

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

**GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE GASIFICIÓN POR PLASMA DE RESÍDUOS
SÓLIDOS URBANOS EN LA REGIÓN DEL BIO-BIO**

Memoria de Titulación para optar al Título de
Ingeniero (E) Mecánica de Procesos Y
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Levi Andrés Alarcón Cárdenas

Profesor Guía:

Víctor Hugo Valdebenito Cartes

2021

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado a todas las personas que me han apoyado en este difícil proceso, en primera instancia a mi padre y madre que siempre creyeron en mí y me han entregado las herramientas para poder superar cada obstáculo que se me ha presentado.

Agradecer también a mis tíos, primos, amigos y a la Universidad Técnica Federico Santa María junto a todos sus docentes y funcionarios por brindarme la oportunidad de estudiar una carrera profesional.

Además, mencionar la ayuda brindada por mi profesor guía Víctor Valdebenito Cartes quien siempre mostró buena disposición ante mis inquietudes.

En última instancia expresar mi enorme cariño hacia mi familia en especial a mis hermanos Benjamín y Martina quienes siempre han sido mi motivación para seguir adelante junto a mis padres Carlos Alarcón Espinoza y Tatiana Cárdenas Garcés.

RESUMEN

En este trabajo se presenta la gasificación de los residuos sólidos urbanos (RSU) a base de plasma, como una propuesta para generar energía y a su vez atacar la crisis ambiental por la que cruza nuestro país y el mundo.

En este momento gran parte de los rellenos sanitarios en Chile se encuentran operando, sobreexcediendo su capacidad de almacenaje y vida útil. Trayendo consigo grandes consecuencias en el impacto ambiental, a esta problemática se le suma la gran cantidad de vertederos ilegales y microbasurales ubicados generalmente en los sectores más vulnerables, donde en nada ayuda al progreso de dicha porción del país.

Se describirá a fondo cada parte del proceso utilizando los residuos sólidos urbanos y residuos peligrosos como combustible para la generación de energía eléctrica, el aprovechamiento de la escoria producida, pros y contras de la gasificación por plasma al igual que el estudio de mercado y análisis de la problemática para dar la solución más acertada con el sistema propuesto en la actualidad y sus perspectivas futuras.

Dentro de los contaminantes presentes en el gas, este trabajo se centra en la depuración del ácido sulfhídrico, H₂S. Para este caso, se estudia la eficacia que presentan solventes convencionales como la dolomita y los óxidos de cinc, y las condiciones de operación más favorables para cada uno de ellos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
OBJETIVO GENERAL	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO I: GENERACIÓN DE ENERGÍA EN CHILE.....	3
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN	4
1.2 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA EN CHILE	5
1.3 DEMANDA MÍNIMA Y MÁXIMA DE ENERGÍA.....	7
1.4 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	8
1.4.1 RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN CHILE.....	8
1.5 MARCO LEGISLATIVO EN CHILE, SOBRE EL MANEJO DE LOS RESÍDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS PELIGROSOS	9
1.5.1 MARCO NORMATIVO EN CHILE.....	9
1.5.2 NORMAS CHILENAS RELACIONADAS CON EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS	10
1.5.3 TRATADOS INTERNACIONALES.....	11
1.5.4 ORGANISMOS DE REGULACIÓN	11
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
2.1 CRISIS SANITARIA EN CHILE	14
2.2 FISHBONE	15
2.3 ANÁLISIS FODA.....	0
CAPÍTULO III: DESARROLLO	1
3.1 INTROUCCIÓN A LA GASIFICACIÓN	2
3.1.1 ESTADO DE PLASMA.....	2
3.2 Gasificación por plasma	3
3.3 PODER CALORÍFICO DE LA MATERIA PRIMA	4
3.4 CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN	6
3.5 REACTORES DE PLASMA.....	9
3.5.1 Generación de plasma térmico	11
3.6 INTERCAMBIADOR DE CALOR	14
3.6.1 TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR	15

3.6.2	SELECCIÓN Y APLICACIÓN	16
3.6.3	BUENAS PRÁCTICAS Y MANTENIMIENTO.....	17
3.7	TURBINA DE VAPOR	18
3.7.1	DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA TURBINA DE VAPOR	18
3.7.2	TIPOS DE TURBINAS DE VAPOR.....	20
3.7.3	APLICACIONES PARA TURBINAS DE VAPOR	22
3.7.4	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	22
3.7.5	PARTES CONSTRUIDAS DE UNA TURBINA.....	23
3.8	SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO	24
3.9	GENERADOR ELÉCTRICO.....	27
	De acuerdo con el tipo de refrigeración	28
3.10	HIDRÓGENO COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA	29
3.10.1	MÉTODOS PARA LA PRODUCCIÓN HIDRÓGENO.....	29
3.11	TRITURADORAS INDUSTRIALES DE R.S.U.	30
3.12	CINTA TRANSPORTADORA	31
3.12.1	COMPONENTES BÁSICOS DE UNA CINTA TRANSPORTADORA	32
3.12.2	TRANSMISIÓN: TAMBORES Y MOTOR.....	33
3.12.3	LA ESTRUCTURA	33
3.13	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	35
	CONCLUSIONES	0

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Variación porcentual del Producto Interno Bruto (PIB) en Chile.....	11
Figura 1-2. Capacidad de energía instalada versus energía generada.....	13
Figura 1-3. Capacidad generadora porcentual de energía según tipo de tecnología.....	13
Figura 1-4. Demanda mínima y máxima del SEN en un período de 13 meses.....	14
Figura 2.1. Análisis fishbone.....	23
Figura 2.2. Análisis FODA.....	24
Figura 3-1. Procesos según temperatura.....	32
Figura 3-2. Reactor de gasificación Westinghouse G65.....	34
Figura 3-3: antorcha de plasma.....	36
Figura 3-4: intercambiador de calor pirotubular.....	39
Figura 3-5: turbina vapor.....	43
Figura 3-6: sistema automatizado.....	49
Figura 3-7: principio de funcionamiento generador eléctrico.....	52
Figura 3-8: trituradora de residuos solidos urbanos.....	56
Figura 3-9: antorcha de plasma.....	61

INDICE DE TABLAS

Tabla 3-1. Poder calorífico de combustibles convencionales / comparación de RSM de Austria y China.....	29
Tabla: 3-2: poder calorífico inferior.....	30
Tabla 3-3: métodos para producción de hidrógeno.....	55

INTRODUCCIÓN

El drástico crecimiento en población mundial los últimos años es un hecho que todos conocemos, esto se ha provocado en gran medida por el aumento del número de personas que sobreviven hasta llegar a la edad reproductiva y ha venido acompañado de grandes cambios en las tasas de fecundidad, lo que ha aumentado los procesos de urbanización y los movimientos migratorios. Estas tendencias tendrán importantes repercusiones para las generaciones venideras.

El crecimiento de la población genera un aumento en la demanda de bienes y servicios, esto trae como consecuencia que hoy halla un gran incremento en los volúmenes de residuos y en la demanda de energía.

En Chile el 25% de los vertederos funcionan en malas condiciones, los bajos niveles de reciclaje y de reutilización de los desechos, sumado a la mala condición en la que funcionan los vertederos en Chile, y que su vida útil ronda entre los 20 y 30 años, serían una amenaza inminente en materia medio ambiental.

Esta situación se vería incrementada con los altos índices de desechos que llegan a estos recintos de acopio.

El 95% de la basura que produce el país llega hasta los rellenos sanitarios, y debido a que muchos de ellos funcionan de manera deficitaria, esto podría conducir a problemas ambientales si no se toman las medidas necesarias, además de verse afectada en gran medida la salud de la población, ya sea por gases de invernadero, consumo de microplásticos, basurales ilegales que contaminan napas subterráneas, entre otros tantos ejemplos.

Este proyecto nace debido a lo sucio que se encuentran hoy nuestros parques, playas y áreas verdes cerca de la ciudad, que representan el otro 5% de la basura que se produce en nuestro país. Además, se busca liberar y/o eliminar verederos de todos esos residuos sólidos y transformarlos en energía.

Cómo propuesta para acabar con dicha problemática analizaremos el proceso de gasificación de los residuos sólidos. Esta tecnología de gasificación es un proceso de

transformación térmica en estado de plasma, que convierte los Residuos Sólidos, en un gas combustible denominado gas de síntesis o "Syngas".

Con dicho proceso se logra liberar espacio ocupado por basurales, además de usar este gas de alta calidad para obtener biocombustibles y productos químicos o también se puede generar con él, energía eléctrica y térmica.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la sostenibilidad de implementar una planta de gasificación de residuos sólidos en la región del Bio Bio para su aprovechamiento energético.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar la problemática por la que pasa nuestro país, en cuanto a la acumulación de residuos sólidos urbanos se refiere.
- Analizar en profundidad el proceso de gasificación de los residuos sólidos, para su aprovechamiento energético.
- Realizar un estudio del mercado energético de energías renovables no convencionales en Chile, para comparar sus resultados y beneficios.

CAPÍTULO I: GENERACIÓN DE ENREGÍA EN CHILE

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN

Uno de los problemas que necesita atención inmediata en Chile, con soluciones en el corto plazo, es la producción de energía. La matriz energética aplicada en nuestro país debe dar la certeza de que será suficiente para asegurar nuestro desarrollo industrial.

En temas de generación y demanda eléctrica, en el gráfico que se presenta a continuación se logra apreciar la variación porcentual del Producto Interno Bruto de Chile (PIB), la generación eléctrica del Sistema Interconectado Central y Norte, junto con la demanda energética promedio de los mismos sistemas.

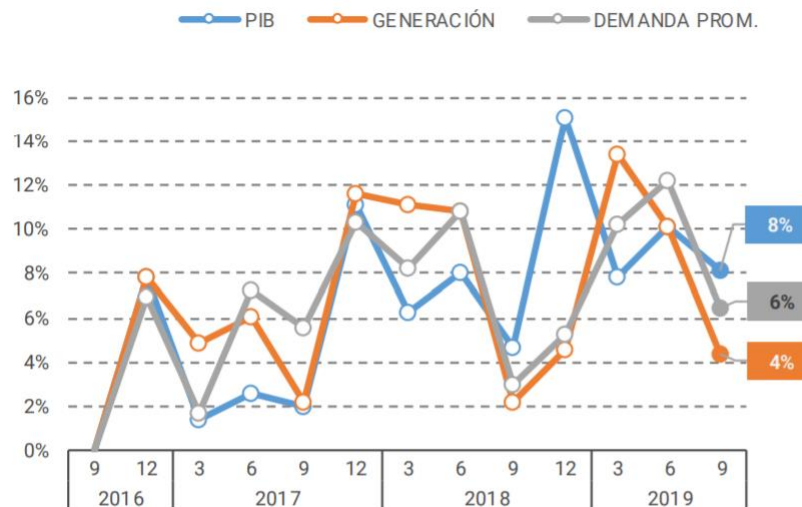


Figura 1-1: variación porcentual del Producto Interno Bruto (PIB) en Chile

Fuente: reporte comisión nacional de energía, 2020

El Producto Interno Bruto es el valor total de los bienes y servicios producidos en el territorio en un periodo determinado, libre de duplicaciones. Se puede obtener mediante la diferencia entre el valor bruto de producción y los bienes y servicios consumidos durante el propio proceso productivo, a precios comprador. Esta variable se puede

obtener también en términos netos al deducirle al PIB el valor agregado y el consumo de capital fijo de los bienes de capital utilizados en la producción.

Según un boletín emitido por la asociación de generadoras de Chile en febrero del presente año, las centrales hidroeléctricas representan un 27% de la energía generada en Chile, las demás energías renovables representan un 1.8% biomasa, 8.6% eólica, 11.2% solar y 0.2% geotérmica respectivamente, del PIB en materia de energía.

Inquieta el gran porcentaje de dependencia del recurso hídrico para abastecernos de energía eléctrica, dado que, crea desestabilidad en el sistema de producción de energía año a año. Por ejemplo, este año 2020 los niveles de sequía disminuyeron debido a la gran cantidad de precipitaciones en invierno, pero no ha venido siendo así años anteriores. Si revisamos la energía generada en invierno el período 2010-2015, vemos que las centrales hídricas produjeron en promedio un 40% de la energía, el año recién pasado las centrales hídricas alcanzaron solo un cuarto de la producción eléctrica en invierno, situación que se venía repitiendo desde 2016 con un promedio de 24% de la energía total generada en invierno.

Todo esto ocurre en un escenario bastante complejo donde la globalización, la dinámica de los mercados y de los conflictos internacionales, nos hace dependientes de una cada vez más requerida energía. Por otro lado, la dinámica de los conflictos internos derivados de las expectativas de una sociedad que se desarrolla, confluye en la complejidad de una crisis energética ya instalada, y cuya solución requiere; compromiso ciudadano, educación pública, participación, sabiduría y firmeza gubernamental, además de un enorme talento en la estrategia política.

1.2 PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELECTRICA EN CHILE

El 99% de las fuentes instaladas para generación de energía en Chile al mes de enero 2020, según el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) poseen una potencia de generación de 25.267,3 MW (sistemas medianos como Aysén y Magallanes y sistemas aislados son menos del 1%).

La generación que producen las tecnologías de sistemas renovables (hidroeléctrica, fotovoltaica, eólica, biomasa y geotérmica) corresponden al 48.7% de la capacidad instalada en el SEN. El 51,7% corresponde a centrales termoeléctricas a gas natural, carbón o derivados del petróleo.

