

**EL PROCESO DE GASIFICACIÓN Y  
VITRIFICACIÓN DE RESIDUOS POR  
PLASMA CON OPTIMIZACIÓN DE LA  
PRODUCCIÓN ELÉCTRICA**

***"TRANSFORMANDO LOS RESIDUOS EN  
ENERGÍA"***

La producción de residuos ha existido siempre de manera normal en toda actividad humana...

...¿Porqué entonces se habla últimamente tanto de ellos?  
¿Dónde está la novedad del problema?

**Hay al menos tres motivos:**

- **EL VOLUMEN DE RESIDUOS** se incrementa año tras año y no se consigue desenclavar la cantidad de residuos producidos de la capacidad del consumo que tenemos como sociedad.
- **LA NATURALEZA** de los residuos que ha cambiado sustancialmente pasando de ser mayoritariamente orgánicos a inorgánicos. En los residuos se encuentran de forma masiva plásticos, vidrios, metales, cuyo depósito en condiciones no adecuadas puede dar lugar a deterioros medioambientales irreversibles.
- **LA CONCENTRACIÓN** de la producción de residuos como consecuencia de la migración masiva desde el medio rural a las ciudades.

... Y ante esta situación cual es el posicionamiento de los poderes públicos....

La Comunidad Europea ha definido una estrategia para la gestión de los residuos que se basa en los siguientes principios:

- La prevención en la generación de residuos
- El fomento del reciclado y la reutilización
- La optimización y mayor control de la eliminación definitiva
- La reducción de los traslados de residuos y mejora de la normativa al respecto
- Innovación y mejora en los instrumentos de gestión de residuos ( reglamentarios, económicos, informativos y estadísticos, de planeamiento, vigilancia y control, etc.)

A partir de estos principios y de las Directivas, Decisiones de la Comisión, etc., los países miembros han desarrollado una serie de medidas con las que se quiere hacer frente a una situación actual que se puede describir como sigue:

## Algunos datos significativos de la situación actual en Europa son:

- ✓ Se generan más de **2.000 Millones ton/año** de residuos de los que más de **40 Millones ton/año** son peligrosos.
- ✓ Se mantienen altos crecimientos en la generación de residuos. En la década de los 90 el **incremento anual** fue superior al **5% anual**
- ✓ Los RSU generados en los países **OCDE** totalizan entre **250 y 300 Millones de toneladas anuales**.
- ✓ La mayor parte de los residuos se siguen eliminando en **vertederos**. Los vertederos existentes están saturados y al límite de su vida útil y cada día resulta más difícil encontrar emplazamientos adecuados y vencer el rechazo social.
- ✓ La trágica dependencia europea de fuentes energéticas externas hace que cualquier **alternativa de tratamiento** de los residuos que se plantee deba contemplar seriamente, junto al **respeto del medio ambiente**, el **balance energético global**.

Algunos gráficos que representan esta situación se presentan a continuación...

# Algunas cifras de la situación actual en Europa (I)



## Algunas cifras de la situación actual en Europa (II)

### PRIORIDADES EN LA UE

#### La seguridad de suministro

De no tomarse medidas, la dependencia de la Unión respecto al suministro externo podría alcanzar el 70% antes de 2030.

#### La protección del medio ambiente

El cambio climático es la principal preocupación. La Unión se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en el Protocolo de Kioto. Sin embargo, el sector energético, en especial, el transporte, aumenta las emisiones de CO<sub>2</sub>.

### OBJETIVOS CUANTITATIVOS EN LA UE

#### Energías renovables

12% del consumo bruto de energía en 2010

[Libro Blanco 1997](#)

#### Electricidad a partir de energías renovables

22% del consumo bruto de electricidad en 2010

[Directiva 2001/77/CE](#)

#### Biocarburantes

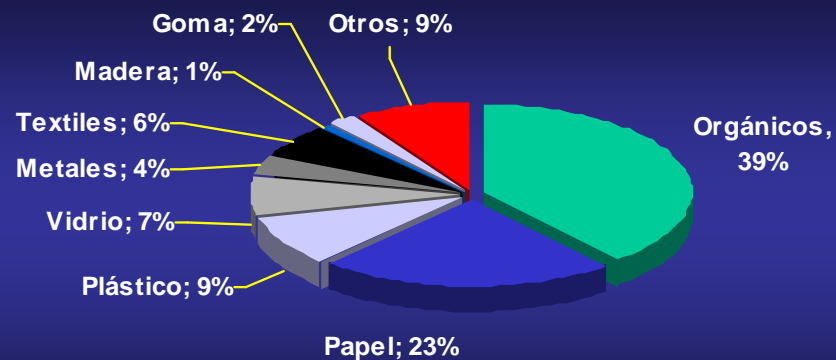
2% en 2005    5,75% en 2010

[Directiva 2003/30/CE](#)

