los residuos, centrándose mayoritariamente en la valorización y en el reciclaje.

Instaura que para llevar a cabo la realización de nuestro proyecto deberemos obtener una autorización aceptada por las autoridades competentes mediante la cual se regulan el tipo y la cantidad de residuos a tratar. Dichas autoridades

establecerán el plan de gestión de residuos, con el objetivo de asegurar la protección al medioambiente y a la salud humana.

- *Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).*

La normativa expuesta engloba la Directiva 2008/1/CE y otras seis directivas referentes a las emisiones procedentes de la actividad industrial. Incluye disposiciones especiales para las instalaciones de incineración y coincineración de residuos, definiendo en su Anexo V unos valores límite de emisión de gases considerablemente estrictos.

Nuestra instalación estará afectada por un plan de inspección medioambiental que será establecido por el Estado. Dicho plan tiene que ser revisado y actualizado con periodicidad, incluyendo visitas regulares al emplazamiento de la instalación, con intervalos de uno a tres años, dependiendo del grado de riesgo que se considere.

Esta Directiva deroga a normativa que nos afecta en la instalación de nuestra planta de tratamiento de residuos, como son la *Directiva 2008/1/CE relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación*, la *Directiva 1999/13/CE relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV)* y la *Directiva 2000/76/CE relativa a la incineración de residuos*.

- *Directiva 2008/1/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y control integrados de la contaminación.*

Este marco normativo está derogado por la Directiva antes expuesta. Establecía unos requisitos y la obligación de ser sometidas a un proceso de autorización todas las actividades industriales con riesgo elevado de contaminación referidas al ámbito de las emisiones de gases.

- *Directiva 1999/13/CE relativa a la limitación de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles.*

La normativa expuesta establece unos límites en la emisión de COV (compuestos orgánicos volátiles), que son consideradas tóxicas para la salud, además de contribuir al efecto invernadero.

Para cumplir con las exigencias se podrían instalar equipos reductores de emisiones, o bien, sustituyendo los productos convencionales por otros más beneficiosos medioambientalmente hablando.

Esta Directiva se encuentra derogada por la *Directiva 2010/75/UE*, que aglutinaba diversas Directivas referentes a la emisión de gases en una sola.

2.3.2 Normativa estatal.

- *Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.*

Este Real Decreto se crea con el objetivo de regular el régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía no convencionales, como son las energías renovables, cogeneración y residuos.

Las clasifica en subapartados, correspondiéndole a nuestra instalación el subgrupo b.71 "Instalaciones que empleen como combustible principal el biogás de vertederos controlados".

- *Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente.*

La ley expuesta tiene la finalidad de reactivar la economía y generar empleo por medio de la simplificación administrativa y aumentar la velocidad de resolución de los trámites, sin olvidarse de la protección medioambiental, que es su principal objetivo. Entró en vigor el 21 de diciembre de 2012.

Modifica algunas leyes, como son la Ley de Aguas aprobada por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio y la ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y Biodiversidad. La repercusión sobre esta ley está relacionada con la garantía de la compatibilidad de la protección de los espacios naturales por medio de una previa planificación. Asimismo, expresa que en el caso de que se solapen varias de las figuras de protección, éstas se unificarán de modo que solamente exista un instrumento de protección.

Finalmente, realiza una modificación de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de Residuos y Suelos Contaminados, con el objetivo expresado anteriormente de simplificar los trámites administrativos.

La puesta en marcha de esta ley nos facilitará, en la medida de lo posible muchas de las actividades administrativas que tenemos que desarrollar para que la puesta en marcha de nuestro proyecto sea óptima.

- *Ley 22/2011 de 28 de julio de residuos y suelos contaminados*

La ley expuesta afecta a los residuos de cualquier naturaleza, con exclusión de las emisiones a la atmósfera, los procedentes de la construcción, residuos radiactivos, explosivos desclasificados, aquellos residuos procedentes de materias fecales o aquéllos utilizados para la generación de energía mediante biomasa.

Particularmente este aspecto nos afecta, ya que el objetivo de nuestro proyecto es la obtención de combustibles mediante el tratamiento de residuos, procedentes de biomasa, en nuestro caso. Tendremos que tener en cuenta dicha ley, de todas maneras, debido al carácter revolucionario que posee la tecnología a emplear en el tratamiento de los mismos.

La ley expuesta se ve modificada por la Ley 11/2012 explicada anteriormente, en el aspecto de que simplifica algunos de sus trámites administrativos para que la aceptación de los proyectos se realice en el menor tiempo posible.

2.3.3 Normativa autonómica. [8]

- Decreto 39/2014 de 15 de mayo, que modifica el decreto 147/2007, de 24 de mayo, por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados en la Comunidad Autónoma de Canarias y crea el Inventario de Suelos Contaminados de Canarias

El decreto 147/2007 era el encargado de la regulación jurídica de los suelos contaminados en la comunidad canaria. La modificación del mismo se realizó debido que tras años de desarrollo y experiencia se pusieron de manifiesto algunos aspectos que debían ser mejorados. Con la finalidad de aumentar la eficiencia y simplificar los procedimientos, uno de los cambios que se llevaron a cabo fue el de eliminar la obligatoriedad de la presentación cada dos años de un informe de situación del suelo, siendo competencia del órgano ambiental requerido la determinación de la periodicidad del mismo.

Los titulares de las actividades a desarrollar en ese emplazamiento tienen el deber de presentar un Informe Preliminar de Situación al órgano ambiental competente. El contenido de dichos informes es determinado por Orden de la Consejería encargada de medioambiente, realizando una descripción de la actividad a desarrollar, materias primas empleadas y residuos generados, entre otras cosas.

- *Ley 1/1999, de 29 de enero, de Residuos de Canarias.*

Esta ley trata el tema de los residuos, desde la producción y gestión de los mismos hasta las obligaciones de los productores y poseedores de residuos. El objetivo de la misma era el establecimiento de unas determinaciones sobre este ámbito para minimizar los efectos negativos que la producción y acumulación de los desechos pudiera ocasionar sobre la población.

Prohíbe el abandono, vertido y eliminación de los residuos de manera no controlada. Cualquier actividad relacionada con la gestión de residuos debe ser sometida a previa autorización por parte de la consejería competente en materia de medioambiente. La valorización y eliminación de desechos tiene que ser realizada sin poner en peligro la salud o el medioambiente.

Esta normativa también trata el tema de la obtención de energía a través de los residuos, que nos afecta directamente, adoptando las siguientes medidas:

- Facilitar el uso y comercialización de los residuos como combustibles gracias a una previa preparación.
- Promocionar técnicas y sistemas de aprovechamiento energético de los desechos, que será la que intentaremos llevar a cabo con la implantación de nuestra planta de tratamiento de residuos con la tecnología de plasma.

- *Ley 4/2001 de 6 de julio, de medidas tributarias, financieras, de organización y relativas al personal de la Administración Pública de la Comunidad Autónoma de Canarias, que deroga el párrafo segundo del apartado 4 del artículo 26 de la Ley 1/1999.*

La Ley expuesta a continuación modifica el apartado 4 del artículo 26 de la Ley 1/1999. Ésta determina la obligación de disponer de un complejo ambiental de residuos en cada isla, con un área suficientemente extensa y que posea los

equipamientos mínimos para que el tratamiento de residuos se realice de manera óptima. Deben ser admitidos en el complejo ambiental de residuos aquéllos que lo requieran tanto ambiental como técnicamente.

Es importante destacar que no serán admitidos en los complejos ambientales, los residuos de naturaleza explosiva, oxidante o inflamable, definidos por la Directiva 91/689 CEE y aquéllos que sean infecciosos originarios de centros médicos o veterinarios.

2.3.3.1 Gestión de residuos.

- *Resolución de 26 de marzo de 2014, por la que se aprueban los modelos normalizados de comunicación previa a la actividad de gestión de residuos.*

Dicha Resolución surge gracias a la necesidad de crear unos modelos normalizados referentes a las autorizaciones de generación de residuos y algunas de las actividades de gestión de los mismos, ya que alguna de la normativa existente en relación a esos ámbitos ya no resultan de aplicación.

Los modelos aprobados están relacionados con las comunicaciones previas a la gestión de residuos en diferentes ámbitos en la comunidad canaria.

- *Resolución de 19 de marzo de 2014, por la que se aprueban los modelos normalizados de solicitud de autorización de instalaciones donde vayan a desarrollarse operaciones de tratamiento de residuos y de solicitud de autorización de persona física o jurídica para realizar operaciones de tratamiento de residuos.*

La Resolución expuesta surge debido al mismo motivo explicado anteriormente. La Ley 22/2011, de la que hemos hablado anteriormente, tiene una Disposición Derogatoria Única, a través de la cual las disposiciones que se opongan, contradigan o sean incompatibles con ella quedan derogadas. Por todo ello, resulta necesaria la aprobación de esta Resolución que se encuentra relacionada con las solicitudes de autorización de las instalaciones o personas físicas o jurídicas que realizan operaciones con tratamientos de residuos.

- *Decreto 112/2004, de 29 de julio, por el que se regula el procedimiento y requisitos para el otorgamiento de las autorizaciones de gestión de residuos, y se crea el Registro de Gestores de Residuos de Canarias.*

El Decreto expuesto establece el régimen necesario para obtener la condición de gestor de residuos, así como la regulación para obtener, también, las autorizaciones pertinentes ambientales.

Asimismo, crea el Registro de Gestores de Residuos de Canarias, determinando su contenido y funcionamiento. La Administración será la encargada de inscribir en él a las personas jurídicas o físicas que realicen algún tipo de actividad en relación con la gestión de desechos.

- *Orden de 30 de diciembre de 2003, por la que se regulan los documentos a emplear por los gestores autorizados para las actividades de recogida y transporte de pequeñas cantidades de residuos peligrosos en Canarias.*

La finalidad de dicha Orden es la creación y regulación de documentos de recogida de pequeñas cantidades de residuos de naturaleza peligrosa con el objeto de supervisar los procesos. Además, la cumplimentación de esta Orden se realizará en el momento de entrega del residuo al gestor que esté autorizado para las actividades de recogida y transporte.

Es importante destacar que esta normativa solamente será de aplicación para la recogida de residuos peligrosos no superiores a 2.000 kilogramos.

2.3.4 Documentos de planificación.

- *Plan Integral de Residuos de Canarias.[8]. Consiste en un documento de referencia en el ámbito autonómico relacionado con la gestión de residuos, aprobado mediante el Decreto 161/2001, de 30 de Julio.* El Plan expone unas actividades jerarquizadas para la mejora de la gestión de los residuos.
 - Reducción de la producción de residuos, desarrollando o potenciando aquellas actuaciones que minimicen la cantidad de residuos generados, bien por menor empleo de materiales, mediante cambios introducidos en los procesos productivos, o porque permitan un mejor uso de los mismos
 - Reducción de la producción de residuos, desarrollando o potenciando aquellas actuaciones que minimicen la cantidad de residuos generados, bien por menor empleo de materiales, mediante cambios introducidos en los procesos productivos, o porque permitan un mejor uso de los mismos.
 - Reutilización, reciclado y valorización de los productos contenidos en los distintos tipos de residuos, dentro de los habituales esquemas de gestión para estas actividades.
 - Eliminación de las fracciones de residuos que no puedan ser valorizados de manera segura para la salud, tanto de las personas, como del medioambiente.

- *Plan Nacional Integrado de Residuos*. Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015.

3 Procesos de tratamientos de residuos.

3.1 Técnicas de tratamiento.

Existe una gran diversidad de tratamientos de residuos, en función de sus características y utilidades, así como la influencia de la aceptación social de los mismos. Algunos de los métodos actuales que existen son el compostaje, la digestión anaerobia, la pirolisis, la combustión, la gasificación y los rellenos sanitarios.

Es importante elegir adecuadamente el tratamiento para cada tipo de residuos, para reciclarlo o eliminarlo de manera definitiva, ya que no todas las técnicas son válidas para todas las tipologías de desechos.

Hay que destacar que las técnicas de compostaje y digestión anaerobia solamente actúan sobre residuos orgánicos. El compostaje desarrolla un proceso biológico aeróbico o anaeróbico, desarrollado mediante la actuación de los microorganismos sobre la materia biodegradable; obteniendo, de este modo, compost, el cual es un excelente abono, además de biogás.