DESTACADOS

En el mes de enero del 2020

CAPACIDAD INSTALADA
Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

25.222,8 MW

	TÉRMICA	51,3%
	HÍDRICA	27,1%
	EÓLICA	8,6%
	SOLAR	11,2%
	BIOMASA	1,8%
	GEOTERMIA	0,2%

ENERGÍA GENERADA
Sistema Eléctrico Nacional (SEN)

6.801 GWh

	TÉRMICA	52,3%
	HÍDRICA	29,2%
	EÓLICA	5,9%
	SOLAR	10,0%
	BIOMASA	2,4%
	GEOTERMIA	0,3%

Figura 1-2: capacidad de energía instalada versus energía generada

Fuente: Boletín asociación de generadoras de Chile, 2020

CAPACIDAD TOTAL SEN - MW

RENOVABLE	12.294,2
HIDRO EMBALSE	3.395,3
HIDRO PASADA	3.427,6
BIOMASA	451,1
EÓLICO	2.161,8
SOLAR	2.813,4
GEOTÉRMICA	44,9
NO RENOVABLE	12.928,6
GAS NATURAL	4.843,4
CARBÓN	5.192,4
DERIV. DEL PETRÓLEO	2.892,8
TOTAL	25.222,8

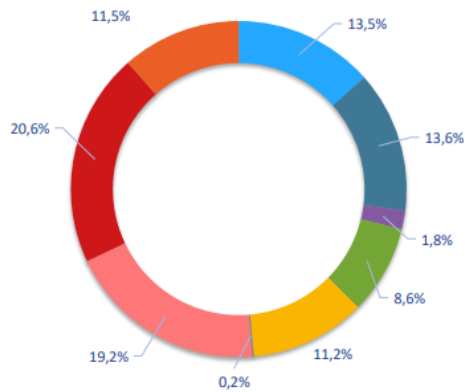


Figura 1-3: Capacidad generadora porcentual de energía según tipo de tecnología

Fuente: Boletín asociación de generadoras de Chile, 2020

1.3 DEMANDA MÍNIMA Y MÁXIMA DE ENERGÍA

En el mes de enero 2020, la demanda bruta máxima horaria del SEN alcanzó los 10.892 MW, lo que representa un aumento de 1,9% respecto al mes anterior y un 3,5% más respecto al mismo mes del año pasado.

La demanda mínima registrada del SEN ese mismo mes alcanzó los 6.910 MW, lo que representa una disminución de 1,7% respecto al mes anterior y un 4,5% más respecto al mismo mes del año pasado.

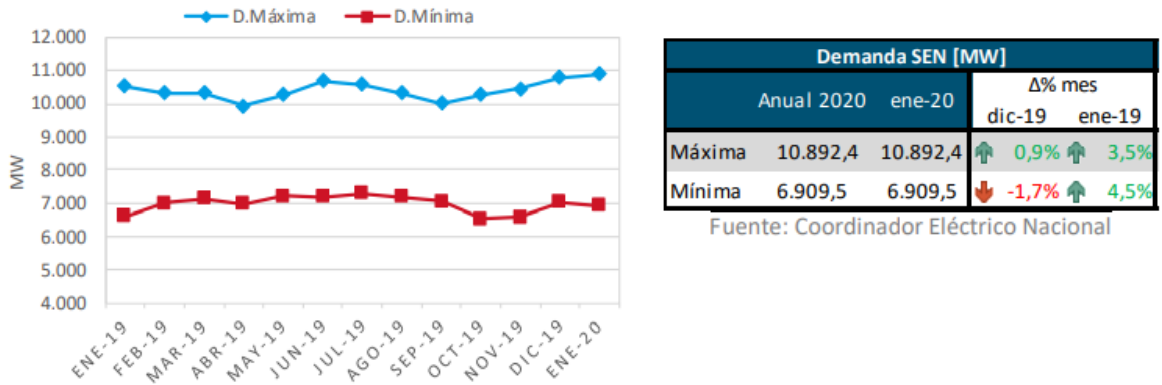


Figura 1-4: demanda mínima y máxima del SEN en un período de 13 meses

Fuente: Boletín asociación de generadoras de Chile, 2020

1.4 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS SÓLIDOS

1.4.1 RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN CHILE

El manejo de residuos se refiere a todas las acciones operativas a las que se somete un residuo incluyendo recolección, almacenamiento, transporte, pre-tratamiento y tratamiento. La composición de los residuos sólidos municipales está relacionada con el nivel de vida y las actividades económicas que se desarrollan en una región. Esta varía de acuerdo al tiempo y área geográfica. Se puede señalar como ejemplo que los residuos biodegradables, tales como los generados en ferias, parques y jardines, se pueden degradar, en forma aeróbica o anaeróbica, a causa de la descomposición causada por los microorganismos. Por otro lado, envases de vidrio, cartón y plástico se pueden reciclar, produciendo nuevos envases u otros productos.

1.4.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

Según sus características:

Residuo peligroso: residuo o mezcla de residuos que presenta riesgo para la salud pública y/o efectos adversos al medio ambiente, ya sea directamente o debido a su manejo actual o previsto.

Residuo no peligroso: residuo que no presenta riesgo para la salud pública ni efectos adversos al medio ambiente.

Residuo inerte: es un residuo no peligroso que no experimenta variaciones físicas, químicas o biológicas significativas, no es soluble, ni combustible, ni reacciona física o químicamente, ni de ninguna otra manera. No es biodegradable y tampoco afecta negativamente a otras materias con las cuales entra en contacto.

Según su origen:

Residuos sólidos municipales: incluye residuos sólidos domiciliarios y residuos similares a los anteriores generados en el sector servicios y pequeñas industrias. También se consideran residuos municipales a los derivados del aseo de vías públicas, áreas verdes y playas.

Residuo industrial: residuo resultante de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza y mantenimiento, generados por la actividad industrial. Corresponden a residuos sólidos, líquidos o combinaciones de estos, que por sus características físicas, químicas o microbiológicas, no pueden asimilarse a los residuos domésticos.

Durante el año 2015, por primera vez, los generadores y destinatarios de residuos industriales y municipales del país declararon en el Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER) del Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC).

1.5 MARCO LEGISLATIVO EN CHILE, SOBRE EL MANEJO DE LOS RESÍDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS PELIGROSOS

1.5.1 MARCO NORMATIVO EN CHILE

En Chile el marco normativo en lo que respecta a residuos sólidos, data desde el año 1968 con la introducción del Código Sanitario, el cual regula aspectos relacionados con la salud de la población y algunos aspectos específicos asociados a higiene y seguridad ambiental laboral.

- En el año 1992 comienza a regir el D.S. N°685 con el cual Chile ratifica el Convenio de Basilea, que se refiere a regulaciones respecto del movimiento fronterizo de desechos.
- En el año 1994 entra en vigencia la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, la que establece un marco en el cual se debe desarrollar el actuar del sector público y privado.
- En el año 1999 y proveniente del D.S. 745 del año 1993. Establece directrices para la Disposición de Residuos Industriales Líquidos y Sólidos.
- En el año 2000 comienza a regir el D.S. N°594 sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo (proviene del D.S. 745 del año 1993).
- En el año 2005 entra en vigencia el D.S. N°148, que establece el Reglamento Sanitario Sobre Manejo de Residuos Peligrosos.
- En el año 2007 comienza a regir el D.S. N°45, el cual establece la norma de emisión para la incineración y co-incineración de residuos.

- En el año 2008 entra en vigencia el D.S. N°189 que regula las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.
- En el año 2010, comienzan a regir dos reglamentos; el D.S. N°4 para el manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas, y el D.S. N°6 sobre el manejo de residuos generados en establecimientos de atención de salud. Además, en el mismo año Chile pasa a ser miembro pleno de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), condición que supone una mejora en el estándar de políticas públicas en materia ambiental, en particular en materia de gestión de residuos.
- En enero del año 2013, entra en vigencia el D.S. N°01 del Ministerio de Medio Ambiente que aprueba el Reglamento del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).
- En julio de 2016 es publicada la Ley N° 20.920 que establece un marco para la Gestión de Residuos y Responsabilidad Extendida del Producto
- En el año 2017 el D.S. N° 8, Regula el Procedimiento de Elaboración de los Decretos Supremos Establecidos en la Ley N° 20.920 (MMA)

1.5.2 NORMAS CHILENAS RELACIONADAS CON EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS

- NCh 3321: 2012 del Instituto Nacional de Normalización: Caracterización de Residuos Sólidos Municipales (RSM).
- NCh 3322:2013 del Instituto Nacional de Normalización: Colores de Contenedores para Identificar Distintas Fracciones de Residuos.
- NCh 2880: 2015 del Instituto Nacional de Normalización: Compost – Requisitos de Calidad y Clasificación.
- NCh 2245:2015 del Instituto Nacional de Normalización: Hoja de Datos de Seguridad para Productos Químicos. 2-7
- NCh2190: 2003 del Instituto Nacional de Normalización: Transporte de Sustancias Peligrosas Distintivos para Identificación de Riesgos.
- NCh3212:2012 del Instituto Nacional de Normalización: Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas – Directrices Generales sobre Olores Molestos.
- NCh382:2013 del Instituto Nacional de Normalización: Sustancias Peligrosas – Clasificación.
- NCh3190: 2010 del Instituto Nacional de Normalización: Calidad del Aire – Determinación de la Concentración de Olor por Olfatometría Dinámica.

- NCh3375: 2015 del Instituto Nacional de Normalización: Digestato – Requisitos de Calidad. o NCh3376: 2015 del Instituto Nacional de Normalización: Residuos Sólidos Municipales — Diseño y Operación de Instalaciones de Recepción y Almacenamiento.

1.5.3 TRATADOS INTERNACIONALES

D.S. N° 685/92 Convenio de Basilea

El Decreto Supremo No. 685 publicado el 13 de octubre de 1992, ratifica el convenio sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación.

Ingreso de Chile a la OCDE

En el mes de mayo del año 2010, Chile pasó a ser el primer miembro en América del Sur de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico- OCDE; esta condición le impone un elevado estándar a las políticas públicas en materia ambiental. Entre los compromisos de Chile se encuentra el desarrollar series de tiempo asociadas principalmente a generación, valorización y eliminación de residuos que faciliten la obtención de indicadores. Adicionalmente, requiere informar a la población sobre el manejo de los residuos.

1.5.4 ORGANISMOS DE REGULACIÓN

Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

Máximo órgano regulador en el ámbito ambiental bajo la Ley No. 20 417, tiene a su cargo el desarrollo y aplicación de variados instrumentos de gestión ambiental en materia normativa, protección de los recursos naturales, educación ambiental y control de la contaminación, entre otras materias.

- **Ministerio de Salud (MINSAL).**

Actualmente tiene la competencia exclusiva en todas las etapas del manejo de residuos. Se encarga de elaborar reglamentos y normas y fiscalizar su cumplimiento.

- **Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE),** Se crea en 1984 con el objetivo impulsar y conducir las reformas institucionales en materia de descentralización, que contribuyan a una efectiva transferencia de

poder político, económico y administrativo a los gobiernos regionales y a los municipios, con los siguientes objetivos estratégicos:

Proponer reformas legales, diseñar y evaluar políticas públicas que fortalezcan las competencias administrativas, económicas y políticas de los gobiernos regionales y municipios, para que estos puedan gobernar con equidad y eficiencia el territorio.

Fortalecer las capacidades técnicas, institucionales y el capital humano en los Gobiernos Regionales y los municipios para el diseño e implementación de políticas, planes y programas de desarrollo regional y local, impulsando la innovación; la competitividad; la creación de redes y el fortalecimiento de las identidades territoriales.

Administrar fondos de inversión e implementar la transferencia progresiva de programas sectoriales en el marco de la transferencia de servicios y competencias a los niveles regional y municipal para mejorar la focalización y la efectividad de las políticas públicas y su efecto en la calidad de vida de la población.

Transformar a la SUBDERE en una institución adecuada a los desafíos de la descentralización y equidad territorial, con una especial preocupación por el desarrollo de los territorios rezagados, aislados y regiones extremas, capaz de proporcionar soluciones flexibles, oportunas y pertinentes a las necesidades de los territorios y de la ciudadanía.

Se encarga del Programa Nacional de Residuos Sólidos y del manejo de los fondos FNDR (Fondo Nacional de Desarrollo Regional).

- **Municipios.** Órganos responsables de la gestión de los Residuos Sólidos Municipales (Función privativa) y de la operación directa o por terceros.
- **Ministerios Sectoriales -Economía – Agricultura – Minería – Vivienda - Obras Públicas, entre otros.**

A partir de 2010, Chile cuenta con una nueva institucionalidad ambiental constituida por: el Ministerio de Medio Ambiente, la Superintendencia de Medio Ambiente, y el Servicio de Evaluación Ambiental, además 2-9 del Tribunal Ambiental que está en proceso de gestación, lo cual entrega un escenario diferente respecto al manejo de residuos en Chile.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

2.1 CRISIS SANITARIA EN CHILE

La crisis sanitaria está cambiando la cotidianidad de todos los países afectados, y en Chile la situación no es distinta. En cuanto a la sustentabilidad, el confinamiento de las familias producto de las medidas preventivas para controlar los contagios estaría provocando -lógicamente- un importante aumento de residuos domiciliarios, lo que podría destacarse como una oportunidad para desarrollar más reciclaje.

Chile es el país que genera más basura en Sudamérica, con cerca de 7,48 millones de toneladas de residuos domiciliarios, una persona produce en promedio 1,15 kg de residuos por día y si vamos a los electrónicos, llegamos a los 9,9 kg al año. De todo eso, se recicla menos del 2%.

Según el informe del Banco Mundial, las ciudades del mundo generaron 2,01 billones de toneladas de desechos sólidos, equivalente a 0,74 kg por persona al día, menos de lo que se genera en Chile. Es más, considerando el rápido crecimiento de la población y la urbanización, se espera que para el 2050 la generación anual de desechos aumente en un 70%.

En cuanto al plástico, el material contaminante más presente en el mundo, un estudio de la Asociación Gremial de Industriales del Plástico (Asipla) reveló que en Chile sólo se recicla el 8%, lo que corresponde a 83.679 toneladas de las 990 mil que se consumen anualmente. Si bien estas cifras destacan por la alta cantidad de generación de plástico y el bajo porcentaje de reutilización, existe una mirada optimista en cuanto a mejorar la situación, principalmente por el potencial de uso de los procesos productivos característicos del reciclaje y por el impacto que podrían alcanzar las nuevas metas establecidas en el reciente decreto de la Ley REP.