México D.F.  
14 de octubre de 2005

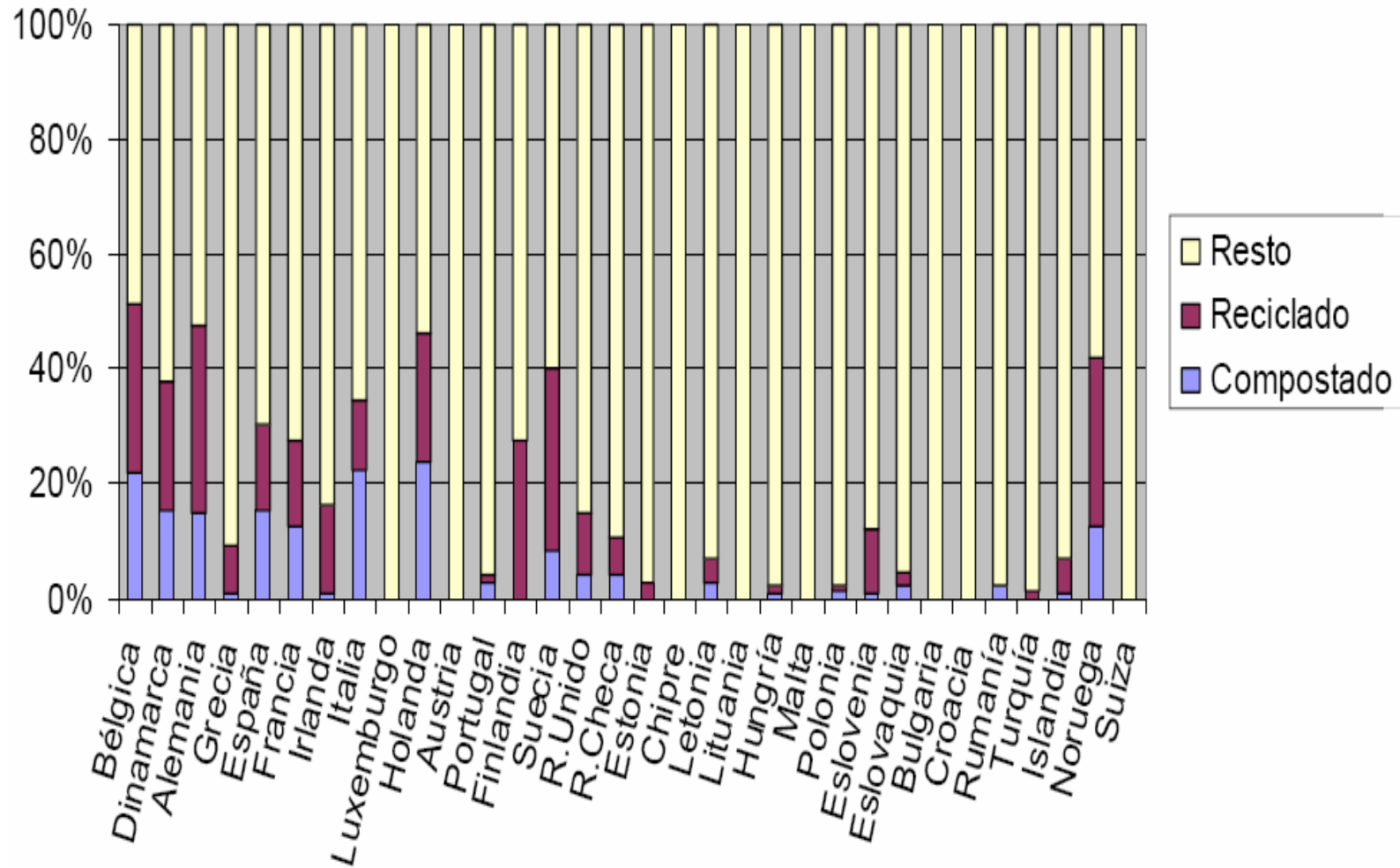


5



Fuente: Eurostat 2004

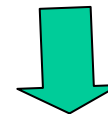
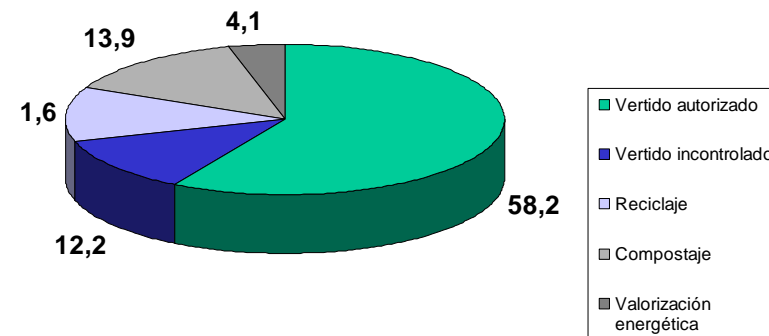
## Algunas cifras de la situación actual en Europa (III)



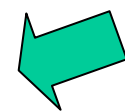
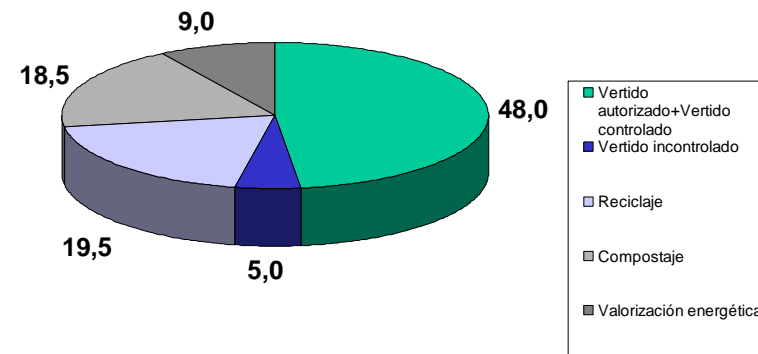
# La situación actual en España es:

- ✓ Se generan más de **25 Millones de ton/año de RSU**.
- ✓ Según las últimas estadísticas se producen más de **52 Millones de ton/año de residuos industriales** de las que aproximadamente el **10%** de los residuos son peligrosos.
- ✓ La mayoría de los residuos son eliminados mediante su depósito en vertedero
- ✓ Sólo se incineran el **6-7%** de los RSU generados.

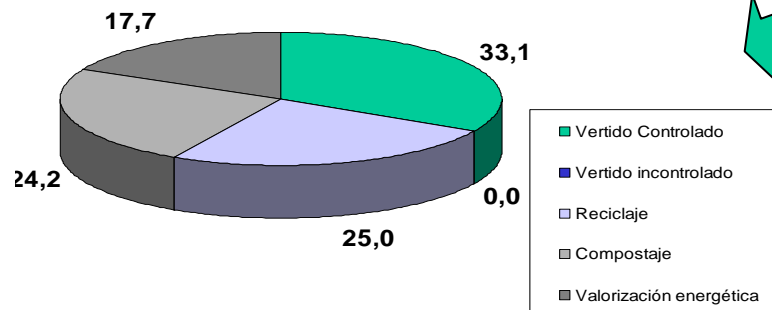
SITUACIÓN AÑO 1996



SITUACIÓN PREVISTA (FINALES 2001)