Los rellenos sanitarios, también denominados vertederos, son espacios destinados para depositar los residuos. Muchos tipos de estos desechos no pueden ser tratados de esa manera, fundamentalmente los catalogados como residuos peligrosos.

3.1.1 Incineración.

Este tratamiento consiste en la destrucción de los residuos por acción de las altas temperaturas. En la incineración se da la combustión, reacción química en la que se produce una oxidación total en exceso de oxígeno.

La temperatura de este proceso oscila entre los 900 °C y 1200 °C. El exceso de oxígeno durante la reacción es requerido, para así, verificar que se produce una oxidación completa.

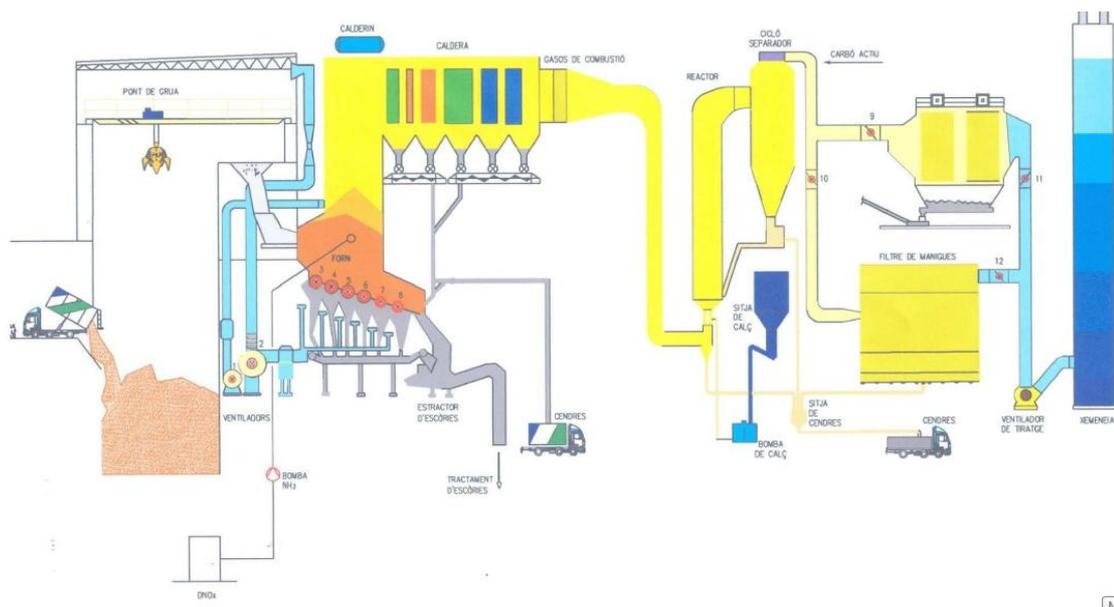


Figura 3.1.1 Diagrama de proceso de incineración en una planta de tratamiento de residuos. [16]

Esta técnica de tratamiento de residuos posee algunas desventajas, ya que como resultado del proceso se obtienen gases de combustión, compuestos fundamentalmente por CO₂, H₂O, O₂ no reaccionado, N₂ procedente del aire empleado para la reacción, así como otros compuestos en menores proporciones, procedentes de la composición de los residuos.

3.1.2 Pirólisis.

La pirolisis es una de las tecnologías alternativas para el tratamiento de residuos. Aún se encuentra en desarrollo tecnológico y en continua investigación. Su objetivo es disminuir el volumen de estos desechos, transformándolos en materiales sólidos, líquidos o gaseosos, de modo que su disposición se realice de la forma más ecológica posible. Algunos de estos materiales resultantes poseen propiedades energéticas, o pueden ser utilizados como materias primas en algunas industrias.

La pirólisis se entiende como un proceso físico-químico que provoca la descomposición del material orgánico de los residuos por la acción del calor, ambientado en una atmósfera deficiente de oxígeno. Estos residuos se transforman en una mezcla líquida de hidrocarburos, gases combustibles, residuos secos de carbón y agua.

El resultado final de este proceso no es la eliminación total de los residuos, como hemos mencionado, sino la reducción de su volumen, así como la obtención de subproductos.

3.2 Tecnología de plasma.

La tecnología de plasma nos ofrece una solución viable ante la problemática social de la acumulación de residuos, así como a la escasez de los recursos naturales. La investigación de esta tecnología podría ser la solución a la situación en la que está sumergida la sociedad actual por las numerosas ventajas que presenta.

La gasificación por plasma elimina las toxinas peligrosas, por lo que los riesgos a la salud y al medio ambiente quedan reducidos. La transformación de los residuos y desechos en una fuente alternativa de energía convierte a esta tecnología en una solución alentadora que puede paliar la realidad que se vive en dicho sector.

3.2.1 En qué consiste el plasma.

El plasma es conocido como el cuarto estado de la materia, un fluido con similitudes al gaseoso, donde una importante proporción de átomos o moléculas se encuentra en un estado ionizado, mostrando un comportamiento conjunto eléctricamente neutro.

El estado de plasma se obtiene haciendo pasar la corriente gaseosa, a baja presión, a través de un arco eléctrico, a través de un arco eléctrico, de manera que la energía eléctrica que es generada por el arco, se transfiere como energía térmica a las moléculas del gas. Debido a este proceso, las moléculas del gas resultan ionizadas. Cuando las moléculas recuperan su estado de relajación, producen la liberación de energía térmica.

3.2.2 Gasificación por plasma.

El tratamiento de residuos con plasmas térmicos es una técnica de gasificación donde la fuente del proceso de calentamiento es un arco de plasma creado con electricidad. El calor de proceso es independiente del contenido calorífico de los residuos, por lo que un rango mucho más amplio de flujo de desechos puede ser tratado, incluyendo aquéllos que son muy húmedos para su combustión pero poseen altos valores de calentamiento.

La temperatura alcanzada con el método de gasificación por plasma es muy elevada, en comparación con la esperada con la incineración. Estas altas temperaturas son beneficiosas para la descomposición de químicos peligrosos. Además, este proceso tiende a un enfriamiento rápido de los gases de residuo, lo que limita la formación de componentes tóxicos, como las dioxinas.

La técnica de plasma convierte una conversión significativamente mayor de material orgánico en gas, así como, un mayor porcentaje de recuperación de calor y una menor necesidad de tratamiento de los gases residuales. Asimismo, las temperaturas tan elevadas de las que hablamos, permiten un tratamiento mejorado de los residuos inorgánicos que permanecen. Para separar los metales de otros componentes inorgánicos a través de la licuación, aumentando de esta manera el valor del flujo de desechos al reducir aún más el volumen de residuos.

Los residuos de naturaleza no metálica permanecen en la escoria fundida que ocupa un volumen pequeño, en comparación con procesos más convencionales como son la incineración o la pirólisis. Finalmente, es interesante agregar fundentes como calcitas y silicatos al flujo de desechos, con la finalidad de que, durante el proceso, los residuos sólidos se atrapen en una matriz de cerámica vidriosa en un proceso denominado vitrificación. Éstos, han demostrado unos niveles muy reducidos de lixiviación, generalmente, inferiores a los requeridos por ley, por lo que pueden usarse en un relleno sanitario, o como agregado en construcción.

La gasificación es un proceso termodinámico que a través del cual, toda sustancia a la que se le aplique una cantidad suficiente de energía como para que los enlaces moleculares sean rotos, en una atmósfera reductora, se transforma en un gas de síntesis o en producto vítreo inerte.

El proceso de tratamiento de residuos con la tecnología de plasma se lleva a cabo en un gasificador, que consiste en un recipiente que trabaja en condiciones anóxicas a temperaturas extremadamente elevadas, que se alcanzan gracias al plasma. La materia que se manipula en el gasificar no es quemada, ya que trabaja en un ambiente con ausencia de oxígeno.

De esta manera, se obtiene combustible de calidad óptima y se favorece una mayor producción eléctrica.

Los productos resultantes de este proceso son:

- Gas de síntesis (syngas), compuesto principalmente de monóxido de carbono y de hidrógeno. Éste se deja enfriar y es purificado, para posteriormente poder ser utilizado en diversas industrias. Tradicionalmente, el mercado está focalizado en la producción de syngas como un paso intermedio a la obtención de determinados productos químicos como el amonio.

- Una lava fundida, que al ser enfriada, se transforma en una escoria inerte, generalmente vitrificada, denominada slag.

La mayoría de los residuos poseen materia orgánica e inorgánica en su composición. La parte orgánica se transformará en gas de síntesis, mientras que los componentes inorgánicos son fundidos en el interior y serán expulsados como escoria vitrificada fundida.

Los alquitranes existentes en el gas de síntesis rebajan la calidad e impiden el uso directo de éste en los motores de combustión. Por ello, las tecnologías que operan con menores temperaturas son capaces de eliminar los alquitranes, pero provocan una reducción del poder calorífico inferior y dan lugar a subproductos que deben ser trasladados a vertederos.

En esta etapa los alquitranes se convierten en una cantidad extra de combustible. Las elevadas temperaturas generadas por las antorchas rompen las cadenas de los alquitranes en otras mucho más cortas y estables, formadas por monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂).

La gasificación realizada con la tecnología de plasma se distingue de la gasificación convencional en la temperatura, esta última opera en un intervalo de temperaturas que oscila entre los 800 °C y 900 °C.

El gasificador por plasma (perteneciente en nuestro caso a la casa Westinghouse) trabaja a temperaturas cercanas a los 3000 °C. El gas de síntesis se expulsa a una temperatura de 950 °C y la escoria a 1650 °C aproximadamente. Las temperaturas tan elevadas de la tecnología de plasma tienen como consecuencia la completa destrucción de los alquitranes.

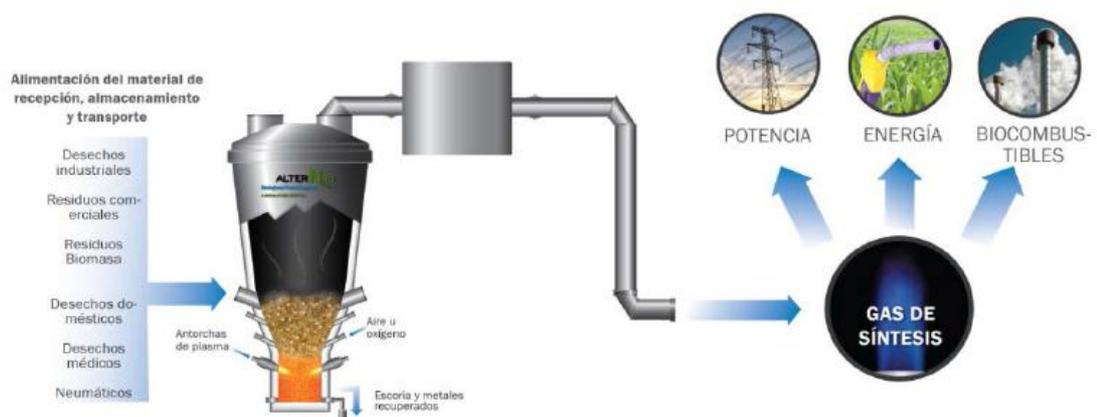


Figura 3.2.2. Esquema de la tecnología de plasma. [21]

La gasificación más convencional, sin tecnología de plasma, tiene unas aplicaciones más limitadas, ya que no es factible eliminar los alquitranes del gasificador. Se puede realizar su combustión directamente, pero no se puede realizar su acondicionamiento para ser utilizado en motores alternativos, turbinas de gas o conversión en combustibles líquidos.

El gas de síntesis tiene que ser sometido a un proceso de limpieza para eliminar el polvo que posee, y otros elementos no deseados, como puede ser el mercurio. De este modo

puede ser transformado en otras formas de energía, como calor, electricidad y combustibles líquidos. Este proceso de limpieza se proyecta de manera particular, según las necesidades de cada caso concreto, aunque, generalmente, el proceso incluye la eliminación de partículas y metales pesados, o la separación de estos últimos.