Según reportes de ONU Hábitat, más de 200 ciudades han aumentado sus tasas de reciclaje entre un 40% a 80% con tácticas como la integración de recicladores. Ello supone el ahorro de dos millones de árboles por año e impacta de manera directa a nueve millones de personas. El mayor progreso se visibiliza en seis países europeos (Suiza, Suecia, Austria, Alemania, Bélgica y los Países Bajos) que han alcanzado niveles de reciclaje que superan el 50% del total de sus desechos anuales.

En Chile hemos avanzado, pero falta mucho, sobre todo en lo actitudinal y cultural. Conceptos como reducir el consumo o reutilizar productos aún no han sido incorporados y si bien comenzamos a reciclar, el avance ha sido lento porque se hace mal. Por ejemplo, es habitual ver envases sin lavar o derechamente basura común en los puntos limpios de reciclaje.

¿Cómo está enfrentando nuestro país esta problemática? La reciente aprobación por el Consejo de Ministros para la Sustentabilidad del decreto que fija las metas de recolección y valorización de envases y embalajes, enmarcado en la Ley de Responsabilidad Extendida del Productor (REP), es una positiva herramienta para incentivar el aumento de las tasas de reciclaje en Chile, pero las cifras dicen que aún estamos muy al debe. Obligaciones que serán exigidas de manera progresiva con el pasar de los años, iniciándose este 2021 y llegando a su máximo en 2030.

La Ley REP propone seis clasificaciones de productos que son prioritarios en el proceso de revalorización: aceites y lubricantes, aparatos eléctricos y electrónicos, envases y embalajes, neumáticos, pilas y baterías, dejando fuera muchos elementos necesarios de incluir. Si a esto sumamos que nuestro país no cuenta con una normativa de reciclaje para residentes, el camino se hace mucho más largo.

Las intenciones y acciones desde el Estado van en línea con la tendencia global de ser países más sustentables, pero aún quedan muchos aspectos que alinear con este objetivo macro, como aumentar el porcentaje de reciclaje de la basura recolectada por los municipios, junto al impulso de un cambio socio-cultural en la población.

2.2 FISHBONE

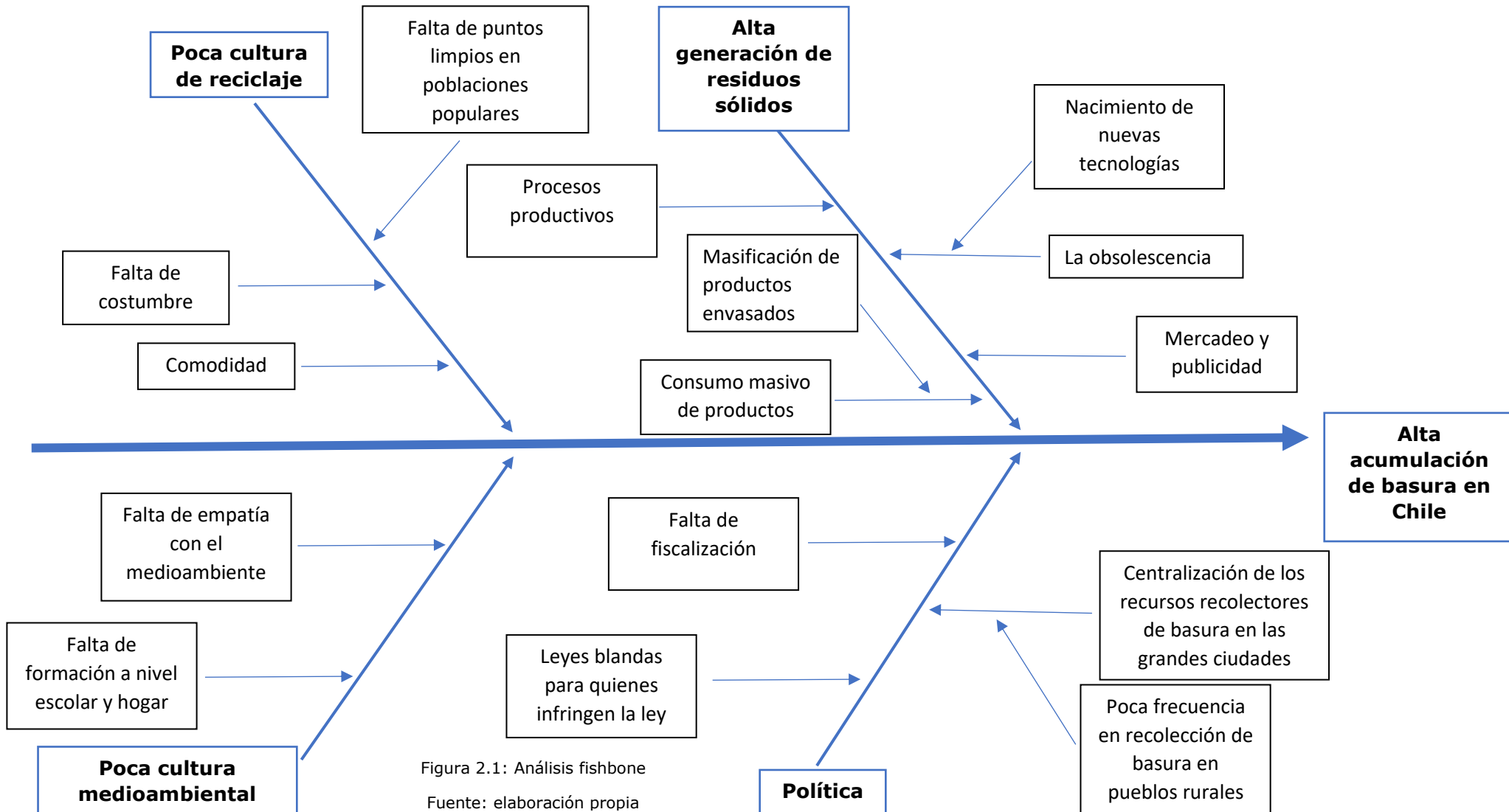


Figura 2.1: Análisis fishbone

Fuente: elaboración propia

2.3 ANÁLISIS FODA

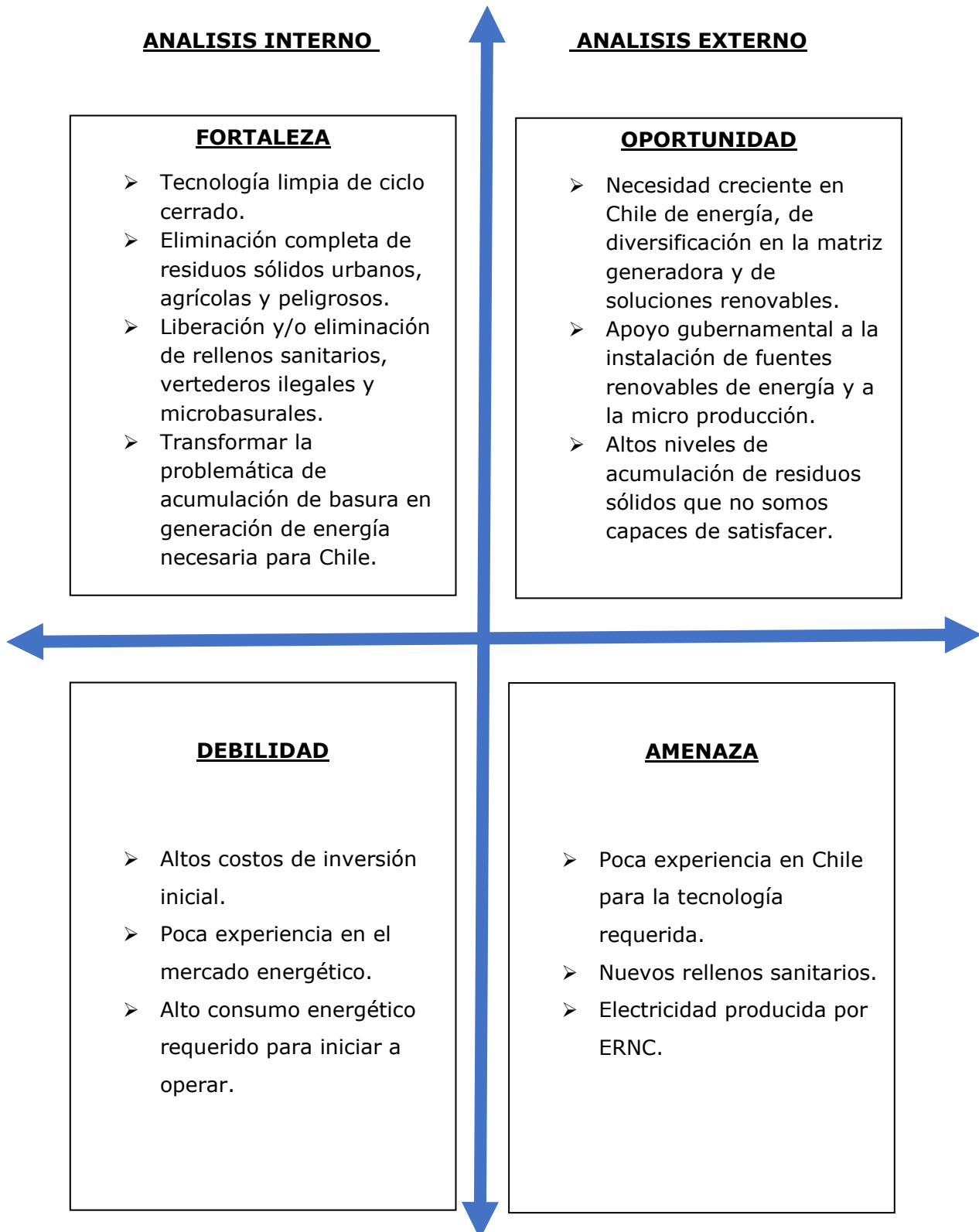


Figura 2.2: Análisis FODA

Fuente: elaboración propia

CAPÍTULO III: DESARROLLO

3.1 INTROUCCIÓN A LA GASIFICACIÓN

3.1.1 ESTADO DE PLASMA

El estado de plasma o estado plasmático es uno de los cuatro estados de la materia, junto al estado líquido, sólido y gaseoso. El plasma es el estado de la materia más predominante en el Universo observable, en la Tierra hay plasma de forma natural, en ciertas capas de la atmósfera (magnetosfera e ionosfera) así como en el sol, nebulosas y vientos polares, los rayos y en la denominada aurora boreal.

Una sustancia en estado plasmático es un gas ionizado o dicho en otras palabras, un gas cuyos átomos han sido despojados de parte de sus electrones originales, y se han cargado eléctricamente (no poseen equilibrio electromagnético).

Esto quiere decir que el estado plasmático o es en principio semejante al gaseoso, pero con muy distintas propiedades a las de un gas frío. Entre ellas se cuentan la tendencia del plasma a conducir efectivamente la electricidad, o su gran respuesta hacia los campos magnéticos.

El plasma no es un estado frecuente en la cotidianidad. Puede obtenerse mediante un proceso de ionización de los gases, tan simple a veces como calentarlos para hacer que sus partículas vibren más velozmente. Otros medios para ello son la magnetización o la aplicación de electricidad, y otros procesos artificiales.

Asimismo, se puede hacer a un plasma retornar a un estado gaseoso, mediante un proceso cualquiera de desionización: por ejemplo, retirar calor a la sustancia y permitir a sus partículas recuperar así sus electrones perdidos, ganando estabilidad y volviendo a ser un gas.

Existen dos tipos conocidos de plasma:

Plasma frío: El más inofensivo para los seres vivos, ya que no causa quemaduras ni es dañino, pues sus partículas no se mueven tan velozmente como lo hacen, en cambio, sus electrones.

Plasma caliente: Cuyos átomos están chocando entre sí repetidamente al desplazarse y perder electrones, generando en el proceso cantidades variables de luz y de energía calórica.

3.2 Gasificación por plasma

El plasma es la ionización de un flujo gaseoso, eléctricamente neutro, por medio de un campo electromagnético. Es un gas ionizado que contiene partículas eléctricamente cargadas (electrones e iones), neutras (átomos, moléculas y fotones), y átomos excitados. Conduce la electricidad y es sensible a los campos magnéticos. Las antorchas de plasma consiguen concentrar mucha energía (105 W/cm²) en una zona reducida por medio de la ionización con arco eléctrico de un gas (generalmente aire). La temperatura que se alcanza es de 2.000 a 4.000°C por lo que se consigue vitrificar las cenizas y eliminar completamente la fracción orgánica.

Un reactor con antorcha de plasma consiste en un recipiente en ausencia de oxígeno donde la altísima temperatura producida permite romper los enlaces moleculares, formando un gas de síntesis y una lava fundida que al enfriar se transforma en un producto vítreo inerte. Por tanto, este tipo de reactor transforma los residuos en un material vitrificado más unos metales (corriente sólida), y un gas combustible más vapor de agua (corriente gaseosa), compuesto principalmente por H₂, CO y N, Cl, S. Siendo la reducción en peso y en volumen superior al 90%. El gas de síntesis generado contiene polvo (partículas) y otros elementos indeseables por lo que debe someterse a un proceso de limpieza para que pueda ser apto su aprovechamiento energético. Para el caso de los RSU, la limpieza del gas consiste en la eliminación de partículas, separación de azufre y mercurio y eliminación de metales pesados.

Desde el punto de vista técnico, el plasma es útil para residuos que contengan sustancias orgánicas e inorgánicas. Desde un punto de vista económico, interesan residuos que no tengan otro tipo de tratamiento o aprovechamiento por ser muy caro, inaccesible o inexistente y/o su destino final sea vertedero.

Las ventajas del uso de esta tecnología son: la obtención de un gas de síntesis con gran poder calorífico; la energía recuperada es superior al equivalente térmico de la electricidad consumida (excepto para residuos con PCI bajos); se consigue una fusión de los compuestos inorgánicos con la formación de una lava vítrea inerte; el empleo de material fluidizante mejora la viscosidad de la lava y proporciona la basicidad necesaria para garantizar la no lixiviabilidad de los metales pesados y sus óxidos; hay una producción mínima de rechazos; ausencia de dioxinas, furanos, cenizas y escorias; gas de síntesis libre de alquitranes; se obtiene una lava vitrificada y una torta de azufre, que son aprovechables; la transmisión de calor es muy efectiva; al ser un proceso pirolítico, no precisa de oxígeno; es un tratamiento muy rápido; flexibilidad de materia prima permitiendo mezclar distintos materiales residuales; se

puede utilizar para producir electricidad, combustibles líquidos, calor o gas de síntesis para reemplazar los combustibles fósiles.