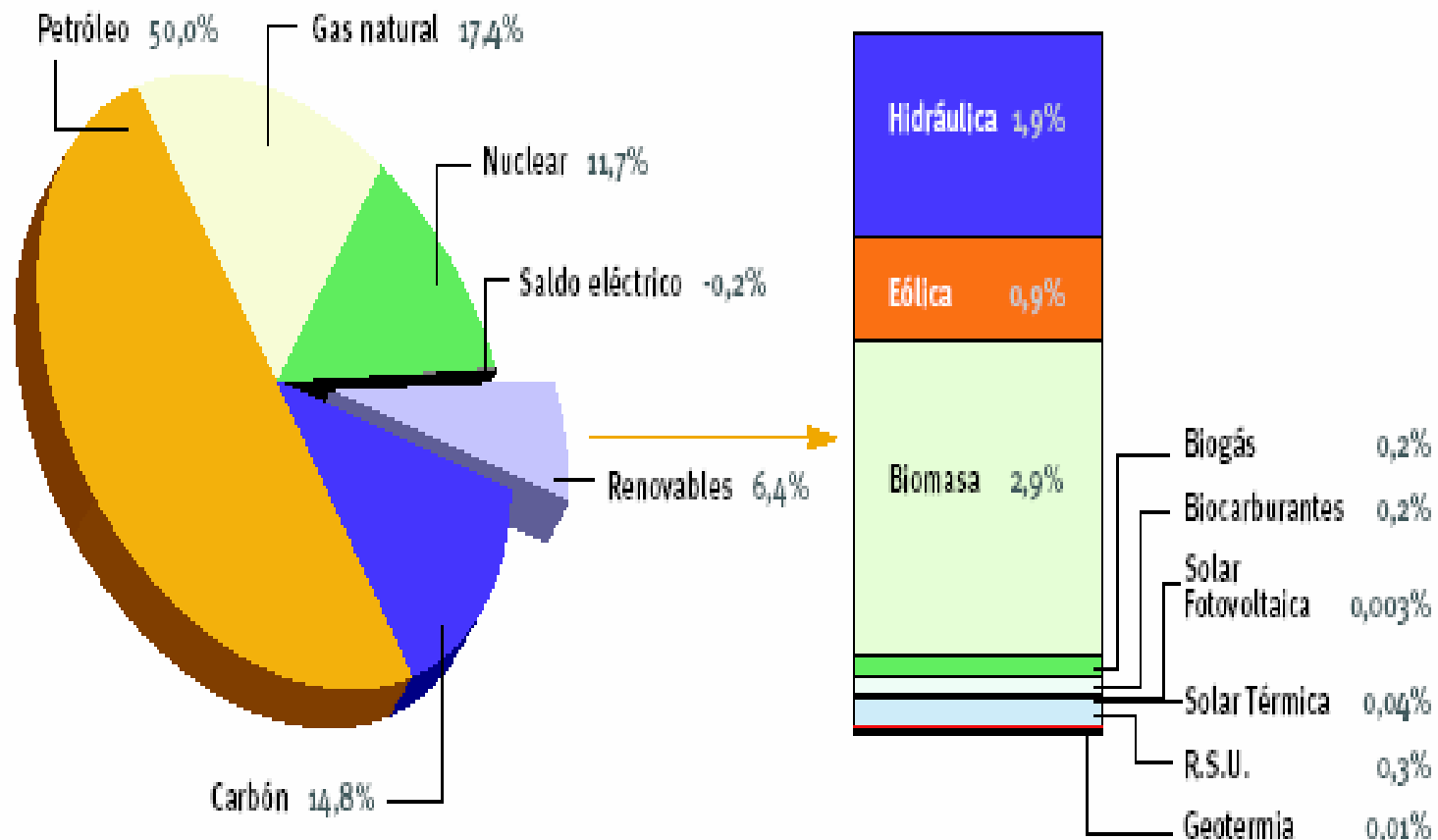


SITUACIÓN PREVISTA (FINALES 2006)



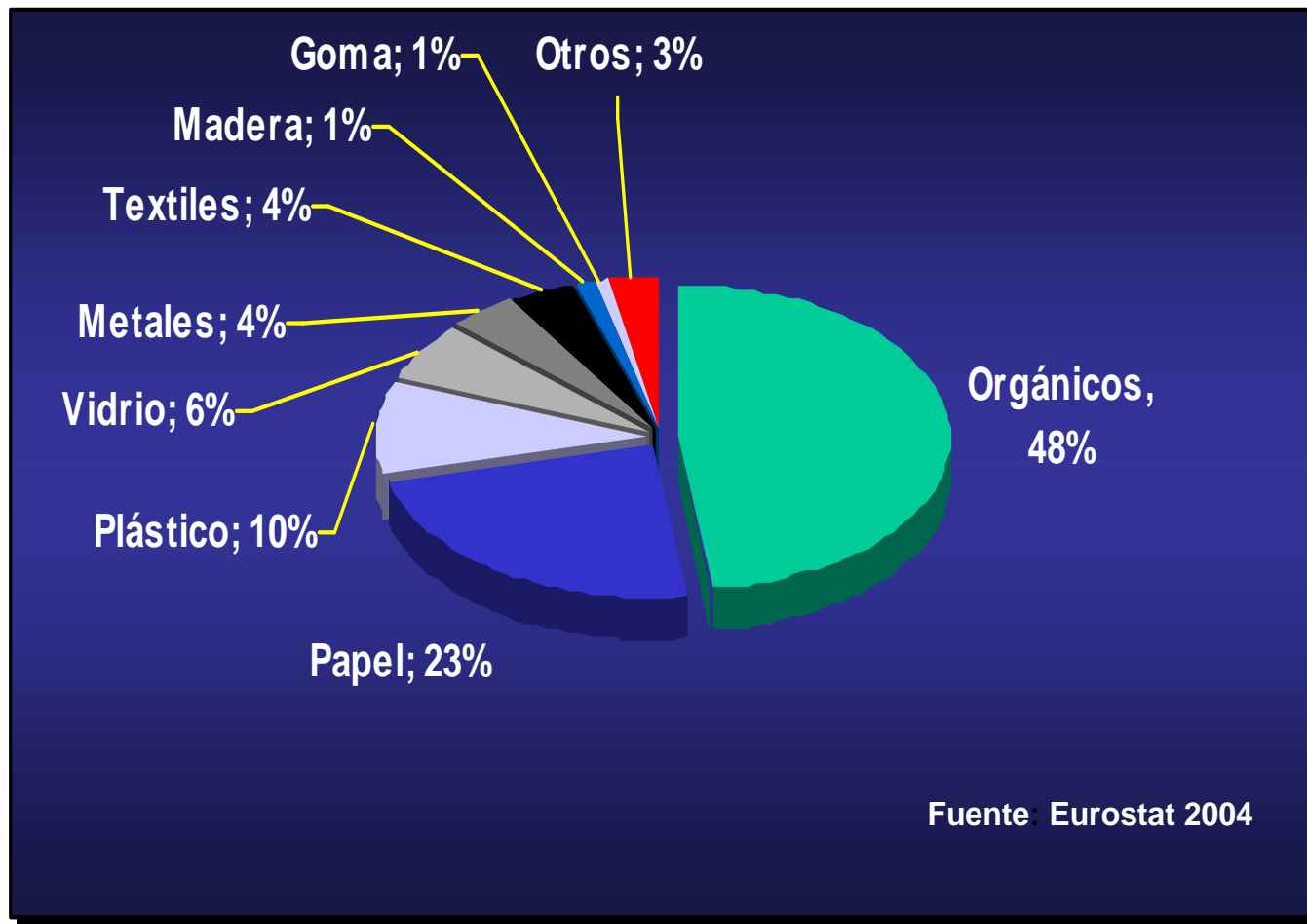


CONSUMO DE ENERGÍA PRIMARIA POR FUENTES, 2004 -ESPAÑA-



Fuente: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio / IDAE.

## La situación actual en España es: (Cont.)



## Han sido recientemente modificados mediante el R.D. 252/2006 de 3 de Marzo

**Reciclado:** Entre un mínimo del 25% y un máximo del 45%, en peso, de la totalidad de los materiales de envasado contenidos en los residuos de envases, con un mínimo del 15% en peso para cada material envasado. *pero antes del 31 de diciembre de 2008 y en años sucesivos :*

- Se reciclará entre un mínimo del 55% y un máximo del 80%, en peso, de los residuos de envases.
- Se alcanzarán los siguientes objetivos mínimos de reciclado de los materiales contenidos en los RE:

VIDRIO	PAPEL-CARTÓN	METALES	PLÁSTICOS	MADERA
60%	60%	50%	22,5%	15%

**Valorización:** Se valorizará o incinerará con recuperación de energía entre un mínimo del 50% y un máximo del 65% en peso de los residuos de envases. Y antes del 31/12/2008 se valorizará o incinerará un mínimo del 60% de los residuos de envases.

Como los objetivos de reciclado se consideran incluidos en los de valorización se puede decir que:

Desde la entrada en vigor del 252/2006		Antes del 31/12/2008
mínimo	máximo	mínimo
5%	40%	5%

## Convergencia de Políticas Energéticas y Medioambientales

- ✓ El **modelo energético global está agotado** y se deben buscar **alternativas viables y sostenibles**.
- ✓ La **dependencia energética** en un escenario de **encarecimiento de los combustibles fósiles**, especialmente **Petróleo y Gas Natural**, incentiva la **búsqueda de fuentes alternativas** y la **reapertura del debate nuclear**.
- ✓ La **adhesión al protocolo de Kyoto** por el que se establecen objetivos ambiciosos de **reducción en las emisiones de efecto invernadero**, supone un **importante esfuerzo** en los países industrializados **para la incorporación de tecnologías medioambientalmente respetuosas**.
- ✓ La **gestión y el tratamiento de residuos** tiene como objetivos centrales la **reducción de los costes energéticos** y la **no movilización del carbono fósil**.