3.2.3 Métodos para generar, mantener y enfriar el plasma caliente.

La planta de tratamiento de residuos por el método de plasma debe contener numerosos subsistemas, en función del flujo de desechos.

El plasma térmico puede ser generado a partir de un gas de trabajo (aire, argón o vapor, por ejemplo) por descarga de arco de corriente directa o alterna; con el plasma adoptando forma de columna de un gas conductor de electricidad entre dos electrodos; alternativamente podría realizarse con una inducción de radio frecuencias.

Existe la posibilidad de generar la descarga a través de microondas, aunque resulta un método poco eficiente y, a menudo, poco económico en el tratamiento de residuos, exceptuando la eliminación de algún líquido altamente peligroso a pequeña escala.

3.2.3.1 Tipos de arcos eléctricos.

Distinguimos dos configuraciones en los arcos de descarga: arcos transferidos y arcos no transferidos. El primer tipo se caracteriza debido a que el arco se mantiene entre uno o más electrodos capacitivos y el material a tratar. Podrían ser usados varios electrodos capacitivos, permitiendo diversos arcos entre los desechos y los electrodos; o por el contrario, un funcionamiento del arco con suministro de corriente alterna o trifásica. En el caso de que los desechos no fueran conductores, existen opciones como insertar metal, una serie de arcos entre los electrodos capacitivos, o un pequeño arco no transferido con la finalidad de aumentar la temperatura de los desechos hasta que se vuelvan lo suficientemente conductores para transformarse en el electrodo principal.

Por otro lado, el arco no transferido, que es en el que nos centraremos, se caracteriza porque éste es generado con una antorcha de plasma, que a su vez emite un chorro de plasma. El material a tratar puede ser introducido hacia abajo con el chorro que sale de la antorcha o hacia arriba del arco si se puede hacer fluir. Los residuos pueden ser expuestos directamente al plasma, obteniendo de este modo, la atomización de los desechos.

La antorcha de plasma, generalmente, consiste en un conjunto cerrado de electrodos cilíndricos con el chorro de plasma empujado por una boquilla gracias al efecto de fuerzas magnetohidrodinámicas, que actúan sobre el cuerpo del arco. El arco dentro de la antorcha puede ser alimentado con corriente alterna o continua, e incluso, en algunas ocasiones, con una inducción de radiofrecuencia para generar un chorro de plasma.

Un inconveniente de la implementación de las descargas producidas por arcos es el desgaste y corrosión que afecta a los electrodos debido a las elevadas temperaturas que experimentan por los fundentes y a los químicos existentes en los gases calientes presentes alrededor del arco. Como consecuencia, los electrodos necesitan, con regularidad, un enfriamiento activo y/o un reemplazo regular. Se podrían llegar a alcanzar

vidas útiles de hasta 1000 horas en el caso de que el aire funcione como gas de trabajo en diseños especiales.

3.2.3.2 Consideraciones del gas de trabajo.

El gas de trabajo es, en definitiva, aquél que se usa para generar el plasma y constituye las especies principales de iones en el arco de plasma y los radicales en los gases calientes próximos al arco. El gas de trabajo puede repercutir en el desgaste de los electrodos. Los gases más utilizados son el argón, el aire, el nitrógeno y el dióxido de carbono.

El argón, de manera común, es utilizado como gas de trabajo en experimentos gracias a su naturaleza químicamente inerte y su reducido calor específico, que colabora con la prolongación de la vida útil del electrodo. Sin embargo, suele producirse una menor transferencia de energética a los desechos y posee un elevado precio, por lo que, en pocas ocasiones suele resultar rentable, ya que no se puede recuperar fácilmente de los gases residuales.

El gas de trabajo más comúnmente utilizado es el aire, tanto por motivos económicos como por disponibilidad del mismo. El inconveniente es que el uso del aire se traduce en un alto contenido de nitrógeno en los gases residuales, por lo que consecuentemente se reduce la densidad energética (energía por metro cúbico) que puede repercutir negativamente en la posterior generación de energía eléctrica o térmica a partir de ellos. Asimismo, se podría utilizar oxígeno puro como gas de trabajo, tanto como solución a este inconveniente como para minimizar el flujo total de gas, si así se desea. Sin embargo, puede producirse corrosión de los electrodos y el revestimiento de los tanques del reactor debido a las elevadas concentraciones de oxígeno.

La densidad de potencia del chorro puede ser incrementada usando como gas de trabajo el nitrógeno o el dióxido de carbono, gracias a un mayor voltaje de arco de estos gases. Otra opción es el uso de plasmas de vapor, ya que presentan de igual manera un alto voltaje de arco, pero mayormente por su mezcla de hidrógeno, oxígeno y radicales de hidroxilo que permiten reacciones químicas con un impacto beneficios en la implantación de los desechos. Lamentablemente, estos últimos gases son especialmente corrosivos para los electrones

3.2.3.3 Enfriamiento y control de residuos.

Es importante el proceso de enfriamiento para poder comprender el beneficio del tratamiento de plasma respecto a otros tratamientos térmicos más convencionales. Conocemos que la generación de moléculas complejas a través de reacciones químicas heterogéneas en los gases de producto durante los procesos de incineración y de pirólisis se produce por el equilibrio térmico y químico entre las moléculas causadas por los desechos y la temperatura de los gases. Si existen concentraciones en los residuos suficientemente altas de halógenos, como el cloro, flúor y bromo, se pueden formar contaminantes persistentes como son las dioxinas y furanos. La técnica de plasma, al trabajar a temperaturas extremadamente elevadas, descompone estos químicos tan rápido como se producen.

Particularmente, en los casos de tratamiento de residuos con plasma térmico, la región de alta potencia del arco se encuentra focalizada lo suficiente para que los materiales pasen un relativo corto periodo de tiempo en el arco y así, se enfríen con rapidez. Esto provoca que el flujo de los gases residuales pueda estar más controlado y, lo más importante, dicho flujo posee un gradiente de temperatura muy robusto. Este enfoque permite que se produzca un rápido enfriamiento cercano a la temperatura ambiente. Existe un gran control sobre los productos en los gases residuales gracias a la limitación de tiempo para que estos alcancen el equilibrio térmico-químico. Esta característica permite minimizar las emisiones tóxicas al privar la formación de dioxinas y furanos de la combustión parcial de los compuestos halogenados.

En proceso de enfriamiento se puede llevar a cabo con un arco no transferido, donde el gas es inyectado hacia arriba de la antorcha de plasma, permitiendo una expansión adiabática rápida del flujo del gas residual o pasando los gases por un refrigerante como el agua, que será nuestro caso. El proceso podría ser combinado con un proceso de lavado húmedo con la finalidad de eliminar cualquier partícula sólida; además, químicos como el agua de cal o el hidróxido de sodio se pueden añadir para neutralizar los ácidos halógenos que puedan resultar.

Hay que tener en cuenta que este proceso puede generar desechos en forma de agua contaminada con torta de filtro. Posiblemente, este aspecto del procesamiento sea clave para la rentabilidad de los tratamientos con la técnica de plasma, en comparación con otros métodos térmicos más convencionales.

Tabla 3.2.3.3. Resumen de las instalaciones operativas y nuevas instalaciones. [1]

| | INSTALACIONES OPERATIVAS | | | NUEVAS INSTALACIONES | |
|------------------------------------|--|-------------------------------------|---|----------------------------|---|
| | Mihama-Mikata | Maharashtra Enviro Power Ltd (MEPL) | Planta para la energía renovable de Tees Valley | Kaidi Sunshine Energy Park | Shanghai Chengtoun (Shanghai Environmental) |
| Ubicación | Mihama, Japón | Pune, India | Tees Valley, Inglaterra | Wuhan, Hubei, China | Shanghai, Jinagding, China |
| Propietario | | SMSIL | Air Products | Wuhan Kaidi | GTS |
| Capacidad (tpd) | 24 | 72 | 1000 | 150 | XX |
| Materia prima | 20 tdp (RSU) y 4 tdp (lodos de depuración) | Desechos peligrosos varios | RSU organizados | Residuos de madera mixta | Residuos médicos/ Cenizas volantes de incinerador |
| Fecha de puesta en marcha | 2002 | 2009 | 2014 | Cuarto trimestre-2012 | Cuarto trimestre-2013 |
| Rendimiento y configuración | Calor-caldera | Potencia-caldera | Potencia-ciclo combinado | Etanol-catalizador | Vapor y escoria inerte |

Existen diversas plantas ya operativas que funcionan con la tecnología de plasma llevada a cabo por Westinghouse Plasma. A pesar de tratarse de un sistema de innovación en el tratamiento de residuos y desechos, estos centros operan en excelentes condiciones. Se encuentran sometidos a una continua investigación, con el objetivo de aumentar el conocimiento sobre el uso de esta técnica, así como para optimizar al máximo este tipo de centros y obtener más beneficios.

Cada vez son más los países que, concienciados sobre la crisis que les podría acarrear una mala gestión de los residuos, se animan a la inversión en nuevas tecnologías del tratamiento de los mismos.

3.2.4 Ventajas de la tecnología de gasificación por plasma.

Como hemos descrito, el uso de la tecnología de plasma para el tratamiento de residuos presenta múltiples ventajas. Éste es un proceso que se encuentra en continua investigación, aunque muchos de sus beneficios son más que visibles.

- A diferencia de la tecnología convencional, es capaz de tratar eficientemente toda clase de residuos: tóxicos, médicos, sólidos municipales, industriales, biológico-infecciosos e incluso, algún desecho de baja radiación.
- Como resultante a este proceso obtenemos subproductos gaseosos y sólidos, que son potencialmente reciclables. El componente gaseoso puede ser transformado en combustible y la parte sólida posee numerosas aplicaciones, entre ellas la de materia prima para grava de las carreteras.
- Estos subproductos hacen que se minimicen los costes de uso de la tecnología, debido a las múltiples aplicaciones que tienen.
- No se generan cenizas, ni dioxinas, ni furanos, por lo que presenta una innovación muy beneficiosa en el tratamiento de residuos para la salud y el medioambiente.
- Al no producirse cenizas, no son necesarios vertederos para la acumulación de las mismas.
- Las altas temperaturas provocan la desintegración de las moléculas orgánicas. La única mezcla que permanece es la de H_2 y CO . El gas resultante (syngas), una vez limpio, tiene una composición similar a la del gas natural, que puede ser quemado en una turbina de gas con la finalidad de producir energía.

Una vez limpio, el gas de síntesis puede obtener una composición muy positiva respecto a la emisión de componentes contaminantes, existiendo una mínima concentración de éstos. El syngas puede llegar a adoptar las especificaciones que se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.2.4-1 Especificaciones del gas de síntesis. Fuente: [1]

| ELEMENTO | ESPECIFICACIONES |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Azufre | < 20 ppm |
| Metales alcalinos | < 1 ppm |
| Metales volátiles | < 1 ppm |
| Halógenos | < 1 ppm |
| Partículas de materia | < 20 ppm |
| Valor calorífico del gas de síntesis | 7-12 MJ/Nm ³ |

- Se produce una reducción volumétrica de residuos abismal, mientras que en la incineración convencional la proporción es menor.
- Mientras exista algo de flexibilidad en los sistemas de manejo de la materia prima, los propietarios de las instalaciones de gasificación por plasma pueden modificar la naturaleza de la materia prima durante la vida útil de la planta con la finalidad de aprovechar aquéllos materiales cuyas tasas de entrada sean más elevadas.
- Una consultora independiente, Scientific Certification System, realizó un estudio en 2010 comparando las emisiones de efecto invernadero generadas por una planta de plasma de ciclo combinado, una incineradora y un vertedero, a lo largo de su ciclo de vida.

Los resultados de los análisis revelaron que el sistema de gasificación de ciclo combinado de plasma produce menores emisiones de efecto invernadero que el resto de los sistemas evaluados. Además, las emisiones resultantes eran casi semejantes a las de una planta de gas natural de ciclo combinado.