Los inconvenientes son los siguientes: las elevadas temperaturas dañan los refractarios; el funcionamiento del plasma es muy sensible a las alteraciones del voltaje; coste de instalación y de explotación relativamente caros; y falta de isoterminia (calor generado por un foco puntual).

3.3 PODER CALORÍFICO DE LA MATERIA PRIMA

Se debe considerar que la eficiencia eléctrica, entendida como la capacidad de generación eléctrica por tonelada de combustible, será siempre menor en una planta de valoración térmica de residuos sólidos urbanos con respecto a una planta de generación convencional ya que el poder calorífico de los residuos sólidos es inferior al poder calorífico de los combustibles convencionales y su composición es de naturaleza heterogénea. A continuación, se muestra el poder calorífico de distintos combustibles.

COMBUSTIBLE	PODER CALORÍFICO [MWh/ton]
GLP	10-13,9
Petróleo	12,8
Carbón	8,1-9,1
Madera	4,2
RSM Austria	2,2-3,3
RSM China	1-1,4

Tabla 3-1: Poder calorífico de combustibles convencionales / comparación de RSM de Austria y China

Fuente:file:///C:/Users/levi_/Downloads/20181105160050_46024_Anexo%2014.%20Factores%20de%20emisi%C3%B3n%20para%20los%20diferentes%20tipos%20de%20combustibles%20f%C3%B3siles%20y%20alternativos%20que%20se%20consumen%20en%20M%C3%A9xico%20del%20INECC.pdf

En la tabla se observa el bajo poder calorífico de los residuos sólidos urbanos en comparación con los combustibles tradicionales. Notar que el valor también cambia significativamente entre los residuos de Austria y los de China, por lo que el poder calorífico de los residuos depende en gran medida de las condiciones locales. Los principales factores que determinan el poder calorífico de estos residuos son su composición y humedad. Un estudio del banco mundial establece que la cantidad y composición de los residuos sólidos depende a su vez del nivel de desarrollo y el estado de la economía local.

En la siguiente tabla se muestra el poder calorífico inferior (LHV) de las distintas fracciones que componen los residuos sólidos. El poder calorífico inferior o LHV por sus siglas en inglés representa la máxima energía extraíble en un proceso real.

FRACCIÓN	LHV [MWh/Ton]
Orgánico	0,53
Plástico	5,6
Textil	3,27
Papel y Cartón	1,79
Cuero y Caucho	3,96
Madera	2,59

Tabla: 3-2: poder calorífico inferior

Fuente:file:///C:/Users/levi_/Downloads/20181105160050_46024_Anexo%2014.%20Factores%20de%20emisi%C3%B3n%20para%20los%20diferentes%20tipos%20de%20combustibles%20f%C3%B3siles%20y%20alternativos%20que%20se%20consumen%20en%20M%C3%A9xico%20del%20INECC.pdf

En la tabla se desprende que la fracción con mayor aporte energético es el plástico mientras que la materia orgánica posee un bajo poder calorífico en general por su

alta humedad. Por otro lado, los metales, vidrios y materiales inertes no aportan con poder calorífico al proceso de incineración.

Una de las fortalezas de las plantas de valoración térmica con generación eléctrica, es que, al ser consideradas como energía renovable, estas son neutrales en emisiones de CO₂. Por lo tanto, la generación de energía desplaza emisiones contaminantes de plantas a base de combustibles convencionales.

3.4 CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO DE GASIFICACIÓN

La gasificación por plasma tiene la gran característica de ser capaz de tratar residuos peligrosos de manera limpia y eficaz como sedimentos, desechos de hospitales, neumáticos, plásticos, entre otros, que forman parte de los residuos inorgánicos mencionados anteriormente.

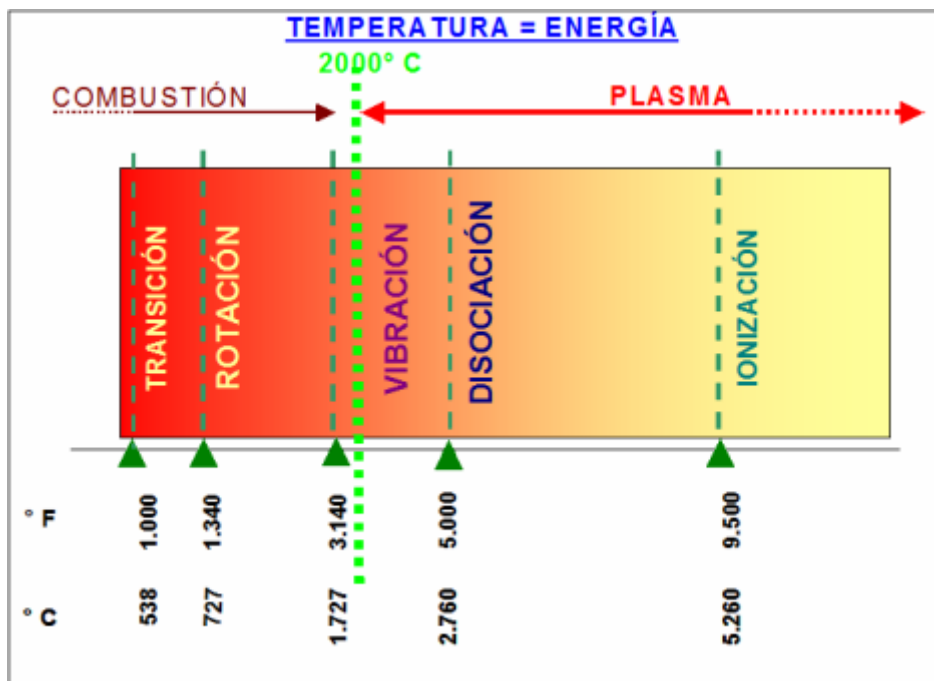


Figura 3-1: procesos según temperatura

Fuente:file:///C:/Users/levi_/Downloads/20181105160050_46024_Anexo%2014.%20Factores%20de%20emisi%C3%B3n%20para%20los%20diferentes%20tipos%20de%20

combustibles%20f%C3%B3siles%20y%20alternativos%20que%20se%20consumen%
20en%20M%C3%A9xico%20del%20INECC.pdf

La Gasificación de residuos a altas temperaturas combinada con sistemas de producción de energía de última generación es una apuesta tecnológica de presente:

- Representa una nueva fuente de energía renovable y limpia.
- Es aplicable a todo tipo de residuos.
- Supone un aprovechamiento energético eficaz y flexible.
- Permite a largo plazo alcanzar el objetivo de "vertedero cero"
- Supone una solución de impacto ambiental cero que no genera residuos sólidos, efluentes líquidos ni emisiones gaseosas.
- Permite inertizar total y definitivamente los residuos más contaminantes.
- Es el triunfo de la "inteligencia de los costes" al permitir que su implantación suponga un impacto mínimo en las finanzas públicas...

➤ **CONSERVACIÓN MÁXIMA DE LA ENERGÍA CONTENIDA EN LOS RESIDUOS**

I. USO DE UNA FUENTE DE CALOR EXTERNA PARA GARANTIZAR LAS ELEVADAS TEMPERATURAS: La electricidad es una fuente de energía limpia que se va a producir en grandes cantidades a partir de la valorización energética del gas de síntesis.

II. APROVECHAMIENTO MÁXIMO DE LOS RESIDUOS que se transforman en un gas de síntesis limpio, sustituto válido de los combustibles fósiles.

III. APORTACIÓN ESTRICTAMENTE CONTROLADA DE ÓXIGENO evitando así las reacciones de oxidación total de los compuestos orgánicos.

IV. EL GAS DE SÍNTESIS OBTENIDO POR LA GASIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS ESTA FORMADO MAYORITARIAMENTE POR "MONOXIDO DE CARBONO E HIDROGENO": Los productos halogenados y con alto contenido de azufre se transforman en HCl, HF y H₂S que son tres productos relativamente fáciles de depurar. Esta depuración es bastante fácil por el reducido flujo másico a tratar.

➤ **EL BALANCE ENERGÉTICO RESULTANTE ES POSITIVO**

I. EL VALOR ENERGÉTICO DEL GAS DE SÍNTESIS DEPENDE DE LOS RESIDUOS O MATERIALES TRATADOS. Para conseguir un mayor poder calorífico se debe evitar la introducción en el gasificador de productos inertes o muy húmedos.

II. EL COMBUSTIBLE GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS TIENE UN VALOR ENERGÉTICO MEDIO RAZONABLE: El gas de síntesis generado a partir de RSU tiene PCI`s medios de 15 a 22 MJ/kg.

III. BALANCE NORMALMENTE POSITIVO. Con excepción de los residuos de muy bajo pci (inferior a 1.200 kcal/kg) la energía recuperada es siempre superior al equivalente térmico de la electricidad consumida en el proceso.

IV. EN EL SISTEMA PROPUESTO EL USO DE UN CATALIZADOR (generalmente coque metalúrgico) PERMITE OPTIMIZAR EL RENDIMIENTO DEL PROCESO DE DEGRADACIÓN TÉRMICA. La aportación de catalizador se sitúa entre el 1 y el 3% del flujo másico de residuos entrante en el gasificador.

➤ **AUSENCIA DE SUBPRODUCTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS O DAÑINOS**

I. LOS COMPUESTOS INORGÁNICOS SON FUNDIDOS para formar una lava vítrea de tipo basáltica que se extrae en la parte inferior del gasificador, manteniendo un nivel mínimo para facilitar la colada en continuo.

II. APORTACIÓN DE UNA PEQUEÑA CANTIDAD DE MATERIALES FLUIDIFICANTES (entre el 0,25% y el 1% del caudal másico de residuos entrantes en el gasificador) con el fin de:

- Mejorar la viscosidad de la lava para facilitar la colada.
- Conseguir que la lava tenga el grado de basicidad requerido para garantizar la no lixiviabilidad de los metales pesados y de sus correspondientes óxidos.

➤ **MÍNIMO IMPACTO AMBIENTAL**

- Ausencia de dioxinas, furanos, cenizas, y escorias debido a la disociación molecular.
- Solución finalista "vertedero cero".
- Únicos efluentes sólidos (lava vitrificada y torta de azufre) son aprovechables.

- Emisiones gaseosas de turbina < límite de normativa europea.
- No requiere tratamiento de gases de cola.

➤ **ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

- Producción neta de energía: 1400 – 2400 kWh/ton (75% de gen. bruta).
- Entre 1,5 y 2,5 veces superior a las incineradoras de última generación.

3.5 REACTORES DE PLASMA

Los reactores de plasma son unidades de plasma complejas en las que se producen reacciones utilizando plasma a baja temperatura. Los reactores plasma-químicos están diseñados para una mezcla suficiente de reactivos; crear condiciones para una transferencia eficiente de calor y masa con una mínima pérdida de calor; crear las condiciones para las reacciones químicas necesarias, incluida la fusión de materiales no metálicos, la postcombustión de los gases de combustión, la destrucción y la eliminación de desechos.

Posibilidad de utilizar reactores de plasma en diseños especiales y diseño especial para la destrucción por plasma de desechos químicos, biológicos y bacteriológicos, destrucción de desechos de producción química, incluidos desechos halogenados, pesticidas caducados, bifenilos policlorados y otros contaminantes orgánicos persistentes, destrucción de desechos médicos, diversos desechos tóxicos, fusión y el procesamiento de cenizas tóxicas, la postcombustión de los gases de combustión y la reducción del volumen de almacenamiento de desechos radiactivos amplían significativamente las posibilidades de uso del equipo.

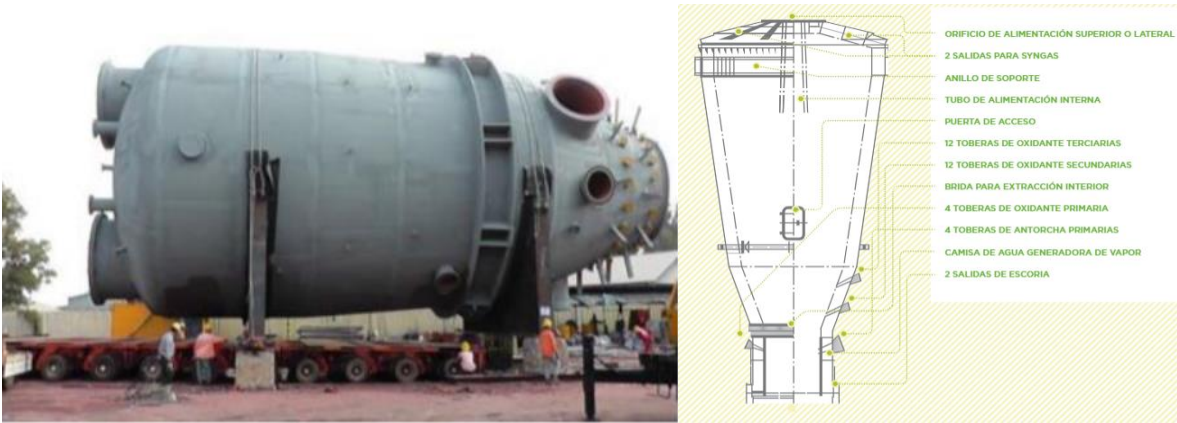


Figura 3-2: Reactor de gasificación Westinghouse G65

Fuente: <https://docplayer.es/44093875-Gasificacion-por-plasma-de-westinghouse.html>

Westinghouse Plasma Corporation (WPC)

Los reactores de plasma-químico utilizan un elemento calefactor prácticamente sin inercia: un arco eléctrico. La falta de inercia del arco eléctrico permite la automatización del proceso y la rápida reestructuración del modo de funcionamiento del reactor para materias primas (residuos) muy diferentes para la producción de una amplia gama de productos a partir de él.