**REDUCCIÓN, RECUPERACIÓN DE LAS FRACCIONES RECICLABLES, RECICLADO REAL- REUTILIZACIÓN Y...**

**...VALORIZACIÓN EFICIENTE Y SOSTENIBLE DEL RECHAZO**

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

... y con futuro dado que:

- **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...**

... Y sobre todo porque es una solución **SOSTENIBLE**

## Pero ¿Qué es la Gasificación/Vitrificación? ¿Qué supone la Gasificación a alta temperatura?

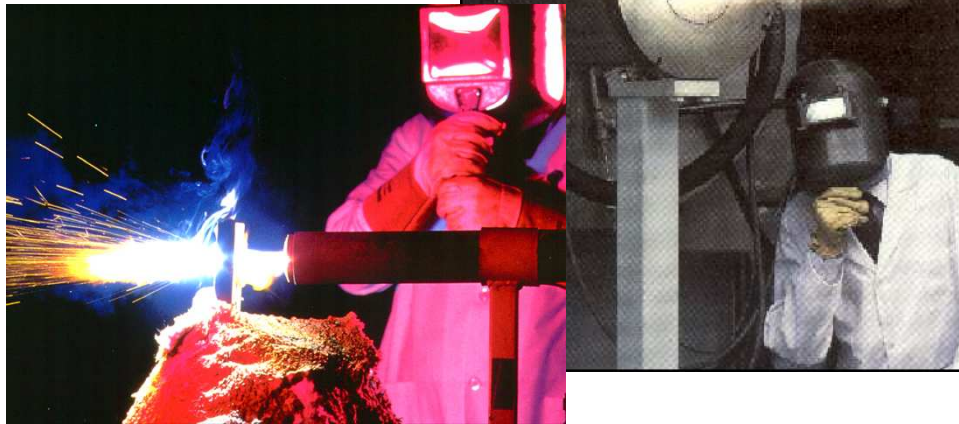
1. La **Gasificación y la Vitrificación** son dos **procesos** termodinámicos ampliamente **conocidos** mediante los cuales, **toda sustancia** sólida o líquida a la que, **en una atmósfera reductora**, se le aporta una cantidad de energía suficiente como para romper los enlaces moleculares, **se transforma** o bien en **un gas de síntesis orgánico** de bajo poder calorífico o bien en **una lava fundida** que al enfriarse se transforma en un producto vítreo inerte.
2. La Gasificación **no es un proceso de combustión** aunque se puedan dar algunas reacciones de oxidación en la formación del gas de síntesis.
3. La Gasificación convencional al trabajar a temperaturas que en ningún caso superan los 1.700 °C es incompleta y puede dar lugar a subproductos residuales (alquitranes, escorias y cenizas).
4. **Con la gasificación a alta temperatura se consigue la disociación molecular completa** y consecuentemente se evita la presencia SVOC y la formación de dioxinas y furanos.
5. **La alta temperatura** necesaria para una Gasificación de este tipo **se consigue mediante antorchas de Plasma**.

**... Y ¿Qué es el plasma? ¿Cómo se genera y como actúa?**

**Plasma: Imitando el poder del rayo**



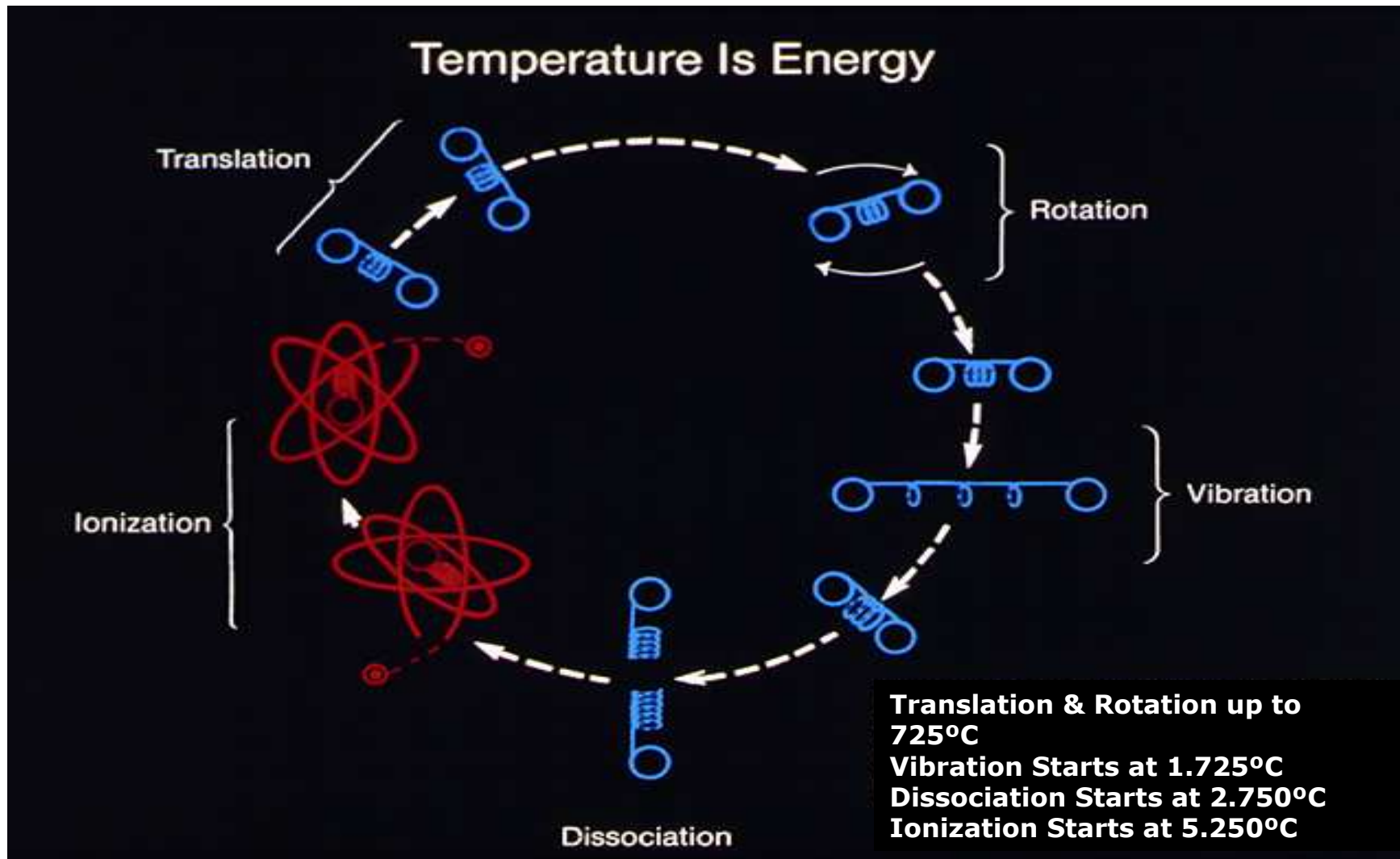
## ¿Qué es el Plasma?