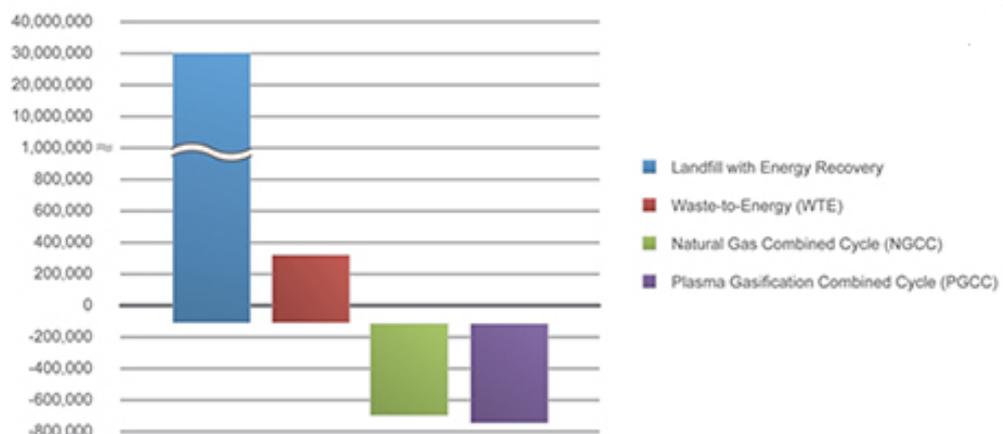


Figura 3.2.4- Emisiones de diferentes centros de tratamiento de residuos. [1]

Se observa que se produce una reducción de las emisiones, de las cantidades reducidas de desechos sólidos que deben ser depositados en vertederos y de las emisiones de efecto invernadero.

- Obtenemos como subproducto escoria vitrificada, que es inerte y segura para ser usada como agregado o para otras aplicaciones. Este material no contamina el agua ni el suelo.

Las partículas son eliminadas aguas abajo del gasificador en las plantas de gasificación de Westinghouse. A pesar de ello, dichas partículas pueden ser recuperadas de nuevo en el gasificador para su posterior destrucción (y consecuente recuperación de energía), por lo que no es un subproducto que requiera eliminación.

Tabla 3.2.4 –2 Valores de la composición del slag tomados de la planta de Mihama Mikata. [1]

| Metales pesados | Unidades | Valor promedio de slag |
|-----------------|----------|------------------------|
| Arsénico | mg/L | < 0,001 |
| Cadmio | mg/L | < 0,001 |
| Cromo | mg/L | < 0,005 |
| Plomo | mg/L | < 0,001 |
| Mercurio | mg/L | < 0,0001 |
| Selenio | mg/L | < 0,001 |

Suponiendo que dichas partículas son recicladas en el gasificador, menos del 2% del material introducido en la planta de gasificación será enviado a vertedero. Por el contrario, en una incineradora son llevados el 20% o 30% de residuos

Los valores de componentes contaminantes en el slag vitificado alcanzan valores mínimos, por lo que no se puede considerar un material de naturaleza contaminante.

El tratamiento de residuos mediante la tecnología de plasma ha demostrado numerosos beneficios, mayoritariamente, en el ámbito medioambiental, siendo éste uno de los más afectados, tanto por el tratamiento de desechos como las consecuencias negativas que tiene la acumulación de los mismos.

Además, la obtención de fuentes energéticas alternativas, tan demandadas y cada vez más necesarias, procedentes de materiales que, en un principio, ya no tenían utilidad aporta un atractivo especial a este método de tratamiento de residuos.

Las ventajas que esta técnica nos ofrece han sido demostradas y puestas de manifiesto, pero no deja de ser un tratamiento innovador que se encuentra en continua investigación y estudio.

3.2.5 Comparativa de la tecnología de plasma con la incineración.

En la siguiente tabla realizamos un pequeño resumen sobre los beneficios de la tecnología de plasma frente a un sistema más conocido y convencional, como es la incineración, para así poder ver reflejado los beneficios que nuestra tecnología puede presentar.

Se observa en la tabla adjunta, que los principales beneficios son: su reducido carácter contaminante y la obtención de subproductos con propiedades muy interesantes.

Las emisiones de gases realizadas a la atmósfera poseen una cantidad de partículas contaminantes mínimas, así como la no existencia de dioxinas y furanos en dicho proceso, cuya naturaleza tóxica les caracteriza por ser contaminantes ambientales persistentes.

Tabla 3.2.5- Comparativa de las tecnologías de plasma e incineración. [1]

| | Tecnología de plasma | Incineración |
|---|---|--|
| Flexibilidad de materia prima | Capacidad de mezcla de materias primas: <ul style="list-style-type: none"> • Residuos sólidos urbanos • Residuos industriales y comerciales • Neumáticos • Residuos peligrosos • Biomasa | Residuos sólidos urbanos y flujos de desechos comunes. |
| Combustible resultante | Gas de síntesis | No aplicable |
| Posibles usos de los productos resultantes | <ul style="list-style-type: none"> • Alimentación para un ciclo de vapor • Obtención de energía a través de ciclos combinados o motores alternativos | <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de energía a través del ciclo Rankine |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Combustibles líquidos • Obtención de hidrógeno • Fertilizantes compuestos | <ul style="list-style-type: none"> • Aplicación en procesos de vapor |
| | | |
| | | |
| Emisiones | En un proceso de ciclo combinado: <ul style="list-style-type: none"> • Óxidos de nitrógeno (Nox): < 36 ppm | <ul style="list-style-type: none"> • Óxidos de nitrógeno (Nox): 110-205 ppm |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Dióxido de azufre (SO₂): < 1,05 ppm | Dióxido de azufre (SO ₂): 26-29 ppm |
| | <ul style="list-style-type: none"> • Mercurio (Hg): < 1,4 mg | Mercurio (Hg): 28-80 mg |
| | | |
| Dioxinas y furanos | Gracias a las extremadamente altas temperaturas de trabajo, eliminamos las dioxinas y furanos, así como, la posibilidad de creación de las mismas. | La presencia de oxígeno, cloro y partículas, crea las condiciones idóneas para la formación de dioxinas y furanos. |
| Subproducto | Inertes, no peligrosos y aptos para la venta y posterior uso como materia prima (la escoria vítrea en la construcción, por ejemplo) | Gran producción de cenizas, además de residuos de cierta peligrosidad. |

Las dioxinas y furanos tienen un elevado número de consecuencias negativas, tanto para la salud como para el medioambiente. Pueden llegar a desarrollar problemas de reproducción y desarrollo y afección al sistema inmunológico, causando de este modo, patologías graves. La mayoría de las veces llegan a los seres humanos en la cadena alimentaria, por lo que una medida para evitar la exposición a las mismas sería su reducción en el origen, minimizando sus emisiones.

4 Estudio de la planta.

4.1 Estudio de la localización de la planta.

Nuestro objetivo es el de situar la planta de tratamiento de residuos en la mejor localización posible. En nuestro caso, nos encontramos ante una situación de gran complejidad, debido a que la totalidad de la isla está reconocida como Reserva de la Biosfera y en centro de ésta se encuentra el Parque Nacional de la Caldera de Taburiente. Por estas razones, tenemos que situar nuestro centro de tratamiento de residuos en un lugar que provoque el mínimo impacto.

Para ello, vamos a proceder al estudio de los centros de tratamiento de residuos que existen en La Palma, ya que la metodología de plasma para el tratamiento de estos productos se encuentra en estado de regulación y de aplicación de las regulaciones legales ineludibles.

La Ley Canaria de Residuos 1/1999 de 29 de enero, en su artículo 26.4 establece la obligatoriedad de que todos los Cabildos Insulares dispongan en cada isla de un área suficientemente extensa denominada Complejo Ambiental de Residuos, adecuadamente equipada en función de las necesidades insulares, con los equipamientos mínimos que se requieran para el tratamiento de los residuos que en cada caso correspondan. Asimismo, en dicha Ley en el artículo 26.5 se establece la obligación de todos los cabildos insulares de disponer de un área denominada vertedero, integrada en el Complejo Ambiental, adecuadamente equipada para el almacenamiento de aquellos residuos que, técnica o ambientalmente así lo requieran.

En el país, la investigación y el desarrollo de la tecnología de plasma como tratamiento de los residuos solamente la lleva a cabo la empresa Westinghouse. Aún no existe ninguna planta de estas características en funcionamiento en España, por lo que no serán realidad hasta dentro de unos años.

Existe un rechazo social muy fuerte a la instalación de este tipo de centros, por lo que es de gran importancia que la elección de la localización sea la más adecuada, para que las consecuencias para los habitantes sean mínimas. Para ello, utilizaremos como criterio de selección el Método de Factores Ponderados o Método Multicriterio. Esta técnica se basa en la introducción de factores, a los que se les asigna una importancia, que nos ayudarán en la toma de la decisión.

Hemos determinado los siguientes factores como los más relevantes

- Existencia de buenas vías de comunicación para los transportes, tanto a la salida como a la entrada de la planta.
- Cercanía a los núcleos urbanos, la valoración será más positiva cuanto más lejos estén de éstos.
- Se valorará de forma positiva la posibilidad de ampliación de la planta.
- La oposición social.
- Afectación al medioambiente.
- Cercanía a otros centros de tratamiento de residuos.

Como hemos dicho con anterioridad, asignamos un peso concreto a cada factor, que será determinado dependiendo de la importancia que posea para los objetivos del proyecto a realizar.

Tabla 4.1-1 Valores de peso otorgados a los diferentes factores en la elección de la localización.

| Factor | Peso |
|--------------------------|------|
| Vías de comunicación | 15 |
| Cercanía núcleos urbanos | 20 |
| Posible ampliación | 15 |
| Oposición social | 20 |
| Medioambiente | 20 |
| Cercanía a otros centros | 10 |

Elaboramos una escala del uno al cinco (siendo 1 una calificación deplorable, y 5 excelente), que valore cuál de las localizaciones es mejor para situar nuestra planta. La cercanía a otros centros, las vías de comunicación, la cercanía a núcleos urbanos y la capacidad de ampliación las valoramos a través de herramientas como satélites y mapas. La oposición social será puntuada analizando la reacción de la población ante proyectos llevados ya a cabo en zonas próximas. Realizamos un estudio exhaustivo de la zona para poder evaluar una posible afectación al medioambiente.

En la isla de La Palma se han declarado los siguientes espacios naturales protegidos (según el artículo 48.6 del Decreto Legislativo 1/2000) [7]:

Tabla 4.1.-2 Espacios naturales protegidos de la Isla de La Palma.

| CÓDIGO | CATEGORÍA | NOMBRE | SUPERFICIE |
|--------|-----------------------------|---------------------------|------------|
| P-0 | Parque Nacional | La caldera de Taburiente | 4690 ha |
| P-1 | Reserva Natural Integral | Pinar de Garafía | 984,1 ha |
| P-2 | Reserva Natural Especial | Guelguén | 1 ha |
| P-3 | Parque Natural | Las Nieves | 5094 ha |
| P-4 | Parque Natural | Cumbre Vieja | 7499,7 ha |
| P-5 | Monumento Natural | Montaña de Azufre | 75,2 ha |
| P-6 | Monumento Natural | Volcanes de Aridane | 100,4 ha |
| P-7 | Monumento Natural | Risco de la Concepción | 66,1 ha |
| P-8 | Monumento Natural | Costa de Hiscaguán | 253,3 ha |
| P-9 | Monumento Natural | Barranco del Jorado | 98,7 ha |
| P-10 | Monumento Natural | Volcanes de Teneguía | 857,4 ha |
| P-11 | Monumento Natural | Tubo volcánico de Todoque | 0,5 ha |
| P-12 | Paisaje Protegido | Idafe | 0,4 ha |
| P-13 | Paisaje Protegido | El Tablado | 221,9 ha |
| P-14 | Paisaje Protegido | Barranco de las Angustias | 1695,5 ha |
| P-15 | Paisaje Protegido | Tamanca | 2007,4 ha |
| P-16 | Sitio de interés científico | El Remo | 182,9 ha |
| P-17 | Sitio de interés científico | Juan Mayor | 29,4 ha |
| P-18 | Sitio de interés científico | Barranco del Agua | 74,6 ha |
| P-19 | | Salinas de Fuencaliente | 7 ha |

La Isla de La Palma está declarada Reserva de la Biosfera, por lo que la extensión de sus espacios naturales protegidos es elevada. Para causar el menor impacto posible, así como, minimizar las consecuencias que la instalación de un centro de este tipo pueda causar, realizamos un exhaustivo análisis y estudio de las zonas protegidas existentes.