La alta potencia y alta densidad de la energía térmica en el arco eléctrico propicia la creación de reactores plasma-químicos compactos y tecnológicos y permite, mediante el uso del calor y la actividad catalítica del plasma de baja temperatura, crear en ellos un ambiente de casi cualquier composición química y realizar procesos químicos a alta velocidad y productividad. El refrigerante es plasma de baja temperatura ($\sim 5000 \text{ }^\circ\text{C}$), que fluye hacia el reactor químico de plasma desde un plasmatrón de tipo jet con un espectro diverso de gases de uno, dos o multicomponentes formadores de plasma (argón, helio, nitrógeno, aire, una mezcla de argón y nitrógeno con hidrógeno, amoníaco, vapor de agua) permitiendo alcanzar altas temperaturas en el reactor de plasma (de 1650 a $2500 \text{ }^\circ\text{C}$).

Los reactores de plasma, gasificadores y cámaras de craqueo (postcombustión de plasma) para el procesamiento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos y materias primas tienen un diseño diferente, lo que permite lograr la destrucción completa de

resinas, dioxinas y furanos. Esto se logra con una exposición controlada a largo plazo en la cámara de plasma y a través de las trayectorias laberínticas del postquemador con temperaturas superiores a 1400 ° C y el subsiguiente enfriamiento a alta velocidad del gas de síntesis.

Funcionalmente, los reactores de plasma se dividen en 3 grupos:

1. Reactores de plasma para residuos altamente peligrosos (químicos, tóxicos, biológicos, bacteriológicos, médicos y radiactivos);
2. Gasificadores de reactores de plasma para tipos estándar de residuos y materias primas (RSU, Biomasa, Carbón, Lodos de petróleo, Residuos industriales, etc.);
3. Reactores de plasma-químico, gasificadores y postquemadores para aplicaciones especiales, científicas y tecnológicas.

La principal y principal ventaja de los reactores de plasma es la posibilidad de utilizar vapor de plasma y vapor para procesos químicos dentro de la cámara del reactor. La esencia del uso de vapor o una mezcla de vapor y aire para la gasificación es que debido a la ausencia de nitrógeno de lastre y, como consecuencia, un volumen relativamente pequeño de gas de síntesis en comparación con el volumen de productos de la combustión completa de desechos, es posible reducir el tamaño (y el costo) del reactor de plasma, gasificador, cámara. postcombustión de plasma y todos los sistemas de purificación y enfriamiento de gas de síntesis. Además, debido a la ausencia de nitrógeno de lastre en el reactor de plasma, gasificador y cámara de postcombustión de plasma como resultado de la acción térmica, no hay formación de dióxidos de nitrógeno (NO_2) y monóxidos de nitrógeno (NO).

Los reactores de plasma y los posquemadores de plasma se integran fácilmente en la cadena del proceso de producción existente de la empresa y son un elemento estándar del sistema de limpieza de gases; también se pueden integrar en las unidades de pirólisis existentes y en los incineradores de desechos estándar (incineradores) para realizar la función de poscombustión del gas de escape con plasma.

3.5.1 Generación de plasma térmico

La manera más directa es calentando un gas a muy altas temperaturas, de tal manera que los átomos que lo forman se descompongan en sus partículas elementales. Mediante combustibles fósiles pueden alcanzarse temperaturas de hasta 2000 °C. Sin embargo no es el mejor método, siendo tecnológicamente más sencillo acoplar energía eléctrica o electromagnética a un gas neutro con lo que se obtienen plasmas incluso por encima de los 20000 °C. También se puede generar mediante fuertes compresiones adiabáticas

con un gas y otros métodos que no se tratarán aquí por no estar lo bastante extendidos en aplicaciones industriales.

Los aparatos usados en la generación son comúnmente llamados antorchas de plasma, siendo las más usadas las siguientes:

3.5.2 Antorchas de corriente continua de arco no transferido

Consiste en un par de electrodos concéntricos colocados en la antorcha entre los cuales hay un gas circulando. El primero de ellos, con terminación en punta, está colocado en el centro del flujo de gas y el otro es toroidal, atravesando el flujo por su parte interior. Entre ambos se produce un arco eléctrico por el gran voltaje aplicado, el cual ioniza al gas que pasa.

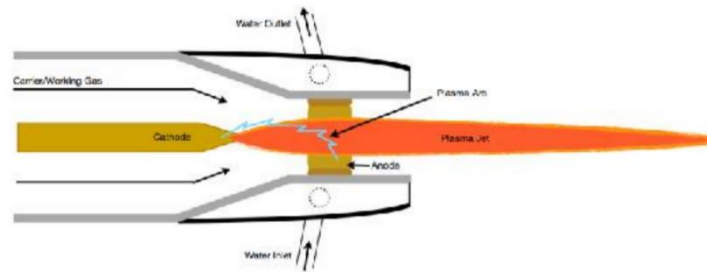


Figura 3-3: antorcha de plasma

Fuente: <https://tecnologiaschile.com/2017/02/20/plataforma-tecnologica-solena-energia-tecnologia-y-ventajas-de-ipgcc/>

Los electrodos son fabricados dependiendo de las potencias que consuma la antorcha, cuando son bajas (< 100 kW) se usan "electrodos calientes", con el cátodo toroidal realizado en wolframio y el ánodo de cobre. Cuando son más altas, usan "electrodos fríos" ambos refrigerados y de forma cilíndrica con una pequeña separación entre ambos para generar el plasma.

Tienen las desventajas de que contamina el producto con el residuo de los electrodos y que su eficiencia energética (energía sale/energía suministrada) puede bajar hasta el 50% en algunos casos.

3.5.3 Generación mediante pulsos de corriente continua

Con este método se pretenden eliminar las faltas de homogeneidad que pueden producirse en el plasma entre sus regiones centrales y externas, haciendo que el gas donde se realiza la descarga tenga siempre su composición original. Permite además operar a potencias superiores. Usado en deposiciones y en microscopía.

3.5.4 Antorchas de corriente continua de arco transferido

Funcionan de manera parecida a las anteriores, pero con la diferencia de que sólo uno de los electrodos se encuentra en la antorcha, siendo el material a tratar el otro electrodo, desapareciendo así el toroidal.

El plasma se genera fuera de la antorcha, ya que la separación entre cátodo y ánodo puede acercarse al metro y su temperatura por tanto será mayor al no estar al lado de la refrigeración.

El cátodo puede ser de un material conductor refrigerado o de refractario. Aunque hay diversas configuraciones posibles, en casos como el tratamiento de residuos es recomendable usar electrodos de grafito por ser más económicos y no importar la contaminación por carbono.

Otra ventaja es la posibilidad de usar antorchas gemelas acopladas, de tal manera que se crea plasma en el espacio libre entre ellas y puede usarse para fundir materiales no conductores.

3.5.5 Antorchas de corriente alterna

Son poco usadas, debido a su mayor ruido, peor control y mayor consumo de electrodos y energía, entre otras razones. Hay poca información sobre ellas.

3.5.6 Descargas de radiofrecuencias

La energía es transmitida a través de ondas electromagnéticas, comercialmente suelen ser de 13,56 o 27,12 MHz. Los electrones oscilan rápidamente dentro del plasma sin haber contacto con los electrodos por lo que puede usarse en distintas atmósferas corrosivas y no hay riesgo de contaminación por su descomposición. Las descargas pueden ser acopladas capacitivamente o inductivamente, siendo el diseño del equipo en el primer caso parecido a los de corriente continua.

En campos como litografía o deposiciones están muy extendidos. Se estudia su viabilidad para la destrucción de materiales peligrosos, pero su aplicación está limitada por la potencia a la que suelen estar disponibles.

3.5.7 Descargas de microondas

Se trata de ondas electromagnéticas de frecuencias superiores a las radiofrecuencias, con valores típicos en torno a 2,45 GHz. Los electrones siguen las oscilaciones de los campos generados, produciéndose choques entre partículas.

Hay numerosos diseños posibles en función del mecanismo y su aplicación, aunque cabe destacar el plasma generado por ECR (resonancia electrón ciclotrón) que puede ser útil en la destrucción de residuos. Las descargas de microondas se acoplan con campos magnéticos lográndose así que las partículas tomen trayectorias circulares y a los electrones les sea aplicada la energía de manera resonante.

3.5.8 Plasma generado por rayos láser / haces de electrones

Al incidir un haz de láser o electrones sobre un gas a baja presión, el plasma oscila con gran amplitud y al calentarse los electrones en ese campo turbulento, son capaces de mantener el plasma. Dependiendo de la presión, el voltaje empleado, el tamaño del haz... se puede controlar el grado de disociación del plasma, logrando unas eficiencias en torno al 70% en la transferencia de energía. Además, se transfiere la energía de forma más mucho más rápida que en el resto de plasmas, pudiendo fundir ciertos materiales de manera instantánea.

Es empleado en análisis químico, procesos de corte, fundición, y también se investiga su posible empleo como arma militar, para lo cual están desarrollando prototipos. Podría ser empleado para la destrucción de residuos en ciertos casos.

3.6 INTERCAMBIADOR DE CALOR

Los intercambiadores de calor son dispositivos diseñados para proporcionar una transferencia de calor eficiente entre dos fluidos. Cada diseño depende del fabricante que las produzca; sin embargo, todos tienen algo en común: buscar alcanzar un equilibrio entre calidad, precio y tiempo de entrega. Sus aplicaciones van desde refrigeración, aire acondicionado, calefacción, evaporación hasta condensación, por lo que existen diferentes tipos.

3.6.1 TIPOS DE INTERCAMBIADORES DE CALOR

Tubo y aletas (T&F)

Entre los intercambiadores de calor, éste es el más común. Las aplicaciones usuales suelen ser en refrigeración comercial y aire acondicionado, en las que pueden funcionar como evaporador o condensador. Ambas operaciones deben tener ciertos cuidados para garantizar su correcto funcionamiento, en el primero es necesario el sobrecalentamiento del vapor en la línea de succión; en el segundo, se debe atender el subenfriamiento en la línea de líquido.

Estos equipos están fabricados con cobre y aluminio y se componen de tubos cilíndricos, aletas, un cabezal fijo y otro removible, deflectores y una placa tubular.



Figura 3-4: intercambiador de calor pirotubular

Fuente: <http://lopezhnos.es/products/intercambiadores-de-calor/>

El funcionamiento de los intercambiadores de calor de tubo y aletas consiste en pasar el fluido refrigerante por los tubos, mientras que las aletas incrementan el área de transferencia de calor.

Placas soldadas (BPHE) y microplacas soldadas (MPHE)

Estos dos tipos son ampliamente utilizados, debido a que son compatibles con diversos fluidos y aunque sus dimensiones son reducidas, poseen una gran área de transferencia. Los BPHE se pueden utilizar como condensadores, evaporadores y condensadores de circuito dual; y poseen un flujo tridimensional. En cambio, las microplacas soldadas o MPHE, fabricadas con aluminio, poseen un flujo bidimensional con una velocidad más uniforme, lo cual mejora considerablemente la transferencia de calor.

El diseño de los BPHE consiste en una serie de placas delgadas y corrugadas de acero inoxidable, soldadas con cobre o níquel, mientras que los MPHE, son más ligeros y operan con menor cantidad de refrigerante, pero alcanzan una mayor transferencia de calor por metro cuadrado; por lo tanto, representan mayor rendimiento para el sistema de refrigeración, utilizando menos energía.

MICROCANAL (MCHE)

Las aplicaciones más constantes de los intercambiadores de calor de microcanal son en refrigeración comercial. Estos equipos se distinguen porque su volumen interno es hasta 70 por ciento menor que el de los intercambiadores de calor de tubo y aletas; de tal forma que la carga de refrigerante en todo el equipo es 30 por ciento menor, en promedio.

Junto a esto, cada microcanal está producido con aluminio, por lo que resisten mejor a la corrosión. En cuanto al flujo de aire, el especialista explicó que el diseño de los microcanales aprovecha mejor la carga de aire, por lo que los ventiladores poseen un menor caudal, por tanto, la potencia de ventilación también disminuye.

3.6.2 SELECCIÓN Y APLICACIÓN

Para elegir el intercambiador de calor que mejor se adapte a las necesidades del proyecto, se deben tomar en cuenta ciertos factores como:

- Condiciones de trabajo
- Temperatura ambiente, de evaporación y condensación
- Velocidad del compresor

- Carga térmica del refrigerante
- Caída de presión máxima permitida por el sistema
- Tipo de fluido
- Temperatura de entrada y de salida del fluido refrigerado
- Flujo de aire
- Carga térmica a disipar
- Condiciones especiales (contaminación, polvo, zona costera, etcétera)
- Consideraciones especiales de la instalación
- Tendido de tubería
- Separador de aceite (recomendado)
- Trampas para aceite
- Acumulador de succión
- Cables de potencia

3.6.3 BUENAS PRÁCTICAS Y MANTENIMIENTO

Para intercambiadores de calor se debe realizar un triple vacío para llegar a los niveles recomendados por el fabricante (250, 500, 1000 micrones). También es necesario revisar que las protecciones se encuentren conectadas y calibradas, que el aceite sea el recomendado, que el drive y los compresores están conectados de acuerdo con los diagramas del fabricante, entre otros aspectos.

El mantenimiento debe ser preventivo y programado para anticiparse a posibles fallas. Éste contempla la limpieza de los circuitos de agua helada y del condensador, la revisión del funcionamiento del sistema de refrigeración, el establecimiento de horarios de deshielo y la calidad del fluido refrigerado, la revisión de torque en terminales eléctricas y del aceite para saber si es o no necesario cambiarlo, sustitución de filtros, así como la revisión de contactos, termomagnéticos, protecciones y cables, para reemplazarlos en caso de que así se requiera.

El sistema no se debe abrir si no es necesario, se recomienda que, si se hace un retrofit, se debe identificar el tipo de intercambiador; mientras que, si ocurre una falla, es necesario reconocer la causa y corregirla.