- 1.** El plasma es el cuarto estado de la materia. Es un gas ionizado que existe en la naturaleza en los rayos o en las auroras boreales.
- 2.** La característica principal de un gas ionizado es facilitar "a low mass heat transfer" y generar temperaturas extremas de hasta 14.000 °C.
- 3.** Una antorcha de plasma es un equipo industrial que permite producir un gas ionizado (generalmente aire) a altísimas temperaturas mediante la generación controlada de un arco voltaico.



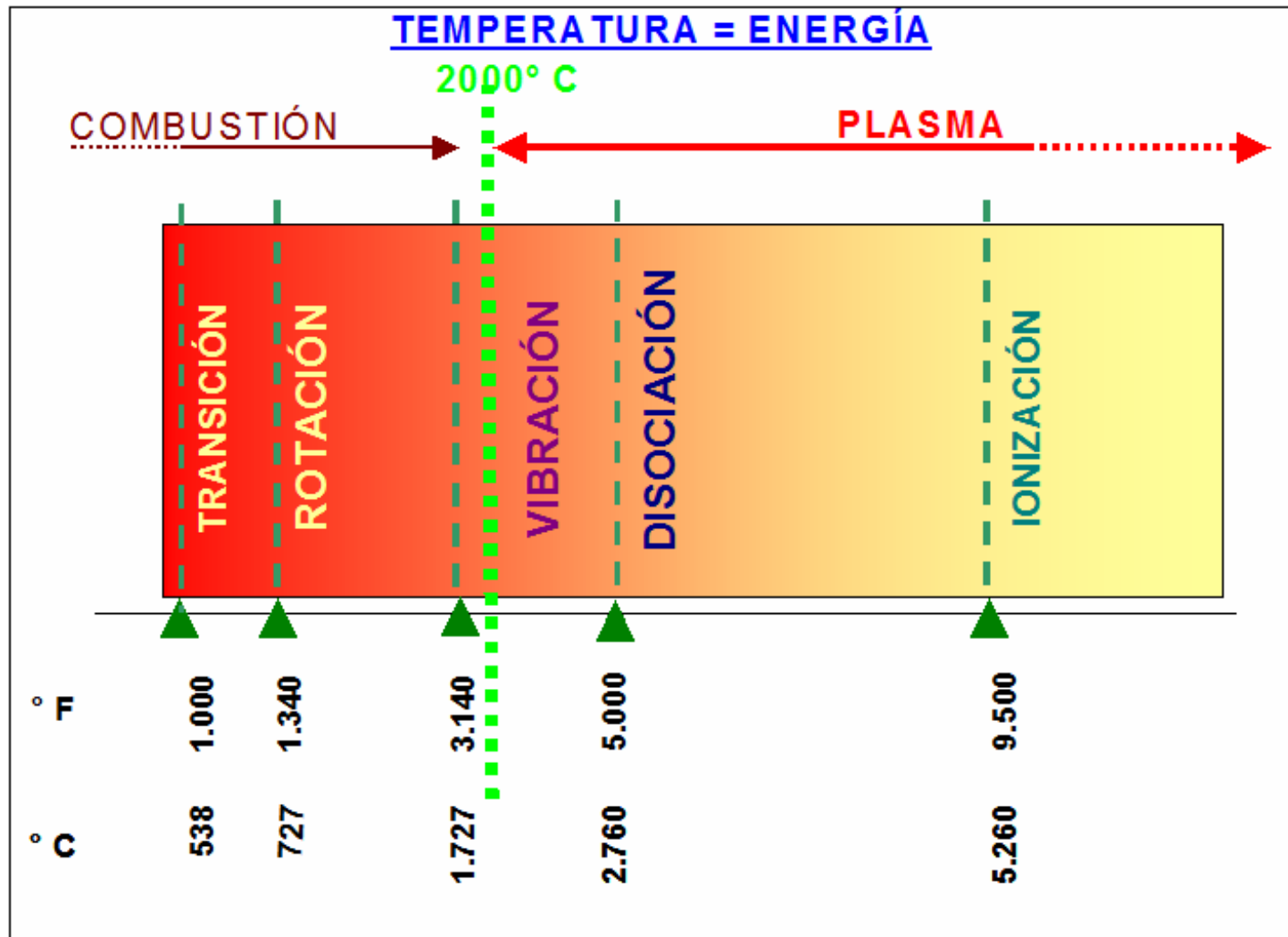
## Creación del gas de plasma



## CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO PGV (1)

- A. LAS ALTAS TEMPERATURAS PERMITEN UNA DISOCIACIÓN DEFINITIVA E IRREVERSIBLE DE LAS ESTRUCTURAS MOLECULARES EN SUS COMPUESTOS BÁSICOS.**
- I. DISOCIACIÓN** de moléculas orgánicas y transformación en un GAS de Síntesis; Las altas temperaturas del plasma provocan que en un 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.

## CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO PGV (2)



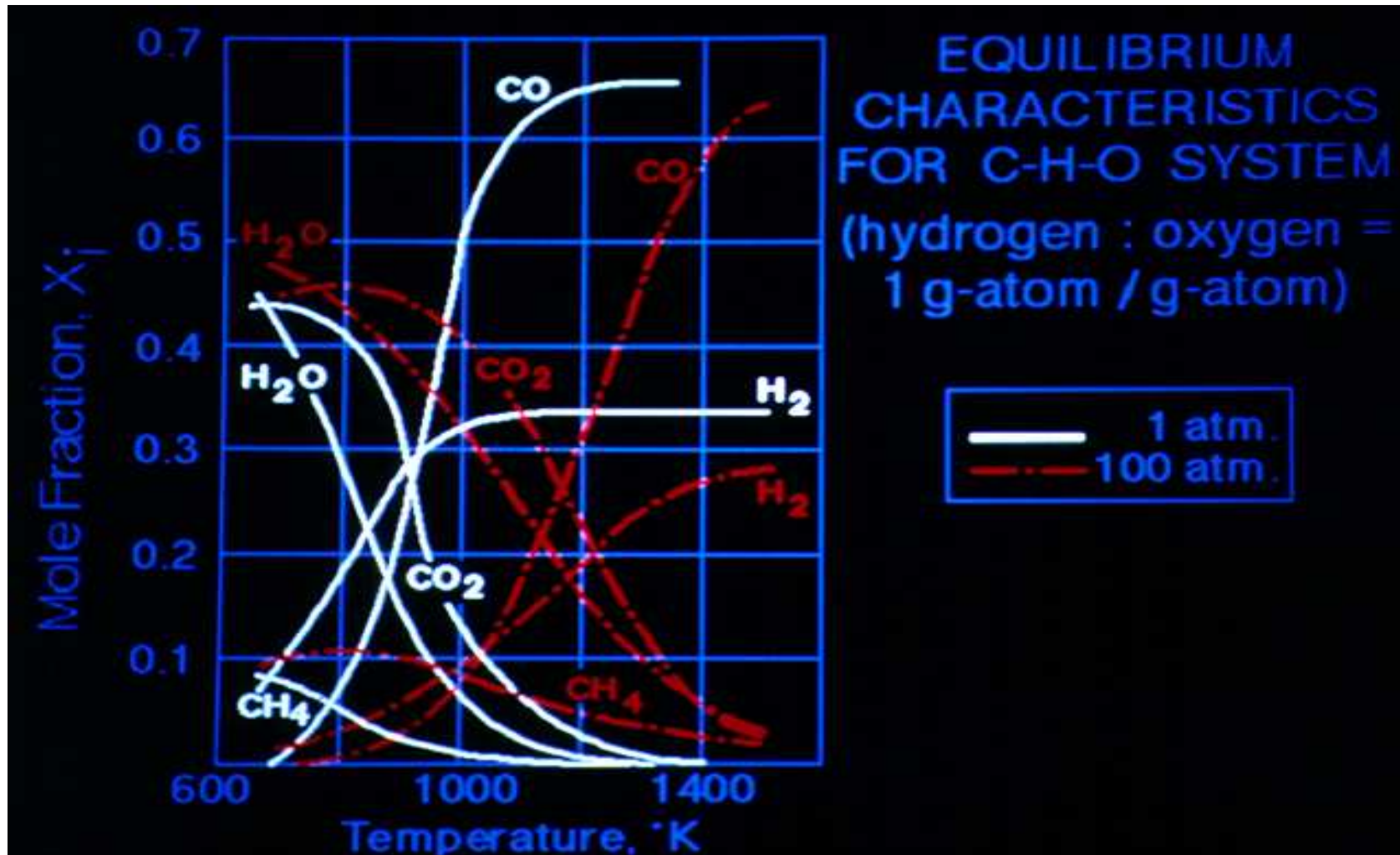
## CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO PGV (3)