A continuación, se muestran mapas de la isla de La Palma, señalando la ubicación de Lugares de Importancia Comunitaria (LICs), así como, las zonas de especial conservación para las aves y aquéllas zonas más desfavorecidas. Nuestro objetivo es la adaptación del paisaje de la Palma a la humanización de la forma menos agresiva posible.

Tras un análisis detallado, teniendo en cuenta los valores de peso que hemos adoptado, llegamos a la conclusión de que la zona más óptima para la implantación de una planta de este tipo es Villa de Mazo. Concretamente, la localización de la planta de tratamiento de residuos por medio de la tecnología de gasificación de plasma se encontrará próxima al Complejo Ambiental de Los Morenos, que se encuentra situado al suroeste de la isla de La Palma.

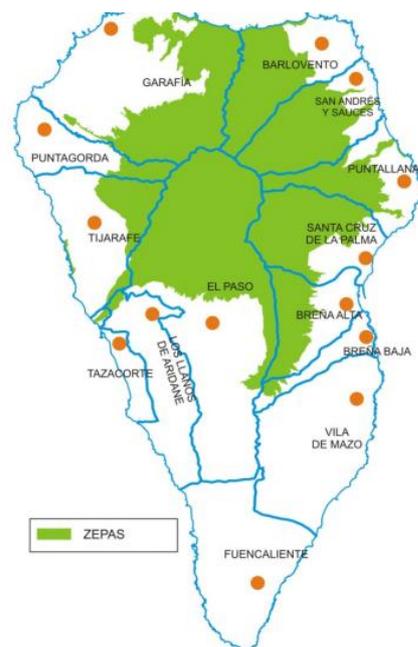


Figura 4.1-1 Mapa de la isla de La Palma de Zonas de Especial Conservación para las Aves (ZEPAS) [6]

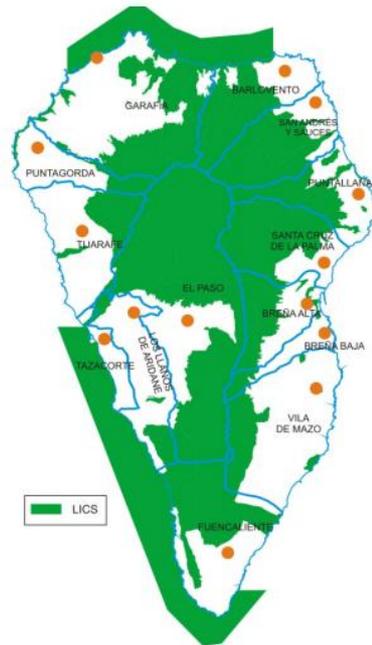


Figura 4.1-2 Mapa de la isla de La Palma de Lugares de Importancia Comunitaria (LICS). [6]

Finalmente, la elección de esta ubicación viene determinada por su buena comunicación, su cercanía a otro centro de tratamiento de residuos y la lejanía a núcleos de población, con el objetivo de minimizar la repercusión negativa en la población. Observando los mapas adjuntos donde se señalan las ZEPAS y LICS, garantizamos que la zona elegida como localización para nuestro centro de tratamiento de residuos por la tecnología de plasma no está catalogada como Espacio Natural Protegido, respetando de este modo, el medioambiente y reduciendo las posibles consecuencias que podrían existir.



Figura 4.1-3 Localización del centro de tratamiento de residuos por plasma.

4.2 Capacidad.

Con datos relevantes sobre la generación de residuos, concretamente procedentes del platanero, en la isla de La Palma, realizamos una aproximación referente a la cantidad de residuos que se tratarán al día en la planta. Conocemos que, aproximadamente, se generan al año 356.400 toneladas al año de residuos originarios del platanero.

Dimensionaremos nuestro centro de tratamiento de tal manera que pueda trabajar unas 150 toneladas al día. Existe la posibilidad de ampliación de hasta 250 toneladas al día.

Estimamos que la planta de tratamiento de residuos se encontrará operativa unos 335 días al año, dejando los otros 30 restantes para trabajos de mantenimiento y reparaciones.

Teniendo en cuenta los datos a los que hemos hecho referencia, 150 toneladas al día y una actividad de 335 días al año, obtenemos que al año se tratan, de forma aproximada, 50.250 toneladas de residuos, que representa el 60 por ciento de su capacidad total, ya que teniendo en cuenta la posibilidad de ampliación existente, ascendería la cifra a 83.750 toneladas al año.

Trabajaremos con la suposición de que el centro trata con 50.250 toneladas al año, sin valorar la posibilidad de ampliación que existe.

4.3 Estudio del proceso.

La tecnología de plasma para el tratamiento de residuos, al ser un proceso tan innovador, no posee un transcurso definido. Cada una de las empresas que se han aventurado a investigar en esta técnica, ha desarrollado su propia metodología.

Concretamente, nosotros nos centraremos en el proceso llevado a cabo por Westinghouse Plasma Corporation, ya que son los que más experiencia tienen en este sector.

Los desechos son entregados a las instalaciones de recepción de la planta, cuya capacidad de almacenamiento es de varios días. A estas instalaciones llegan, además, el coque y el fundente, que son encargados de alimentar el gasificador de manera simultánea con los residuos.

El objetivo del material fundente es el de establecer el correcto flujo de escoria, generalmente se trata de caliza molida. Estos tres materiales se cargan en una tolva, cuya finalidad es la de alimentar el gasificador. Según el tamaño que posean los residuos, éstos tienen que ser triturados en el sitio o no.

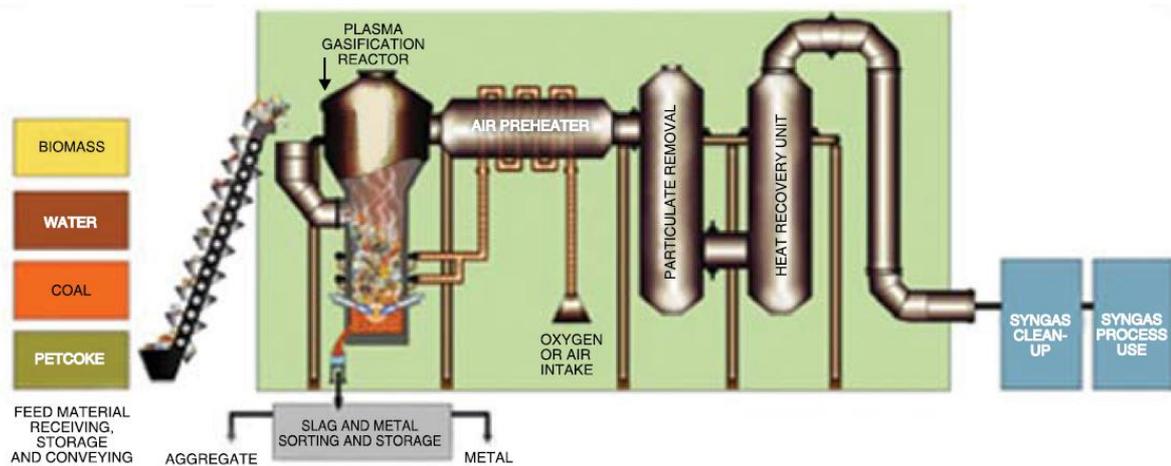


Figura 4.3- Proceso de gasificación de residuos por la tecnología de plasma. [21]

La parte orgánica de los residuos es transformada en gas de síntesis (syngas) en el interior del gasificador. En la parte superior del gasificador se refrigera parcialmente el syngas mediante agua atomizada, previamente a su salida (a una temperatura, aproximadamente, de 850 °C), a través de dos boquillas.

La escoria fundida que se forma fluye a través de los orificios de colado que existen en la parte inferior del gasificador. Dicha escoria es enfriada y granulada a la salida del mismo. Los productos resultantes son transportados y cargados en camiones para su posterior transporte.

A continuación, nuestro objetivo es eliminar las partículas de materia que arrastra el gas de síntesis. Para ello, utilizamos un sistema venturi cáustico de enfriamiento rápido y un depurador. Posteriormente, pasará a través de un precipitador electrostático húmedo.

Sometemos a unos determinados procesos de limpieza al producto refrigerado y al gas de síntesis con la finalidad de eliminar elementos como el cloro, el azufre, el cadmio, el mercurio, el plomo y el zinc. Para eliminar la humedad del gas, nos basamos en las fases de compresión intermedia y enfriamiento.

El syngas resultante limpio se conduce a un compresor de múltiples etapas y enviado, posteriormente, a una turbina de gas con el objetivo de producir energía eléctrica. Mediante un generador de vapor de recuperación de calor nos es posible recuperar el calor del gas de la turbina de combustión. Este vapor, que procede de la caldera de recuperación, puede ser combinado para la producción de energía eléctrica, haciéndolo pasar por una turbina de vapor de etapas múltiples.

Otra opción para este gas de síntesis ya limpio, es su uso en motores alternativos, o una elección muy interesante es su conversión en combustibles líquidos, a través de una serie de tecnologías de conversión existentes [14].

4.3.1 Características y componentes del proceso.

4.3.1.1 Reactor de gasificación.

Detallamos las características que presenta el reactor de gasificación que vamos a utilizar en el desarrollo de la implantación de nuestra planta de tratamiento de residuos.

Tabla 4.3.1.1 Valores pertenecientes al reactor de gasificación.

| | Modelo de reactor de gasificación W-15 |
|--|--|
| Capacidad con aire (t/día) | Valores de hasta 140 |
| Capacidad con oxígeno (t/día) | Valores de hasta 290 |
| Syngas resultante (Nm ³ /h) | 15.000 |
| Diámetro externo (m) | 6 |
| Altura del depósito (m) | 15 |

4.3.1.2 Antorcha de plasma.

El sistema de antorcha de plasma consiste en un arco eléctrico que calienta el gas, que puede ser empleado en procesos industriales a altas temperaturas. La energía del proceso es proporcionada por el arco eléctrico.

Las antorchas de plasma tienen la capacidad de incrementar la energía del proceso de dos a diez veces, en comparación con los sistemas convencionales de combustión.

El sistema de arco de plasma cuenta con los siguientes elementos: la propia antorcha de plasma, sistema de control e instrumentación, tiristor que suministre la potencia, sistema de enfriamiento de agua y un proceso de abastecimiento de gas. Es importante la integración adecuada de los sistemas para asegurar un rendimiento óptimo del sistema. Más adelante explicaremos detalladamente cada uno de estos elementos.

- La antorcha de plasma es el centro del sistema, pero posee varios subsistemas que son necesarios para llevar a cabo correctamente las operaciones de la misma.
- Para suministrar corriente continua a la antorcha, utilizamos un tiristor que nos proporciona potencia.
- Es necesario un sistema de control, con el objetivo de variar los parámetros y entrelazar los sistemas de suministro de potencia, gas y energía.
- El gas es proporcionado por un compresor de gas o almacenamiento del mismo.
- Los electrodos de la antorcha se enfrían mediante un sistema de enfriamiento con agua a elevadas presiones.

Una antorcha de plasma [15] se basa en un par de electrodos enfriados por agua y separados estrechamente. Existe, dentro de cada uno de los electrodos, una descarga de

arco eléctrico, que gira magnéticamente a revoluciones extremadamente altas. El gas de proceso es inyectado en la parte superior de la antorcha a través de una separación milimétrica existente entre los electrodos.

Cuando se activa la fuente de alimentación, una chispa inicia el arco entre los electrodos. El arco es dispersado inmediatamente al interior del electrodo por la actuación del gas de proceso entrante. Una bobina, colocada alrededor de ambos electrodos, genera un campo magnético que interactúa con la corriente del arco, haciendo girar el arco en, aproximadamente, 1000 revoluciones por segundo. [12]

Factores como las altas velocidades de rotación del arco y las elevadas tasas de flujo de gas, aportan una transferencia de calor mayor entre el arco eléctrico y el proceso de entrada de gas. Este procedimiento, muy eficiente, colabora con la maximización de la vida del electrodo.