3.7 TURBINA DE VAPOR

La turbina de vapor es un motor rotativo que convierte la energía de una corriente de agua, vapor de gas o gas, en energía mecánica. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento de una máquina, un compresor, un generador eléctrico o una hélice.

3.7.1 DESCRIPCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LA TURBINA DE VAPOR

Las turbinas se clasifican en turbinas hidráulicas o de agua, turbina de vapor y turbinas de combustión. Hoy la mayor parte de la energía eléctrica mundial se produce utilizando generadores movidos por turbinas. Una turbina de vapor es una turbo máquina que transforma la energía de un flujo de vapor en energía mecánica. Este vapor se genera en una caldera de vapor, de la que sale en unas condiciones de elevada temperatura y presión. En la turbina se transforma la energía interna del vapor en energía mecánica que, típicamente, es aprovechada por un generador para producir electricidad.

Al pasar por las toberas de la turbina, se reduce la presión del vapor (se expande) aumentando así su velocidad. Este vapor a alta velocidad es el que hace que los álabes móviles de la turbina giren alrededor de su eje al incidir sobre los mismos. Por lo general una turbina de vapor posee más de un conjunto tobera-álabe (o etapa), para aumentar la velocidad del vapor de manera gradual. Esto se hace ya que por lo general el vapor de alta presión y temperatura posee demasiada energía térmica y, si ésta se convierte en energía cinética en un número muy reducido de etapas, la velocidad periférica o tangencial de los discos puede llegar a producir fuerzas centrífugas muy grandes causando fallas en la unidad.

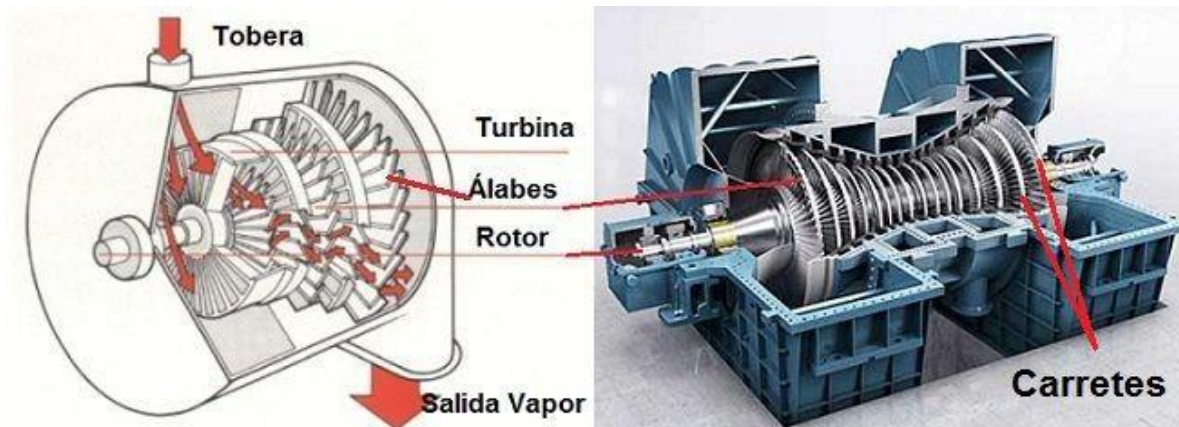


Figura 3-5: turbina vapor

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/mecanismos/turbina-de-vapor.html>

En una turbina se pueden distinguir dos partes, el rotor y el estator. El rotor está formado por ruedas de álabes unidas al eje y que constituyen la parte móvil de la turbina. El estator también está formado por álabes, no unidos al eje sino a la carcasa de la turbina.

El éxito obtenido con las turbinas de agua condujo a utilizar el principio de la turbina para extraer energía del vapor de agua. Mientras que la máquina a vapor de vaivén desarrollada por el inventor e ingeniero escocés James Watt utilizaban la presión del vapor, la turbina consigue mejores rendimientos al utilizar también la energía cinética de este. La turbina puede ser más pequeña, más ligera y más barata que una máquina de vapor de vaivén de la misma potencia, y puede ser de un tamaño mucho mayor que las máquinas de vapor convencionales.

Desde el punto de vista de la mecánica, tiene la ventaja de producir directamente un movimiento giratorio sin necesidad de una manivela o algún otro medio de convertir la energía de vaivén en energía rotatoria. Como resultado de ello, la turbina de vapor a remplazado a las máquinas de vaivén en las centrales generadoras de energía eléctrica, y también se utiliza como una forma de propulsión a chorro.

La turbina de vapor no fue inventada por una única persona, sino que fue el resultado del trabajo de un grupo de inventores a finales del siglo XIX. Algunos de los participantes más notables en este desarrollo fueron el británico Charles Algernon Parsons,

responsable del denominado principio de escalones, mediante el cual el vapor se expandía en varias fases aprovechándose su energía en cada una de ellas y De Laval fue el primero en diseñar chorros y palas adecuadas para el uso eficiente de la expansión del vapor

3.7.2 TIPOS DE TURBINAS DE VAPOR

La clasificación de las turbinas de vapor puede hacerse según la forma de aprovechamiento de la energía contenida en el flujo de vapor (reacción o acción), según el número de etapas (multietapa o monoetapa), según la dirección del flujo de vapor (axiales o radiales), si existe o no extracción de vapor antes de llegar al escape y por último por la presión de salida del vapor (contrapresión, escape libre o condensación).

- Turbina de vapor de reacción: En la turbina de reacción la energía mecánica se obtiene de la aceleración del vapor en expansión. Las turbinas de este tipo cuentan con dos grupos de palas, unas móviles y las otras fijas. Las palas fijas están colocadas de forma que cada par actúa como una boquilla a través de la cual pasa el vapor mientras se expande, llegando a las palas de las turbinas de reacción, que se montan en un tambor que actúa como eje de la turbina. En la turbina de reacción se produce un escalonamiento de velocidad. Este escalonamiento consiste en producir una gran caída de presión en un grupo de toberas y utilizar la velocidad resultante del vapor en tantos grupos de álabes como sea necesario mediante un juego de enderezadores reorientando el vapor de salida de la primera etapa para que entre en un segundo rodete. Se denomina grado de reacción a la fracción de la expansión producida en la corona móvil respecto a la total, un grado de reacción 1 indica que la turbina es de reacción pura, mientras que para el valor cero será una turbina de vapor de acción.
- Turbina de vapor de acción: Una turbina de vapor de acción con un escalonamiento de velocidad consta fundamentalmente de:
 1. Un distribuidor fijo, compuesto por una o varias toberas, cuya misión es transformar la energía térmica del vapor puesta a su disposición, total (acción), o parcialmente (reacción), en energía cinética.
 2. Una corona móvil, fija sobre un eje, cuyos álabes situados en la periferia tienen por objeto transformar en energía mecánica de rotación, la energía cinética puesta a su disposición.

Su funcionamiento consiste en impulsar el vapor a través de las toberas fijas hasta alcanzar las palas, que absorben una parte de la energía cinética del vapor en expansión, lo que hace girar el rotor y con ella el eje al que está unida. Las turbinas de acción habituales tienen varias etapas, en las que la presión va disminuyendo de forma escalonada en cada una de ellas.

- Turbina monoetapa: Se utilizan para turbinas de hasta 2 MW de potencia, al ser de más simple construcción son las más robustas y seguras, además de acarrear menores costes de instalación y mantenimiento que las multietapas.
- Turbina multietapa: El objetivo de los escalonamientos en la turbina de vapor es disminuir la velocidad del rodete conservando una velocidad de los alabes próxima al valor óptimo con relación a la velocidad del chorro de vapor. Si tenemos una presión de vapor muy elevada sin las etapas necesarias, sería necesario que la turbina girase a una velocidad muy alta, que no sería viable mecánicamente por las dimensiones que debería tener el reductor (caja de engranajes que ajustaría la velocidad final del eje a la deseada).
Consiguen mejores rendimientos que las monoetapa, además pueden absorber flujos de vapor de mucha mayor presión, por lo que se utilizan para turbinas de alta potencia. Suelen utilizarse turbinas mixtas, con las primeras etapas de acción y las finales de reacción.
- Turbina de flujo axial: Es el método más utilizado, el paso de vapor se realiza siguiendo un cono que tiene el mismo eje que la turbina.
- Turbina de flujo radial: El paso de vapor se realiza siguiendo todas las direcciones perpendiculares al eje de la turbina.
 - Turbina con extracción de vapor: Se realiza en etapas de alta presión, enviando parte del vapor de vuelta a la caldera para sobrecalentarlo y reenviarlo a etapas intermedias. En algunas ocasiones el vapor también puede ser extraído de alguna etapa para derivarlo a otros procesos industriales.
 - Turbina de contrapresión: La presión del vapor a la salida de la turbina es superior a la atmosférica, suele estar conectado a un condensador inicial que condensa al vapor, obteniéndose agua caliente o sobrecalentada, que permite su aprovechamiento térmico posterior.
 - Turbinas de condensación: El vapor sale a una presión inferior a la atmosférica, en este diseño existe un mayor aprovechamiento energético que

a contrapresión, se obtiene agua de refrigeración de su condensación. Este diseño se utiliza en turbinas de gran potencia que buscan un alto rendimiento.

3.7.3 APLICACIONES PARA TURBINAS DE VAPOR

Las turbinas de vapor se emplean principalmente en las centrales eléctricas de generación de energía eléctrica, cuyos componentes principales son:

- **Caldera:** su función es la de generar el vapor necesario para el funcionamiento de la turbina.
- **Turbina:** es la encargada de utilizar la energía del vapor de la caldera y transformarla en trabajo útil para mover un generador eléctrico.
- **Condensador:** se emplea para condensar el vapor que sale de la turbina.
- **Bomba:** usada para alimentar la caldera con el agua que proviene del condensado

3.7.4 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Las primeras turbinas de vapor del tipo industrial, fue la desarrollada por Laval hace mediados del siglo XIX, la que aprovechaba la energía cinética del vapor para impulsar un rotor que tenía una serie de paletas sobrepuestas sobre su superficie mientras que el vapor era acelerado y guiado a través de un Boquerel.

Posteriormente con el fin de mejorar su primer diseño, se colocaron varios Boquereles, tratando de cubrir en mejor forma el rotor.

En ambos diseños el vapor empleado se dispersaba en la atmósfera; para recuperarlo se ideó una carcasa para así poderlo guiar hacia un condensador, a su vez fue necesario variar la posición de las paletas en el rotor, ubicándolas en la periferia del mismo para darle sentido axial, al vapor y además el Boquerel varió su forma circular a arco de corona circular, llamándose ahora, alabes de tobera o simplemente estator. Las paletas de rotor se conocen actualmente como alabes móviles.

Al analizar el primer diseño de la turbina Laval, se observa que el principio de funcionamiento es el empleo de la energía cinética del vapor que actúa directamente sobre los alabes del rotor.

3.7.5 PARTES CONSTRUIDAS DE UNA TURBINA

Las turbinas de vapor están constituidas por dos partes principales; la parte giratoria- el rotor y la parte estacionaria- el estator. El estator (cilindro), está constituido por pedestales, cargadores, bloques de toberas, diafragmas y sellos y en ocasiones por el sistema de distribución de vapor y por el condensador.

Los pedestales de la turbina sirven como apoyo del cilindro y de los rotores. Los cilindros de las turbinas normalmente se fabrican en dos mitades unidas entre sí por la unión horizontal y apretadas mediante tornillos y espárragos. Para garantizar la coincidencia plena de ambas mitades, en la unión horizontal.

Se practican orificios guías con espárragos especialmente contruidos para ello.

Las turbinas que se construyen con parámetros de vapor vivo, que superan las 90 atm. y los 500° C y que poseen cilindros de alta y media presión con recalentamiento intermedio, normalmente están contruidos con cilindros interiores. Los cilindros interiores también son unidos por la unión horizontal. Las turbinas que se construyen con cilindros interiores tienen la ventaja de disminuir las tensiones térmicas e hidráulicas que sufre el metal del cilindro y como consecuencia el espesor de las bridas de la unión horizontal y, además, facilitar la aceleración del arranque con un calentamiento más uniforme.

Dentro del cilindro están maquinados los encajes de los cargadores, diafragmas y sellos. Algunos cilindros como los de las máquinas de reacción tienen ranuras para insertar los álabes estacionarios y otros cilindros por razones tecnológicas tienen cargadores que agrupan sellos y diafragmas, esto facilita conformar el espacio y ubicar las extracciones de forma más compacta, también disminuye considerablemente la cantidad de tornillos lo que agiliza el mantenimiento.

Para impedir la fuga del vapor hacia el ambiente o las pérdidas entre los pasos y para evitar la penetración del aire en el cilindro sometido al vacío se construyen sistemas de empaquetadura o de sellaje. Las cajas de sellos ubicadas en el exterior del cilindro se llaman estufas.

3.8 SISTEMA DE CONTROL AUTOMATIZADO

La automatización en los procesos de generación y transmisión eléctrica son un paso fundamental para enfrentar los desafíos futuros del sistema eléctrico nacional, a través de la incorporación de nuevas tecnologías, donde los automatismos cumplen un papel de primera línea con el propósito de optimizar las operaciones de las centrales generadoras y del Coordinador Eléctrico Nacional.

Un automatismo es una solución tecnológica que permite gestionar los activos de un sistema eléctrico, como líneas de transmisión, transformadores, reactores, sistemas de transmisión AC flexible (Facts), y parques de generación de energía renovable.



Figura 3-6: sistema automatizado

Fuente: <https://www.revistaei.cl/reportajes/enorchile-alista-inauguracion-de-centro-de-control-y-despacho/>

Las tecnologías de control automatizados han ido evolucionando, esto debido a la envergadura tecnológica e informática de las redes eléctricas, la eficiencia alcanzada en los mercados y por las políticas y normativas del sector eléctrico, siendo los protocolos de comunicación un elemento clave para la automatización del sistema, así como

también otros automatismos como los esquemas desconexión automática de generación y de carga, y los sistemas black start (proceso de restauración de una central eléctrica para el funcionamiento sin depender de la red externa de transmisión de energía eléctrica).