- ❑ **Reformación:** Ensamblan los elementos primarios en nuevas moléculas. Por ejemplo: La reacción entre carbono y agua dando lugar a monóxido de carbono e hidrogeno o la del dióxido de carbono y el carbono para dar lugar a monóxido de carbono. Estas reacciones favorecen la formación de un gas energético y la presencia en el mismo de elementos oxidados que disminuyen el poder calorífico del gas de síntesis.

**En el proceso de Gasificación, además del consumo energético hay que considerar los factores "temperatura" y "presión" tanto en cuanto la velocidad de las reacciones (cinética) como al grado de cumplimiento de las mismas (termodinámica). La formación de monóxido de carbono y de hidrogeno aumenta a medida que se incrementa la temperatura.**

**En general al desarrollarse el proceso de gasificación entre 4.000 °C (en la zona plasmática) y 1.700 °C (temperatura de salida del gas de síntesis), se pueden conseguir una cinética alta de reacción, reducir el tamaño del gasificador y trabajar a presión atmosférica lo que permite reducir los costes de construcción del mismo.**

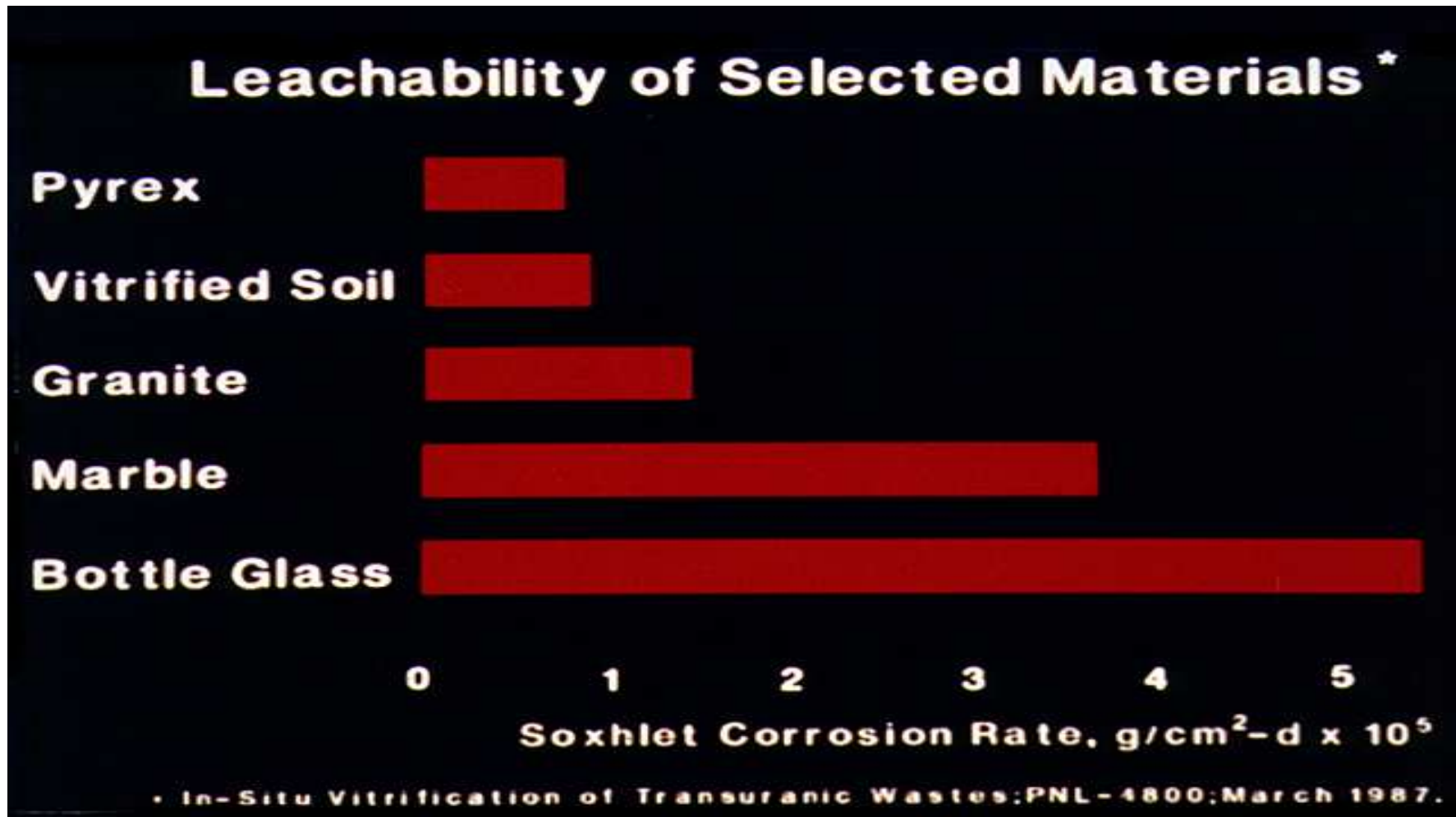
## Diagrama de equilibrio C-H-O



## CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO PGV (4)

- II. **DESTRUCCIÓN** de compuestos tóxicos, incluso los semivolátiles, EVITANDO la formación de dioxinas, furanos u otros. Como hemos visto, la zona de disociación molecular empieza a partir de 2.700°C. A temperaturas inferiores pueden existir moléculas no completamente disociadas, una parte de las cuales se encontrarán en las cenizas, mientras que la otra parte se volatizará en forma de compuestos orgánicos volátiles (VOC) y/o semivolátiles (SVOC). Con el uso del Plasma, todas las moléculas se disocian totalmente.
  