El proceso de sobrecalentamiento del gas se produce como resultado de la interacción entre el arco y el gas, alcanzando las temperaturas necesarias para que se desarrolle de modo eficaz.

La antorcha está conectada con el horno a través de una brida de montaje. El gas de proceso, el suministro de potencia y el agua de refrigeración interactúan con la antorcha en el extremo superior de la cubierta externa. Todas estas conexiones han sido diseñadas de este modo, con el objetivo de facilitar el montaje y desmontaje.

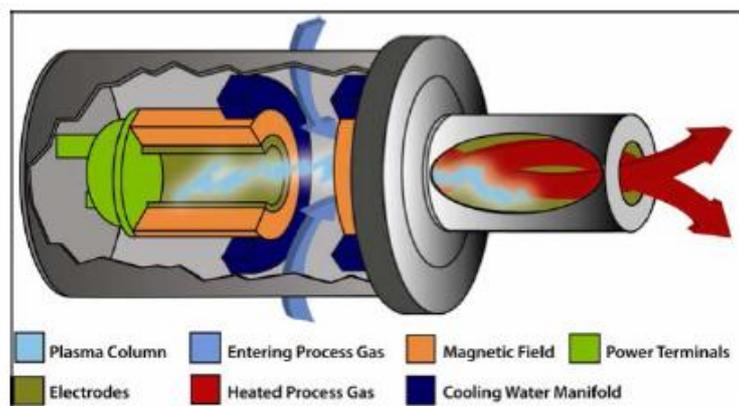


Figura 4.3.1.2 - Antorcha de plasma. [1]

El servicio de la antorcha se centra en el electrodo, el reemplazo del sello del electrodo y una prueba de fugas mediante agua a presión. Personal de servicio que se encuentre perfectamente capacitado podría realizar el mantenimiento rutinario en un intervalo de tiempo que oscila entre los 30 y 60 minutos.

4.3.1.3 Tiristor de suministro de potencia.

La antorcha de plasma se encuentra conectada a un tiristor de suministro de potencia que proporciona una salida de corriente continua. En función de la tensión de entrada, se incluye un contador para el control y la protección independiente. Existe un interruptor de accionamiento manual para la protección del personal durante el mantenimiento de las instalaciones.



Figura 4.3.1.3 – Tiristor de suministro de potencia. [1]

La estabilidad del arco está proporcionada por el inductor, que aporta la impedancia del sistema. La construcción de la fuente de alimentación de manera modular por tiristores provoca la reducción del conjunto de usuarios y su tiempo de instalación, además de la mano de obra y el coste de los materiales. Se elimina la necesidad de un transformador con aislamiento de relleno de aceite, gracias a la refrigeración por agua.

Todos los dispositivos son ensamblados y probados de fábrica. El armario es suministrado, asiduamente, para su uso en interiores con puerta y paneles de junta. Puede equiparse, además, con calentadores y un armario impermeable para el servicio al aire libre, si así lo requiere.

4.3.1.4 Sistema de instrumentación y de control.

Las operaciones de los subsistemas de plasma son controladas y entrelazadas para permitir el desarrollo de una operación simple y segura de todo el sistema de plasma. El sistema de control consiste en un dispositivo que posee los controles del enfriamiento del flujo de agua, el flujo de gas, la potencia a suministrar, determinados parámetros del sistema, así como unos componentes encargados de la protección de la fuente de alimentación.



Figura 4.3.1.4 - Sistema de instrumentación y control. [1]

El circuito de control dispone de alarmas para proteger la integridad del suministro de potencia y sus elementos. Además, un sistema de enclavamiento mecánico es utilizado con la finalidad de evitar la secuencia incorrecta de trabajo del o el acceso a los aparatos eléctricos mientras esté en funcionamiento.

4.3.1.5 Abastecimiento de gas.

La velocidad del flujo de gas depende de la composición de dicho gas (que en nuestro caso será oxígeno) y de los requisitos específicos del proceso.

La presión del gas puede variar durante el proceso, aunque debe haber una presión de entrada mínima, cuyo valor oscila entre las 6-7 atmósferas. Este sistema incluye un filtro de partículas. Además, existen alarmas ante un flujo de gas demasiado bajo, o presiones o temperaturas inoportunas.



Figura 4.3.1.5 - Sistema de abastecimiento de gas. [1]

4.3.1.6 Sistema de refrigeración por agua.

Es necesario un sistema de refrigeración por agua para proporcionar un flujo de agua a alta velocidad, con el objetivo de conservar los elementos de la antorcha de plasma a una temperatura de funcionamiento adecuada y reducir, también, el desgaste del electrodo.



Figura 4.3.1.6- Sistema de refrigeración por agua. [1]

La configuración del sistema consiste en un ciclo cerrado con una bomba y un intercambiador de calor. La temperatura del agua de entrada puede ser de hasta 115 °. Se requiere que el intercambiador tenga una capacidad máxima para disipar el equivalente al 30 por ciento de la potencia pico de la antorcha. El sistema cuenta, además, con un método de deionización, un tanque, el filtro y conexiones para el agua de circulación. El diseño del mismo incluye medidores de presión y válvulas e interruptores convenientes.

Con el objetivo de proteger la antorcha de plasma en caso de que ocurriera un fallo en el sistema, existe una fuente de agua de emergencia que circula con, al menos, el 10 por ciento del agua de refrigeración.

4.3.2 Diagrama del proceso de gasificación por plasma.

Se detalla, a continuación, el proceso a modo de esquema, que desarrolla el sistema de tratamiento de residuos por la técnica de gasificación por plasma.

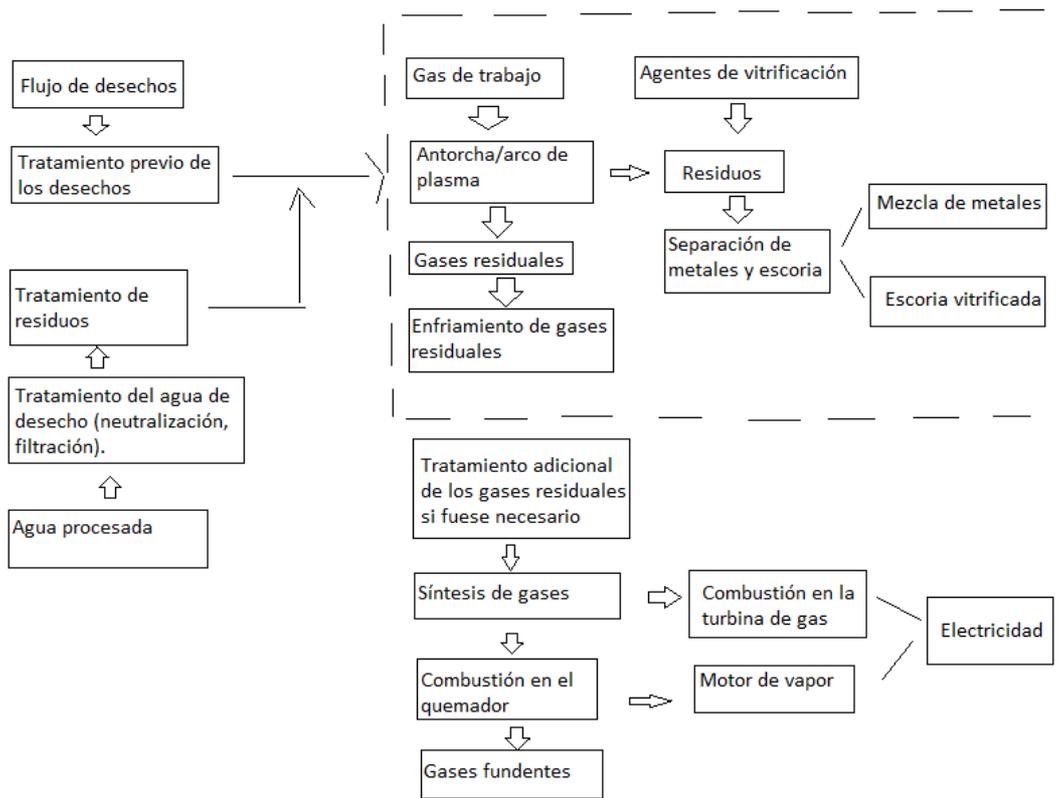


Figura 4.3.2 Proceso de gasificación por plasma.

4.3.3 Producción de energía.

Para la producción de energía elegimos una turbina de gas General Electric GE Frame 6581B. Al tratarse de una tecnología poco desarrollada nos hemos decantado por este tipo de turbina, ya que es la recomendada por la marca Alter NRG [11].

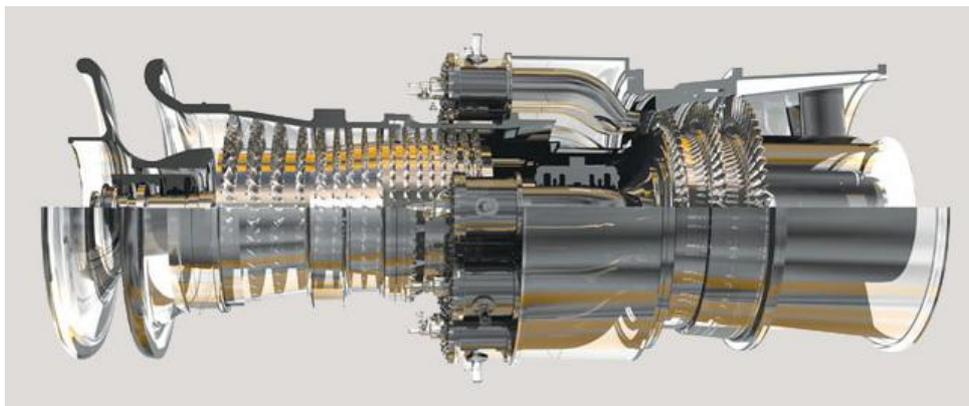


Figura 4.3.3-1 Turbina de gas GE Frame 6581B de General Electric.

Detallamos, a continuación, mediante una tabla explicativa las características que presenta la turbina de gas que vamos a emplear.

Tabla 4.3.3 Propiedades de la turbina de gas.

| Propiedades | Turbina GE6581B |
|-------------------------|--------------------------------|
| Frecuencia (Hz) | 50-60 |
| Compresor | 17 estados |
| Intervalo de combustión | 24.000 horas/ 800 encendidos |
| Vida del rotor | 200.000 horas/5.000 encendidos |
| Output (MW) | 43 |
| Eficiencia térmica | 33,1 |

Dicha turbina satisface los requisitos de calidad impuestos por la norma ISO 9001:2000. Además se realizan test para comprobar la eficacia de la misma: test de sobrevelocidad y carga máxima; test de funcionamiento, ruido y emisiones; equilibrado del rotor y test de velocidad máxima. El software de la turbina GE 6581B sufre un exhaustivo análisis de control antes del envío.

La turbina de gas [13] es la encargada de la generación de electricidad gracias al vapor recuperado en los procesos de gasificación, así como, en la propia turbina de gas. Elegiremos una turbina de la misma marca, serie G de General Electric, debido a que, como hemos dicho antes, es la recomendada por Alter NRG.

Dicha maquinaria es idónea para los sistemas de cogeneración y ha sufrido unos profundos controles que hacen que cumpla con todas las exigencias de calidad.