La incorporación de automatismo es necesaria debido a la complejidad progresiva que han experimentado los sistemas interconectados en las últimas décadas. Ya no es posible para un operador procesar los cientos y miles de señales que vienen de terreno para coordinar la operación de los sistemas.

Otro motivo que justifica la instalación de automatismos, es el ahorro que trae este tipo de mecanismo, porque simplemente es más económico instalar estos esquemas que realizar obras convencionales. En este escenario los automatismos son una de las tecnologías prioritarias que han identificado las autoridades regulatorias y los actores del mercado eléctrico, pensando en el impacto que produce en el sistema nacional la mayor penetración de las Energías Renovables No Convencionales (ERNC).

En Chile se han implementado una serie de automatismos en el sistema del norte del SIC (sistema interconectado central) para enfrentar de mejor manera la generación, tanto térmica como de las principales centrales de energía renovable, para optimizar los tiempos de operación, de respaldo y así evitar lo máximo posible los vertimientos de energía.

Es así como la instrucción de los anteriores CDEC (centro de despacho económico de carga) para las empresas generadoras ha sido la incorporación de nuevas tecnologías para sus operaciones, como por ejemplo el Control Automático de Generación (AGC en inglés), que cumple con una relevancia vital para la comunicación entre el Coordinador Eléctrico Nacional y las empresas generadoras para hacer la regulación secundaria de la frecuencia y así distribuir de mejor forma la carga en las diferentes unidades generadoras.

Avances

En materia de tecnologías para la automatización destaca el avance en la tecnología de los buses de campo, que son sistemas de transmisión de datos, mediante la incorporación de nuevos protocolos para comunicarse entre estos equipos.

Es de gran relevancia para la industria una segura y estandarizada comunicación entre los equipos del sistema que agilice el siguiente paso hacia redes inteligentes permitiendo una mayor incorporación de energías renovables, gestión de la demanda y preparando el camino hacia la era de la digitalización y la industria.

Los automatismos tienen una gran importancia para la seguridad, disponibilidad y eficiencia económica, puesto que permiten no solo gestionar parques de energía renovable, sino que también pueden ser diseñados y utilizados exclusivamente para incrementar la seguridad del sistema, sobre todo ante casos de contingencia.

3.9 GENERADOR ELÉCTRICO

El generador eléctrico rotativo es una máquina capaz de convertir el movimiento rotativo de un eje en energía eléctrica. En el caso concreto de las centrales de ciclo combinado el eje que acciona el generador está unido a una turbina de gas o a una de vapor.

El generador eléctrico rotativo de corriente alterna se basa en el hecho de que al hacer girar unos cables que forman un circuito eléctrico cerrado en el seno de un campo magnético, en el circuito se genera una corriente de voltaje e intensidad variable: cuando la superficie encerrada por los hilos que forman el circuito eléctrico bobina se encuentra en posición completamente perpendicular a las líneas del campo magnético el voltaje y la intensidad se hacen máximas, y cuando en cambio la superficie encerrada por los hilos es paralela a las líneas del campo magnético la tensión y la intensidad que circula por el circuito eléctrico se hacen cero.

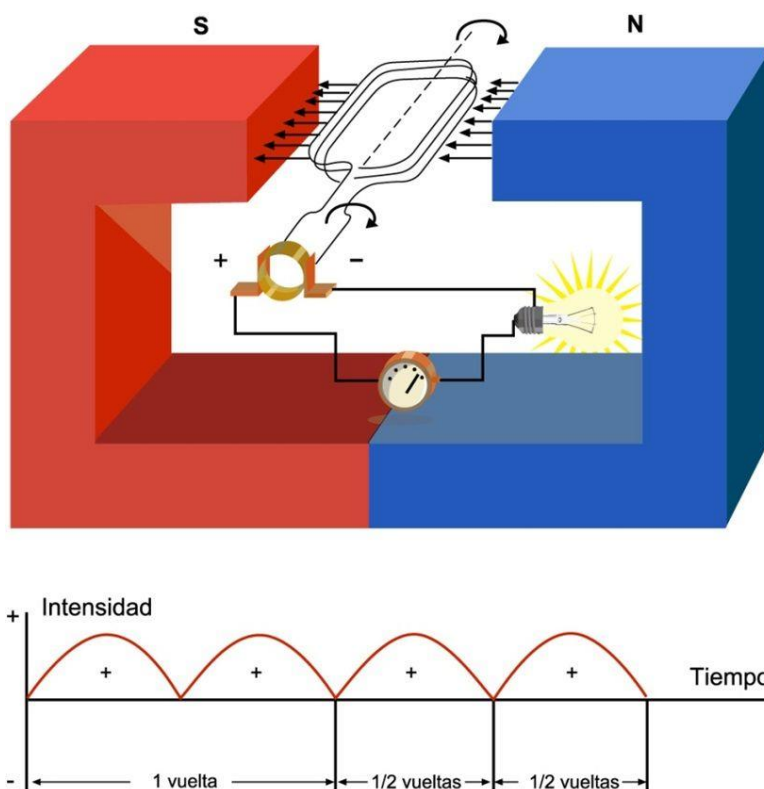


Figura 3-7: principio de funcionamiento generador eléctrico

FUENTE: <https://www.rinconeducativo.org/es/recursos-educativos/que-es-un-generador-electrico>

Es posible clasificar los generadores eléctricos rotativos de acuerdo con diferentes criterios. Los más importantes son los siguientes:

De acuerdo con el tipo de corriente

De acuerdo con el tipo de corriente que generan, existen dos tipos de generadores: generadores de corriente continua y generadores de corriente alterna.

De acuerdo con la velocidad de giro

Los generadores pueden girar a una velocidad fija marcada definida por la frecuencia de la red eléctrica a la que están conectados o pueden tener una velocidad variable, que no se ajusta exactamente a la frecuencia de la red. Los primeros se denominan 'síncronos', y Los segundos se denominan 'asíncronos'.

De acuerdo con el tipo de refrigeración

De acuerdo con el tipo de refrigeración, los generadores se dividen en tres tipos principales: refrigerados por aire en circuito abierto, refrigerados por aire en circuito cerrado o refrigerados por otro gas, como el hidrógeno.

De acuerdo con el número de fases

De acuerdo con el número de fases con los que cuenta el generador, existen dos tipos principales: los generadores síncronos de corriente alterna monofásicos y los generadores trifásicos.

Por el tipo de polos: Generadores de polos salientes, y Generadores de polos lisos.

Un generador tiene una serie de parámetros que lo identifican, y que dan una idea cuantitativa de las características o propiedades del generador. Estos parámetros, para cualquier máquina, se denominan 'parámetros característicos' o prestaciones. Los principales parámetros característicos de un generador son los siguientes: Potencia aparente máxima, Potencia activa y coseno, Intensidad máxima, Voltaje de generación, Número de polos del rotor, Número de fases del estator, Velocidad de rotación, Corrientes de excitación nominales, Razón de corto circuito RCC, Tipo de refrigeración, Tipo de excitatriz, Clase de servicio, Tipo de aislamiento, Grado de protección, La placa de características, La hoja de datos técnicos del generador.

3.10 HIDRÓGENO COMO FUENTE ALTERNATIVA DE ENERGÍA

En las últimas décadas, ha existido un gran interés en el hidrógeno (H₂), debido a que es considerado como materia prima para una gran variedad de procesos. Por ejemplo, con nitrógeno en la síntesis de amoníaco, con CO y CO₂ para producir metanol, en la fabricación de medicamentos, producción de peróxido de hidrógeno, en las industrias electrónica y petroquímica y para producir numerosos productos químicos en diversas síntesis.

El hidrógeno es considerado una fuente de energía limpia, además, se ha reportado que es un elemento esencial en la generación de sistemas de energía limpia y sustentable, pero es necesario el desarrollo de mejores tecnologías, como la de almacenamiento y transporte, para convertirse en una fuente de energía factible. Esto se debe principalmente a que se trata de un gas difícilmente licuable, teniendo un punto de fusión de -259 °C, un punto de ebullición de -253 °C y una densidad de 0.089 kg/m³ a 1 atm de presión, y una presión y temperatura crítica de 12.8 atm y -240 °C respectivamente.

Prácticamente cualquier fuente, ya sea renovable o no renovable, que contenga en su estructura molecular al hidrógeno puede ser utilizada para la generación del hidrógeno como gas. Debido a su gran rendimiento energético (122 kJ/g), el hidrógeno tiene un gran potencial para reducir la dependencia del petróleo y de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), teniendo un rendimiento energético 2.75 veces mayor que el de los hidrocarburos.

3.10.1 MÉTODOS PARA LA PRODUCCIÓN HIDRÓGENO

Alrededor de la mitad del hidrógeno producido (48%) proviene del reformado del gas natural con vapor de agua, dado a que es la manera más económica de producirlo desde una fuente de hidrocarburos. Sin embargo, son varios los métodos para la producir hidrógeno. Entre las tecnologías actuales para su producción se destacan la eléctrica, la térmica, la híbrida y la biológica.

Tipos de técnicas	
Eléctrica	Gasificación por arco de plasma
	Electrolisis
Térmica	Termólisis
	División termoquímica del agua

	Conversión de biomasa
	Reformado con vapor de agua
	Gasificación
Híbrida	Método foto - electroquímico
	Ciclos híbridos de separación termoquímica del agua
	Electrolisis de alta temperatura
Biológica	Fermentación oscura
	Biofotólisis
	Foto fermentación
	Fotosíntesis artificial

Tabla 3-3: métodos para producción de hidrógeno

Fuente: adaptado de Çelik, D. et al. (2017).

Para las técnicas de producción de hidrógeno mencionadas anteriormente, las materias primas utilizadas pueden provenir de fuentes renovables y no renovable, como la biomasa y los combustibles fósiles respectivamente. Así mismo, y para fines de un impacto ambiental menor, actualmente hay varios trabajos de investigación que se enfocan al desarrollo de tecnologías y métodos para el aprovechamiento de las fuentes renovables.

3.11 TRITURADORAS INDUSTRIALES DE R.S.U.

Las trituradoras industriales son máquinas útiles en la reducción del volumen de residuos voluminosos como montones y resmas de papel, materiales de papel, neumáticos, refrigeradores y en la trituración de diferentes materiales como chatarra metálica: hierro, aluminio, cobre, plásticos, pero también materiales como residuos sólidos urbanos y residuos industriales.

La aplicación de las trituradoras es esencial para los eco-centros, vertederos, centros para la demolición de viejos vehículos y todas las organizaciones que trabajan en el campo de la gestión y recuperación de residuos. Gran eficiencia y rendimiento, además de una construcción especialmente robusta, son las características del diseño de las trituradoras.

El bajo número de revoluciones permite alcanzar altos pares con bajo nivel de consumo. El uso de acero especial para las cuchillas garantiza ciclos vitales extra largos, y un considerable ahorro de piezas de repuesto. El exclusivo sistema de cuchillas permite, desde el principio, una máxima utilización de las plantas de clasificación o en el tratamiento de R.S.U.

Esta tecnología permite sacar el máximo provecho de cada etapa del proceso de tratamiento para alcanzar productos homogéneos adecuados para el transporte y para someterse a posteriores transformaciones: es la solución ideal para el tratamiento de los recursos, materiales y energías.



Figura 3-8: trituradora de residuos solidos urbanos

Fuente: https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=oq_k2HqIg5I

3.12 CINTA TRANSPORTADORA

Las cintas transportadoras junto con los transportadores de rodillos tienen una función fundamental para el traslado eficiente de todo tipo de materiales o mercancías dentro de una planta de producción, de un almacén industrial o cualquier empresa logística.

¿Qué son y cómo funcionan las cintas transportadoras?

Las cintas transportadoras, también denominadas transportadores de banda, se utilizan para trasladar mercancía y productos que requieren una mayor estabilidad o que debido a su tamaño o características no se pueden transportar con transportadores de rodillo. Las bandas también pueden actuar como puntos de procesamiento desde las que se opera sobre los artículos o productos que se trasladan.

El funcionamiento una cinta transportadora consiste en el movimiento de un soporte físico continuo, la banda o cinta, montado sobre unas plataformas de dimensiones variables y que pueden contar con distintos tipos de accesorios (guardas laterales, topes, desviadores, barandillas, ruedas y otro tipo de accesorios neumáticos o mecánicos). La velocidad y capacidad de carga dependerán tanto de las características del material a desplazar (polvo, grano fino, paquetes, etc.) como del tipo de cinta transportadora.

Aunque su principio básico de funcionamiento pueda parecer simple (el movimiento de una banda debido al giro de los tambores o poleas que a su vez son accionados por un motor); el sistema de una cinta transportadora utilizada en la industria es bastante más complejo y llevan aparejado un importante desarrollo tecnológico con aplicaciones técnicas realmente innovadoras.

3.12.1 COMPONENTES BÁSICOS DE UNA CINTA TRANSPORTADORA

Uno de los principales materiales utilizados es la tela engomada pero pueden tener composición muy variable, principalmente derivados del caucho. También podemos encontrar bandas modulares plásticas, realizadas en poliéster, PVC, poliamida, acetal, etc. Esto permite disponer de cintas transportadoras para muy diversos usos.

En la composición o estructura de la banda pueden variar el número de capas y las distintas calidades de revestimiento según su uso en cada tipo de industria (resistencia a fuego, aceites y grasa, productos químicos, resistencia a la tensión, deslizamiento, etc.). Recordemos que sobre una cinta transportadora se pueden trasladar desde materiales abrasivos o cortantes (arenas, gravas, etc.) como productos más delicados (por ejemplo, frutas).

Igualmente, las cintas pueden variar en anchura y grosor según la capacidad de carga. Las bandas también pueden fabricarse con distintos colores o dibujos (rayas o marcas) para ayudar en la automatización de procesos; y su superficie puede presentar distinta

rugosidad o incluso relieves para evitar que las mercancías resbalen o rueden, así como para permitir traslados con distintos ángulos de inclinación sin que los materiales caigan (desde inclinaciones suaves, 15°, hasta más marcadas, 45°).