- III. **FUSIÓN** de moléculas inorgánicas y transformación en lava de tipo volcánico que al enfriarse forma un vidrio basáltico inerte (dejando atrapadas en la red cristalina los compuestos potencialmente peligrosos; p.e. metales pesados). Los ensayos oficiales realizados sobre este material han demostrado su total inocuidad, no toxicidad y no lixiviabilidad. Los más recientes estudios han concluido que además de no ser peligrosos se pueden considerar como materia valorizable y hay un estudio en curso para definir las múltiples aplicaciones.

**El material vitrificado por el Plasma es cinco veces menos lixiviable que el vidrio de una botella**



## CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO PGV (5)

- B. 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 ESTÁ FORMADO MAYORITARIAMENTE POR “MONÓXIDO DE CARBONO E HIDRÓGENO”:** Los productos halogenados y con alto contenido de azufre se transforman en HCl, HF y H<sub>2</sub>S que son tres productos relativamente fáciles de depurar. Esta depuración es bastante fácil por el reducido flujo másico a tratar.



## CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO PGV (6)

### C. EL BALANCE ENERGÉTICO RESULTANTE ES POSITIVO

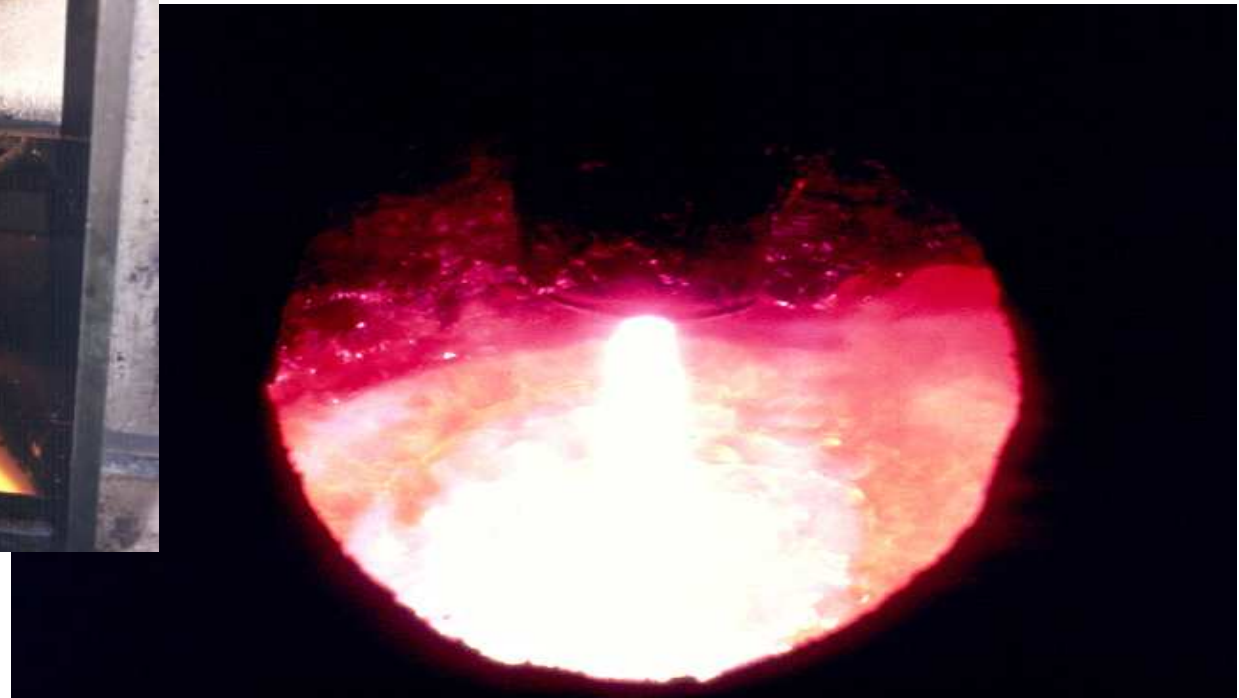
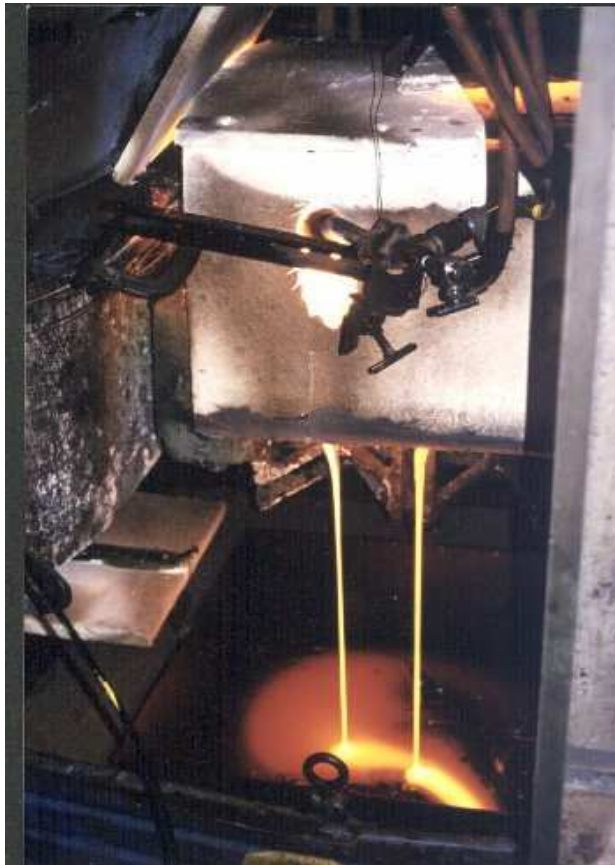
- I. **EL VALOR ENERGÉTICO DEL GAS DE SINTESIS DEPENDE DE LOS RESIDUOS O MATERIALES TRATADOS.** Para conseguir un mayor poder calorífico se debe evitar la introducción en el gasificador de productos inertes o muy húmedos.
- II. **EL COMBUSTIBLE GENERADO A PARTIR DE RESIDUOS TIENE UN VALOR ENERGÉTICO 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 LA TECNOLOGÍA DE SOLENA 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.