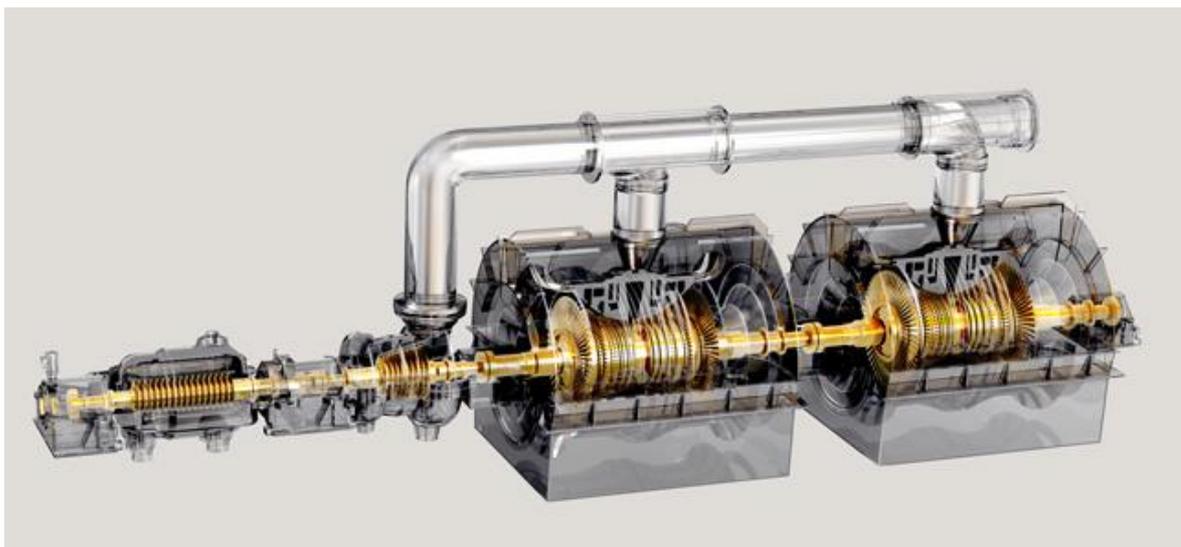


Figura 4.3.3 – 2 Turbina de vapor de General Electric

4.4 Mano de obra.

Calcularemos de manera aproximada la cantidad de trabajadores que van a formar parte de la plantilla del centro de tratamiento de residuos por la tecnología de plasma. Para realizar esta estimación nos basamos en diversos aspectos, como son la cantidad de desechos que vamos a tratar, la duración de la jornada y los días laborales, así como, en plantas ya operativas que trabajen con la tecnología impuesta por Alter NRG y Westinghouse.

Tabla 4.4 Mano de obra del centro de tratamiento de residuos

| Puesto en la planta | Nº de empleados |
|---------------------------------|-----------------|
| Jefe de planta | 1 |
| Responsable de comercialización | 1 |
| Jefe de mantenimiento | 1 |
| Capataz | 7 |
| Administrativo | 8 |
| Operario | 40 |
| Seguridad | 4 |
| Limpieza | 8 |

En la tabla reflejamos el número de trabajadores que formarán parte del equipo técnico de nuestra planta. A partir de estos valores llevaremos a cabo el estudio de la viabilidad económica de nuestro proyecto.

5 Estudio de la viabilidad económica.

Con el análisis de la viabilidad económica queremos detallar la conveniencia de la realización del proyecto o no. Para ello, estudiaremos los aspectos que poseen relación con el capital necesario para llevar a cabo la implantación del centro de tratamiento de residuos.

Trabajamos atendiendo a la premisa de que el centro se encuentra operativo 335 días al año tratando una cantidad diaria de, aproximadamente, 150 toneladas.

El crédito inicial se realizará con la ayuda de un préstamo equivalente al 55% de la inversión inicial que hemos realizado para poner en marcha nuestro proyecto.

5.1 Inversión inicial.

Detallaremos por partes los gastos iniciales necesarios a realizar, obteniendo así el capital total perteneciente a la inversión inicial.

5.1.1 Adquisición de terrenos.

La extensión de la planta de tratamiento de residuos será de, aproximadamente 25.000 m². El centro lo situaremos próximo al Complejo Ambiental “Los Morenos”, en Villa de Mazo, isla de La Palma. Tomaremos como precio del m² 250 €, después de realizar una comparativa de la demanda del terreno en dicha zona.

$$25\ 000\ m^2 * 250\ €/m^2 = 6\ 250\ 000\ €$$

Con estos valores llegamos a la conclusión de que el coste relacionado con el terreno sería de unos 6.250.000 €.

5.1.2 Obra civil.

Engloba el desarrollo de infraestructuras en relación con la construcción de la planta de tratamiento de residuos y su posterior explotación. En este caso el capital destinado a la edificación se destinará a la obra del edificio de producción, edificio de administración, áreas auxiliares (como vestuarios y servicios), almacén de coque, almacén de caliza y cobertizo de slag vitrificado.

Además, incluiremos la instalación eléctrica, el alumbrado (tanto exterior como interior y de emergencia), sistema contra incendios y la instalación de redes de agua y desagües.

Tabla 5.1.2 Capital a invertir perteneciente a la obra civil.

| Obra civil | Precio |
|------------------------------------|--------------------|
| Construcción | |
| Edificio de producción | 1 000 000,00 € |
| Edificio de administración | 100 000,00 € |
| Áreas auxiliares | 10 000,00 € |
| Almacén de coque | 15 000,00 € |
| Almacén de caliza | 15 000,00€ |
| Almacén de slag vitrificado | 15 000,00€ |
| Instalaciones | |
| Instalación eléctrica | 110 000€ |
| Red de desagües | 70 000 € |
| Alumbrado exterior | 120 000 € |
| Alumbrado interior y de emergencia | 75 000 € |
| Sistema contra incendios | 100 000 € |
| Acondicionamiento del terreno | 40 000 € |
| TOTAL | 1 670 000 € |

5.1.3 Dispositivos y aparatos.

Referido a la adquisición de la maquinaria necesaria para el correcto funcionamiento del centro de tratamiento.

Tabla 5.1.3 Capital perteneciente a la adquisición de dispositivos y aparatos.

| Maquinaria | Precio |
|-------------------------------|----------------------|
| Arco de plasma | 20 922 640,00 € |
| Sistema de separación de aire | 1 192 480,00 € |
| Turbina de gas | 8 017 800,00 € |
| Turbina de vapor | 4 963 400,00 € |
| Tolva | 20 000,00 € |
| Cinta transportadora | 2 000,00 € |
| Compresor de gas de síntesis | 1 603 560,00 € |
| TOTAL | 36 721 880, € |

5.1.4 Otras adquisiciones.

Detallaremos, a continuación, el capital a invertir perteneciente a otros útiles no nombrados anteriormente.

Tabla 5.1.4 Capital perteneciente a la obtención de otras adquisiciones.

| Otras adquisiciones | Costes |
|---------------------------|--------------------|
| Útiles y mobiliario | 8 000,00 € |
| Dispositivos informáticos | 20 000,00 € |
| Otro tipo de aplicaciones | 15 000,00 € |
| TOTAL | 43 000,00 € |

5.1.5 Inversión inicial total.

Con todos estos valores obtenidos, procedemos a calcular la inversión total inicial, reflejada en la tabla adjunta.

Tabla 5.1.5 Capital perteneciente a la inversión inicial total.

| INVERSIÓN INICIAL | Costes |
|-------------------------|------------------------|
| Obtención de terrenos | 6 250 000,00 € |
| Obra civil | 1 670 000,00 € |
| Dispositivos y aparatos | 36 721 880,00 € |
| Otras adquisiciones | 43 000,00 € |
| TOTAL | 44 684 880,00 € |

5.2 Costes

Analizamos, parte por parte, el capital que pertenece a los costes que se producen en nuestra planta de tratamiento cada año que se encuentra operativa. No tenemos en cuenta tasas de inflación, suponemos que son lineales para simplificar la estimación realizada.

5.2.1 Costes directos.

Las materias primas en el centro de tratamiento de residuos consisten, en definitiva, en los desechos mismos. Por lo que los costes directos son más reducidos en comparación con otro tipo de industrias. Es destacable que para el correcto funcionamiento del proceso es necesario añadir coque y slag a la vez que los residuos.

Conocemos que las proporciones de adición son 4% de coque y 7,9% de piedra caliza. Por lo que, sabiendo que la cantidad de residuos total a tratar al año es de 50.250 toneladas, realizamos el siguiente cálculo.

$$50\,250 * 0,04 = 2\,010 \text{ toneladas de coque}$$

$$50\,250 * 0,079 = 3\,969,75 \text{ toneladas de piedra caliza}$$

Tabla 5.2 – 1 Costes pertenecientes a la obtención de materias primas.

| | Cantidad | Precio por tonelada | Precio total |
|-------------------|------------|---------------------|---------------------|
| Polvo de caliza | 3 969,75 € | 8,20 € | 32 551,95 € |
| Coque metalúrgico | 2 010,00 € | 130,48 € | 262 264,80 € |
| TOTAL | | | 294 816,75 € |

Tabla 5.2 – 2 Consumos pertenecientes a instalaciones determinadas del centro.

| | Unidades | Consumo (kWh/día) | Horas de trabajo (h/día) | Horas de trabajo al año | Factor de funcionamiento | Consumo anual (kWh/año) |
|-------------------------|----------|-------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Separación de aire | 1 | 100 | 24 | 8 040,00 | 0,90 | 723 600,00 |
| Antorchas de plasma | 4 | 130 | 24 | 8 040,00 | 0,70 | 2 926 560,00 |
| Sistema de limpieza | 1 | 100 | 24 | 8 040,00 | 0,90 | 723 600,00 |
| Turbina de vapor | 1 | 300 | 24 | 8 040,00 | 0,50 | 1 206 000,00 |
| Turbina de gas | 1 | 300 | 24 | 8 040,00 | 0,50 | 1 206 000,00 |
| Instalaciones generales | 1 | 100 | 24 | 8 040,00 | 0,70 | 562 800,00 |
| Tolva | 2 | 10 | 24 | 8 040,00 | 0,90 | 144 720,00 |
| Cinta transportadora | 2 | 3 | 24 | 8 040,00 | 0,80 | 38 592,00 |
| TOTAL | | 1 043 | | | | 7 531 872,00 |

Tabla 5.2 – 3 Consumos unitarios.

| | |
|--|---------|
| Consumo unitario (€) | 149,888 |
| Consumo unitario sin instalaciones generales (€) | 138,688 |

Tabla 5.2 – 4 Costes asociados a la plantilla del centro.

| COSTES FIJOS | Unidades | Periodo (meses) | Precio (ud/mes) | Total |
|---------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------------|
| Jefe de planta | 1 | 12 | 3 300,75 € | 39 609,00 € |
| Resp. de comercialización | 1 | 12 | 2 550,00 € | 30 600,00 € |
| Resp. de mantenimiento | 1 | 12 | 2 050,25 € | 24 603,00 € |
| Capataz | 7 | 12 | 1 500,00 € | 126 000,00 € |
| Administrativo | 8 | 12 | 1 300,00 € | 124 800,00 € |
| Operario | 40 | 12 | 1 250,00 € | 600 000,00 € |
| Seguridad | 4 | 12 | 1 150,00 € | 55 200,00 € |
| Limpieza | 8 | 12 | 1 150,00 € | 110 400,00 € |
| TOTAL | | | | 1 111 212,00 € |

Tabla 5.2 – 5 Costes dependientes de un periodo de tiempo determinado.

| GASTOS DEL PERÍODO | Período (meses) | Precio/ud/mes | Total |
|---|-----------------|---------------|---------------------|
| Mantenimiento útiles y maquinaria | 12 | 30 000,00 € | 360 000,00 € |
| Limpieza | 12 | 550,00 € | 6 600,00 € |
| Sistema contra incendios | 12 | 1 250,00 € | 15 000,00 € |
| Material de oficina | 12 | 450,00 € | 5 400,00 € |
| Plan de Prevención de Riesgos Laborales | 12 | 280,00 € | 3 360,00 € |
| Telefonía | 12 | 300,00 € | 3 600,00 € |
| TOTAL | | | 393 960,00 € |

5.3 Ingresos.

Vamos a analizar los ingresos del centro de tratamiento de residuos. Existen diversas fuentes de ingresos de la planta a tener en cuenta: procedentes de la recepción de residuos de biomasa, de la venta del slag vitrificado, producto del tratamiento con el arco de plasma; y la venta a la red de energía eléctrica.

Calcularemos dichos ingresos (Anexo II) ,en referencia al primer año y supondremos que cada año se obtienen los mismos ingresos, sin tener en cuenta las tasas de inflación que existirían. Tendremos en cuenta que está previsto que la planta trate 50.250 toneladas de residuos al año.

Realizando las operaciones necesarias (Anexo II), de suma de las diferentes vías de ingresos de la empresa (recepción de los residuos, venta de la energía sobrante obtenida por cogeneración y la venta de la escoria vitrificada o slag), obtenemos que el valor de los ingresos anuales es de 16.209.740,91 €, suponiendo que cada año obtenemos la misma cantidad de capital.