3.12.2 TRANSMISIÓN: TAMBORES Y MOTOR

Los tambores son los rodillos que, con su giro, provocan el avance de la cinta debido a la fricción de esta sobre ellos (transmisión de banda) o por la acción de piñones y bandas dentadas (transmisión de cadena). En un esquema general de la transmisión de una cinta transportadora de banda tenemos que el movimiento se genera en el tambor motriz al que irá conectado el motor. Por su parte, el tambor de reenvío provocará el retorno de banda hacia la parte superior. Los tambores de inflexión se sitúan por la parte inferior de la banda a la salida del tambor motriz y a la entrada del tambor de reenvío para modificar el ángulo de salida y entrada a estos. De esta forma, se asegura que la superficie de banda que entre en contacto con ellos sea la óptima para conseguir así el máximo rendimiento y eficiencia. También se pueden situar por debajo de la cinta los tambores de desvío que se encargan de dirigirla hacia el tambor de tensión para mantener la correcta tensión de la banda. Además de los mencionados, y dependiendo del tipo y uso de la cinta transportadora, podemos encontrar otros tipos de tambores con distinta funcionalidad, por ejemplo, en cintas transportadoras con ángulos de elevación.

Motor

Según la localización del tambor motriz podemos encontrar motorización en cabezal o frontal y motorización central. La potencia y características del motor dependerán del tipo de cinta transportadora y su uso. Igualmente, la capacidad de automatización de su funcionamiento será un aspecto muy importante en algunos sistemas de producción.

3.12.3 LA ESTRUCTURA

Los bastidores sobre los que se monta y se desplaza la banda transportadora están formados por una estructura normalmente metálica (acero pintado, cincado, acero inoxidable, etc.). Esta puede variar en longitud, altura y forma (cintas en curva); así como permitir el acceso para la manipulación de operarios sobre el material

transportado. Este chasis puede incorporar las guías de deslizamiento, además de carriles laterales o guías de plástico a los lados para acompañar a la cinta en su recorrido. Sobre la estructura se acoplarán y montarán todos los elementos principales de la cinta así como los sistemas accesorios que aportan fiabilidad al sistema completo. La estructura debe ser resistente y proporcionar fiabilidad y durabilidad al sistema, permitiendo el óptimo funcionamiento de la cinta transportadora en las distintas condiciones ambientales de uso: resistencia a humedad, temperatura, oxidación, resistencia a golpes accidentales, etc.

Además de los componentes básicos relacionados con el movimiento, una cinta transportadora cuenta con un importante número de sistemas accesorios que aseguran la estabilidad del movimiento, además de aportar versatilidad y adaptación a los distintos tipos de cargas.

Algunos elementos accesorios...

- Estaciones de impacto con estructuras almohadilladas para la recepción de carga.
- Estaciones autocentrantes para la recolocación de la cinta.
- Sistemas para transporte plano o acanalado (en cuna).
- Estaciones autolimpiantes de retorno: raspadores y limpiadores para eliminar restos y limpiar la banda antes de su retorno.
- Sistemas para el ajuste de la tensión: permiten el ajuste de los tambores.
- Sistemas de automatización: sensores electrónicos para la regulación de velocidad, parada e inicio, con el fin de mantener un flujo continuo y sincronizado del trabajo de la cinta transportadora mediante un software de gestión.

Los transportadores de banda o cintas transportadoras son elementos fundamentales en la industrial actual. El correcto funcionamiento de las cintas transportadoras puede llegar a ser decisivo en la eficacia de la cadena de producción al completo y la logística de un almacén.

Aunque el principio de funcionamiento es general para todas ellas, se trata de un sistema muy versátil, pues existen una gran variabilidad de transportadores de banda (planos, ascendentes, con inflexiones, curvos, espirales de baja y alta velocidad) así como distintas opciones de fabricación, lo que permite adaptar su funcionamiento al transporte y manipulación de casi cualquier tipo de producto.

3.13 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La basura es transportada desde el vehículo de recolección hacia la planta de tratamiento de desechos, donde pasa a la zona de recepción y almacenamiento de los residuos (pozo de almacenamiento) es desde aquí donde se toma el aire requerido para la generación de plasma. El aire se extrae desde el pozo de almacenamiento de residuos, para que tenga una presión negativa y así evitar el escape de olores.

Una grúa de agarre toma los desechos para trasportarlos hasta la zona de trituración de los residuos, donde se busca la reducción del volumen de residuos, permitiendo sacar el máximo provecho de cada etapa del proceso de tratamiento para alcanzar productos homogéneos y pasar posteriormente a la zona de secado.

En este punto se necesita llegar a los niveles de humedad adecuados de la materia prima (20% de humedad) para ser tratados en la zona de gasificación.

Para el tratamiento de secado, se usa el calor residual del gas producido recirculándolo y así aprovechando este calor para llegar al porcentaje de humedad requerido con el fin de aumentar el poder calorífico de la materia prima. A su vez se logra enfriar el gas de síntesis para que llegue a la temperatura ideal y ser depurado.

Una vez habiendo alcanzado el nivel de humedad deseado del combustible para el tratamiento, los residuos entran en el reactor atmosférico, en esta etapa se genera un proceso termoquímico, donde los residuos sólidos son sometidos a altas temperaturas (aproximadamente 4.000°C en la zona plasmática). Este tipo de reactores cuenta con una cámara dotada de antorchas que producen plasma térmico. Una antorcha de plasma es un equipo industrial que permite producir un gas ionizado a altísimas temperaturas mediante la generación controlada de un arco voltaico.



Figura 3-9: antorcha de plasma

Fuente: <https://www.tec.ac.cr/proyectos/i-plare-torch-diseno-simulacion-antorcha-plasma>

El proceso posterior (gasificación de los residuos sólidos) ocurre bajo condiciones casi nulas de oxígeno, dado que no se desea llegar a la combustión de nuestra materia prima. El contenido de carbono de los residuos orgánicos al interactuar con el plasma a tan altas temperaturas genera que se rompan los enlaces de las moléculas que componen el material orgánico de nuestros residuos, estos quedan en forma de átomos inofensivos transformándose en un gas combustible denominado "syngas" o "gas de síntesis" (temperatura de salida 1.700°C aproximadamente).

Las altas temperaturas del plasma provocan que en el reactor funcionando en condiciones reductoras se produzcan las siguientes reacciones:

Cracking Térmico: Las moléculas complejas son disociadas en moléculas más ligeras formando gases de hidrocarburos e hidrogeno.

Oxidación parcial: Favorecen la formación del monóxido de carbono y accesoriamente de pequeñas cantidades de dióxido de carbono y de agua. Estos dos últimos compuestos resultantes de reacciones de oxidación completa tienen lógicamente un efecto negativo sobre el valor calorífico del gas de síntesis. Es indispensable, por tanto, controlar la entrada de oxígeno en el reactor.

El gas de síntesis producido es un gas de alta calidad compuesto principalmente de hidrógeno y monóxido de carbono, una vez limpio el syngas puede ser utilizado para

producir energía eléctrica alimentando un sistema ORC, una turbina vapor, una turbina de gas o un motor de combustión interna. El syngas también puede ser destinado para producir combustibles líquidos como bioetanol y biodiesel.

Por otra parte, los residuos inorgánicos de nuestros residuos se funden y quedan depositados en fondo del reactor, formando un material vitrocerámico, que se caracteriza principalmente por ser una sustancia inerte que suele usarse como relleno en construcción como por ejemplo en asfalto, también puede ser procesado para ser utilizado en la fabricación de lana mineral (material aislante de alta temperatura).

El gas de síntesis generado continúa otro proceso, que consta de enfriar y purificar el gas previamente, para ello se requiere de un enfriador de alta potencia que busca disminuir la temperatura de éste hasta los 900°C, el gas es recirculado para aprovechar el exceso de calor al pasar por la zona de secado de los residuos, luego de esta etapa de aprovechamiento energético. Seguidamente por medio de un intercambiador de calor por convección se baja aproximadamente a unos 450°C.

Posteriormente el gas pasa a través de un filtro con el fin de eliminar partículas y disminuir la temperatura del gas de síntesis hasta los 120°C. Una vez que el gas se limpia de HCl, HCN y amoníaco a través de un venturi y finalmente se enfría a 35 °C, que luego se comprime a través de un compresor de tres etapas con refrigeración intermedia.

El gas de síntesis ya purificado y con su temperatura ideal entra una turbina de vapor que en simples palabras es un motor rotativo que convierte la energía de un vapor de gas o gas, en energía mecánica. El elemento básico de la turbina es la rueda o rotor, que cuenta con palas, hélices, cuchillas o cubos colocados alrededor de su circunferencia, de tal forma que el fluido en movimiento produce una fuerza tangencial que impulsa la rueda y la hace girar. Esta energía mecánica se transfiere a través de un eje para proporcionar el movimiento a un generador eléctrico.

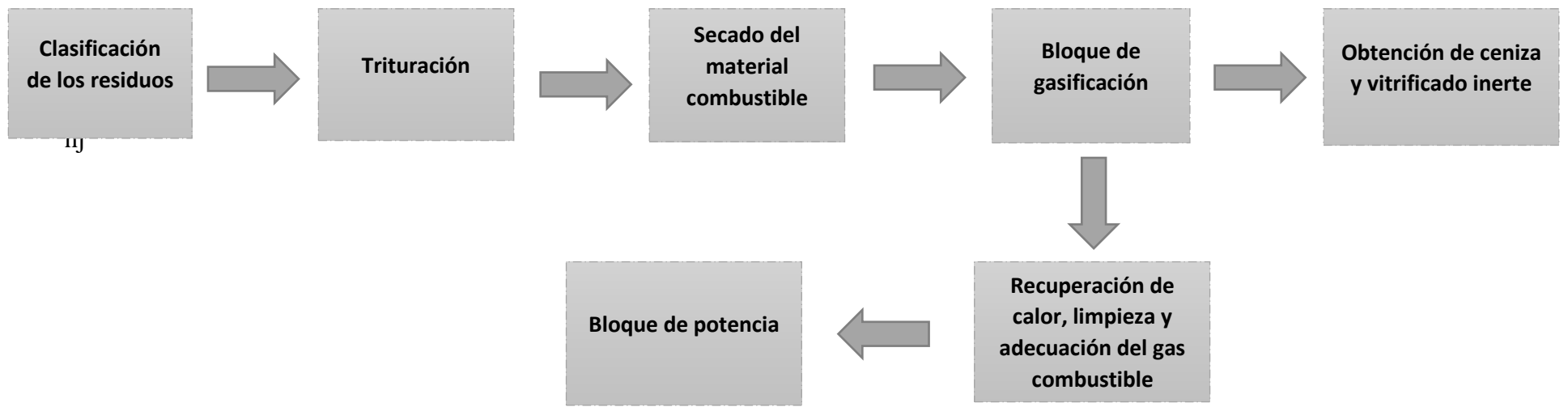


Figura 3-10: Diagrama general simplificado

Fuente: elaboración propia

CONCLUSIONES

Aplicando la gasificación de residuos sólidos urbanos como fuente de energía eléctrica, soluciona la problemática de acumulación de basura en nuestro país, eliminando gran cantidad vertederos ilegales y microbasurales, además de liberar en gran medida el exceso de acumulación de residuos en rellenos sanitarios, utilizando estos como materia prima para combustible, y transformarlos en energía eléctrica útil para la población.

No está de más considerar que Chile es el país que genera más basura en Latinoamérica, tomando estos desechos y transformándolos, nuestra gran problemática se convierte en una enorme fuente de materia prima para producir energía. La tecnología propuesta es un sistema muy amigable con el medio ambiente que ayuda enormemente a bajar el nivel de contaminación de subsuelos, emisiones de gases de invernadero, impacto visual, entre tantas otras consecuencias que trae consigo la gran acumulación de basura.

Comparándola con otras energías renovables no convencionales el sistema propuesto sigue teniendo grandes ventajas, debido a que es un sistema cerrado donde ningún subproducto es liberado al ambiente dado que se retroalimenta; por ejemplo para procesos de enfriamiento, obtención de plasma, producción de más energía y reutilización de la ceniza y escoria.

LINKOGRAFÍA

<http://generadoras.cl/media/page-files/1562/Bolet%C3%ADn%20Generaci%C3%B3n%20Enero%202021.pdf>

<https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1487/1/Tesis%20Marco%20Villamar%C3%ADn.pdf>

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/83532/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

GRAZIANI, P. Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos. Oportunidades en América Latina. Editado por CAF - Banco de Desarrollo de América Latina. 2018.

Rodríguez Muñoz, P. (2013). Tecnología de Gasificación de Biomasa.

SEREMI RM, Ministerio del Medio Ambiente, «Gestión y Valorización de Residuos Sólidos en la Región Metropolitana,» 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.santiagorecicla.cl/wp-content/uploads/2015/03/Informe-gestion-RM2012.pdf>. [Último acceso: 24 noviembre 2015].

https://www.researchgate.net/publication/267365857_Plasma_Gasification_Process_Modeling_and_Energy_Recovery_From_Solid_Waste

https://www.bcn.cl/leychile/consulta/listado_n_sel?grupo_aporte=&sub=501&agr=1020&comp=&npagina=1&itemsporpagina=10&totalitems=17&tipoviene=4

https://www.bcn.cl/leychile/consulta/listado_n_sel?comp=&agr=1020&grupo_aporte=&sub=510

http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/2_marco_legal_agosto_2018.pdf

<https://docplayer.es/44093875-Gasificacion-por-plasma-de-westinghouse.html>

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442020000300002

<https://core.ac.uk/download/pdf/286064879.pdf>

https://www.revista.ingenieria.uady.mx/volumen13/tecnologia_plasma.pdf

http://www.conama9.conama.org/conama9/download/files/CTs/2460_DRodr%EDguez.pdf

<https://www.unideco.com/AMBIENTAL/Residuos%20solidos%20urbanos%20RSU/Gasificacion/GasificacionBinder1.pdf>

https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3157/determinacion_potencial_requerimientos_aplicar_tecnologia.pdf?sequence=1&isAllowed=y