5.4 Financiación.

Conocemos que la inversión inicial va a ser financiada con un préstamo que cubre el 55% de este valor. La cantidad correspondiente a la inversión inicial es de 44.684.880 €. El valor del préstamo será de 24.576.684,00 €, que serán devueltos en 8 años con una tasa de interés fijo del 4,5%.

$$44\,684\,880\ \text{€} * 4,5\% = 2\,010\,819,60\ \text{€}$$

5.5 Amortizaciones.

Definimos amortización como un proceso de distribución a lo largo del tiempo de un valor duradero. En concreto, realizaremos la amortización a ocho años. Consideramos la amortización con un valor perteneciente al 20% del capital de inversión propia, es decir, de 20.108.116 €.

5.6 Depreciación.

La depreciación será del 20% sobre la inversión inicial procedente del préstamo, es decir, tendrá un valor de 4.915.336,80 €.

5.7 Cash flow

El flujo de cajas es el resultado de la suma de los beneficios después de la aplicación de los impuestos y la amortización. Tomamos el valor de los impuestos como un 30%.

Tabla adjunta del proceso de obtención del flujo de cajas en el Anexo III, el valor obtenido es de un flujo lineal de 6.914874,44 €.

5.8 VAN

Con los datos de flujos de caja, vamos a realizar el VAN (Valor Actual Neto). Este procedimiento nos permite hacer una valoración en la posible inversión a realizar. Si el resultado de este proceso es positivo, la realización del proyecto sería viable económicamente.

Los cálculos se han llevado a cabo con una tasa de descuento del 5%, debido a que el valor tomado por empresas semejantes en este tipo de actividades, a la hora de realizar su viabilidad económica.

$$VAN = -44\,684\,880 + \frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^3} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^4} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^5} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^6} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^7} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^8}$$

$$VAN = 4\,428,52 \text{ €}$$

El resultado del VAN es positivo, por lo que nuestro proyecto es óptimo económicamente hablando.

5.9 TIR (Tasa Interna de Retorno).

El TIR es un método indicador de la rentabilidad de un proyecto. Mediante una aplicación existente en el programa de cálculo Excel, obtenemos directamente el valor del TIR, a partir de los flujos de caja calculados anteriormente.

Tabla 5.9 – Valores de flujos de caja y obtención del TIR.

| AÑO 0 | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 | AÑO 8 |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| -44 684 880 | 6 914 874,44 | 6 914 874,44 | 6 914 874,44 | 6 914 874,44 | 6 914 874,44 | 6 914 874,44 | 6 914 874,44 | 6 914 874,44 |
| TIR | | 5,0041% | | | | | | |

El valor del TIR es mayor que la tasa de descuento, en nuestro caso del 5%, por lo que nos muestra que nuestro proyecto es aceptable, a nivel económico.

5.10 Pay-back.

El Pay- back, también denominado periodo de maduración, es un método mediante el cual las empresas pueden hacer una estimación del tiempo necesario para poder recuperarse de una inversión inicial.

Analizamos año a año, aquél en el que obtengamos un resultado mayor a la inversión inicial realizada en un primer momento, será el año en el que nuestro proyecto comience a darnos beneficios.

- Año 1

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} < 44\,684\,880$$

- Año 2

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} < 44\,684\,880$$

- Año 3

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^3} < 44\,684\,880$$

- Año 4

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^3} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^4} < 44\,684\,880$$

- Año 5

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^3} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^4} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^5} < 44\,684\,880$$

- Año 6

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^3} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^4} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^5} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^6} < 44\,684\,880$$

- Año 7

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^3} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^4} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^5} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^6} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^7} < 44\,684\,880$$

- Año 8

$$\frac{6\,914\,874,44}{1,05} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^2} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^3} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^4} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^5} \\ + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^6} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^7} + \frac{6\,914\,874,44}{1,05^8} > 44\,684\,880$$

Analizando los resultados, se llega a la conclusión de que la implantación de nuestra planta de tratamiento de residuos por medio de la tecnología de plasma comienza a aportarnos beneficios a partir del año 8.

6 Análisis y conclusiones.

Realizando un exhaustivo estudio de la sociedad actual se ve el claro reflejo de que la evolución económica de una nación va ligada, en la mayoría de los casos, de una mayor generación de residuos, como consecuencia de ello. Hasta hace, relativamente poco tiempo, no ha sido un tema que haya recibido la importancia que necesitaba y, prácticamente, la única forma de almacenar estos desechos consistía en su almacenaje en vertederos, sin valorar ni tener en cuenta las consecuencias negativas medioambientales que conllevaba. Muchos de los residuos que eran almacenados en estos rellenos sanitarios podían tener cierto grado de peligrosidad y no se apreciaba el riesgo que eso puede acarrear.

La acumulación descontrolada de los residuos puede llegar a provocar serios problemas, afectando a la población. Además, si no se toman las medidas adecuadas llegará un momento que la acumulación alcanzaría niveles incontrolables. Por ello, es necesario un tratamiento más eficaz de los mismos frente a su depósito en vertederos.

Debido a esto, se piensa que es necesario manejar los desechos de tal manera que se eliminen, o se reduzcan notablemente en volumen y cantidad. Una opción realmente interesante es la de considerar el residuo como recurso, ante una sociedad que padece una gran necesidad energética. La obtención de material combustible por medio de los residuos podría ser una de las técnicas más revolucionarias en el ámbito de la ciencia, ya que podría solucionar dos contrariedades muy problemáticas.

Actualmente, existen varias técnicas de tratamiento de residuos, como son la incineración, pirólisis y la tecnología de plasma, que hemos desarrollado en el presente proyecto. Esta última técnica presenta numerosas ventajas frente a los métodos convencionales: es más respetuosa con el medioambiente y tiene la posibilidad de obtención de combustible a partir de sus subproductos con más poder energético que los obtenidos con otras tecnologías de tratamiento de desechos.

El tratamiento de residuos por medio de la tecnología de plasma tiene el pequeño inconveniente de que es un método de innovación y relativamente nuevo, por lo que su implantación genera un primer rechazo en la sociedad, por miedo a las posibles consecuencias que lo desconocido puede producir.

Actualmente no hay ninguna planta en nuestro país que opere con el procedimiento expuesto, pero aquéllas existentes en el ámbito internacional han dado unos resultados óptimos tanto energéticamente hablando como en materia de calidad. A pesar de ello, es conveniente un continuado estudio y análisis de esta tecnología para poder sopesar todas las posibles situaciones de riesgo que podrían existir en torno a un tema tan delicado, como es el del tratamiento de los desechos por medio del plasma.

Por todo ello, se concluye que la técnica de tratamiento de residuos por plasma es una interesante opción como método para obtener fuentes alternativas de energía, ante una nación que tiene, a grandes rasgos, una gran dependencia energética del exterior. Ciertamente, que al tratarse de un sistema innovador, las inversiones realizadas para la implantación del mismo son elevadas, aunque, como hemos comprobado, rentables a la larga.

Lista de referencias

- [1] *Alter NRG Corporation. Waste to Energy*. 2014 [Consulta 08-05-2014]. Disponible en: <http://www.alternrg.com/>
- [2] Gobierno de Canarias. *Avance del Plan Territorial Especial de Ordenación de Infraestructuras Energéticas de la Isla de La Palma*. Memoria de información. 09-2007.
- [3] Gobierno de Canarias. *Plan territorial especial de residuos de La Palma*. Memoria de información y diagnóstico, documento de aprobación inicial en el pleno extraordinario del 11 de octubre de 2012. Diagnóstico y Estrategia. 2012, pp 190-213.
- [4] Bhasin, K.C. *Electronics for you: Plasma arc gasification for waste management*. 02-2009, pp 123-130.
- [5] Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático. *Protocolo de Kioto*. 1997.
- [6] Domínguez San Luis, Francisco Miguel; Hernández Cabrera, Luis Miguel; Castillo García, Nieves. *Plan comarcal de desarrollo rural LEADER Isla de La Palma (2008-2013)*. Volumen I. 17-10-2014
- [7] España. Boletín Oficial del Estado. 2014
- [8] España. Canarias. Boletín Oficial de Canarias. 2014
- [9] Eurostat. *Generación de residuos en países de la Unión Europea*. 2004-2010.
- [10] Instituto Nacional de la Estadística. 2014
- [11] Monje Cillero, Beatriz. *Análisis de viabilidad de una planta de tratamiento de residuos tipo III por plasma*. Dirigido por José María Rodríguez Fernández. 2011.
- [12] *NRG Focus: A global outlook*. Revista científica. 12-2010, pp 10-11.
- [13] *NRG Focus: A global outlook*. Revista científica. 03- 2011, 7-8.

[14] *NRG Focus: A global outlook*. Revista científica. 06-2012, pp 6-7.

[15] *NRG Focus: A global outlook*. Revista científica. 04-2013, pp 13-14.

[16] SIRUSA. Serveis d'Incineració de Residus Urbans SA. Empresa pública de recogida de Residuos Urbanos de Tarragona. 2014.

[17] Taboada González, P. ; Aguilar-Virgen, Q. ; Armijo de Vega, C. (2009). *La tecnología de plasma y residuos sólidos*. Ingeniería, Revista Académica de la FI-UADY, 13-2, pp. 51-56, ISSN: 1665-529X.

[18] Hoornweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. *What a waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Annex E .Availability of MSW Data by Country. Informe del Banco Mundial.

[19] Hoornweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. *What a waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Annex N. Estimated Solid Waste Management Costs. Informe del Banco Mundial. 2012

[20] Hoornweg, Daniel; Bhada-Tata, Perinaz. *What a waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Estimated Solid Waste Management Costs. Informe del Banco Mundial. 2012, pp 30-31.

[21] Westinghouse Plasma Corporation, a division of Alter NRG Corporation. *Plasma torches by Westinghouse Plasma Corporation*. 01-2014

Anexo C. Tabla resumen de obtención del flujo de cajas o cash flow.

| | AÑO 0 | AÑO 1 | AÑO 2 | AÑO 3 | AÑO 4 | AÑO 5 | AÑO 6 | AÑO 7 |
|---|------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Inversión inicial | -44 684 880,00 € | | | | | | | |
| Ingresos | | 16 209 740,91 € | 16 209 740,91 € | 16 209 740,91€ | 16 209 740,91 € | 16 209 740,91 € | 16 209 740,91 € | 16 209 740,91 € |
| Costos | | -2 033 620,93 € | -2 033 620,93 € | -2 033 620,93 € | -2 033 620,93 € | -2 033 620,93 € | -2 033 620,93 € | -2 033 620,93 € |
| Financiación | | -1 105 950,78 € | -1 105 950,78 € | -1 105 950,78€ | -1 105 950,78 € | -1 105 950,78 € | -1 105 950,78 € | -1 105 950,78 € |
| Amortización (20%) | | -4 021 639,20 € | -4 021 639,20 € | -4 021 639,20 € | -4 021 639,20 € | -4 021 639,20 € | -4 021 639,20 € | -4 021 639,20 € |
| Depreciación | | -4 915 336,80 € | -4 915 336,8 € | -4 915 336,8€ | -4 915 336,8 € | -4 915 336,8 € | -4 915 336,8 € | -4 915 336,8 € |
| Beneficio (antes de impuestos) | | 4 133 193,20 € | 4 133 193,20 € | 4 133 193,20 € | 4 133 193,20 € | 4 133 193,20 € | 4 133 193,20 € | 4 133 193,20 € |
| Impuestos | | 1 239 957,96 € | 1 239 957,96 € | 1 239 957,96€ | 1 239 957,96 € | 1 239 957,96 € | 1 239 957,96 € | 1 239 957,96 € |
| Beneficio (después de impuestos) | | 2 893 235,24 € | 2 893 235,24 € | 2 893 235,24 € | 2 893 235,24 € | 2 893 235,24 € | 2 893 235,24 € | 2 893 235,24 € |
| Cashflow | | 6 914 874,44 € | 6 914 874,44 € | 6 914 874,44€ | 6 914 874,44 € |
| Valor del préstamo | -24 576 684,00 € | | | | | | | |