## CARACTERÍSTICAS DIFERENCIALES DEL PROCESO PGV (7)

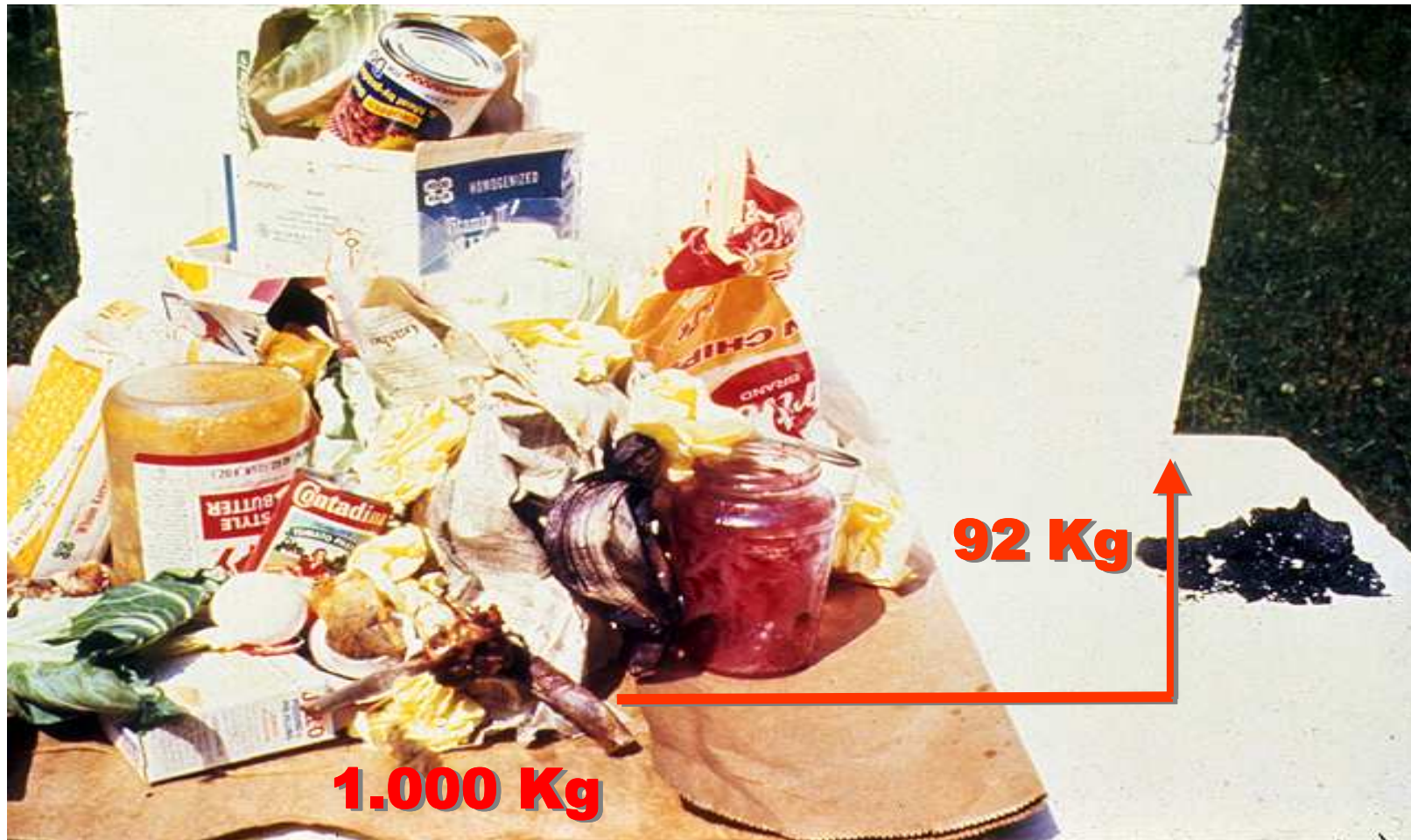
- D. AUSENCIA DE SUBPRODUCTOS POTENCIALMENTE TÓXICOS O DAÑINOS**
- I. LOS COMPUESTOS INORGÁNICOS SON FUNDIDOS** para formar una lava vítrea de tipo basáltica que se extrae en la parte inferior del gasificador, manteniendo un nivel mínimo para facilitar la colada en continuo.
- II. APORTACIÓN DE UNA PEQUEÑA 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.

**... Y todos estos aspectos tecnológicos que importancia tienen para el tratamiento de los residuos.....**

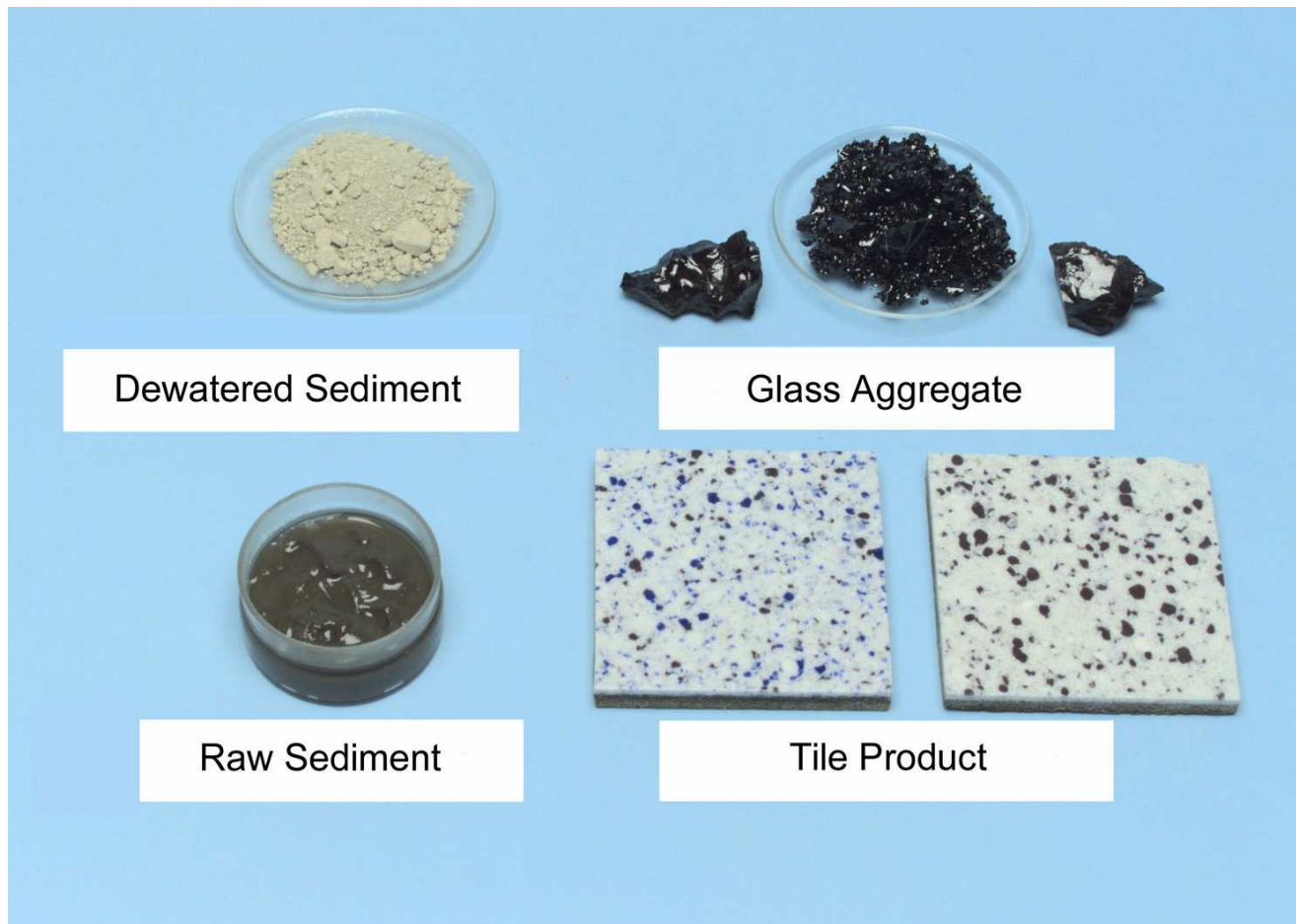
**Todos los residuos inorgánicos se vitrifican a partir de una lava producida por el plasma**



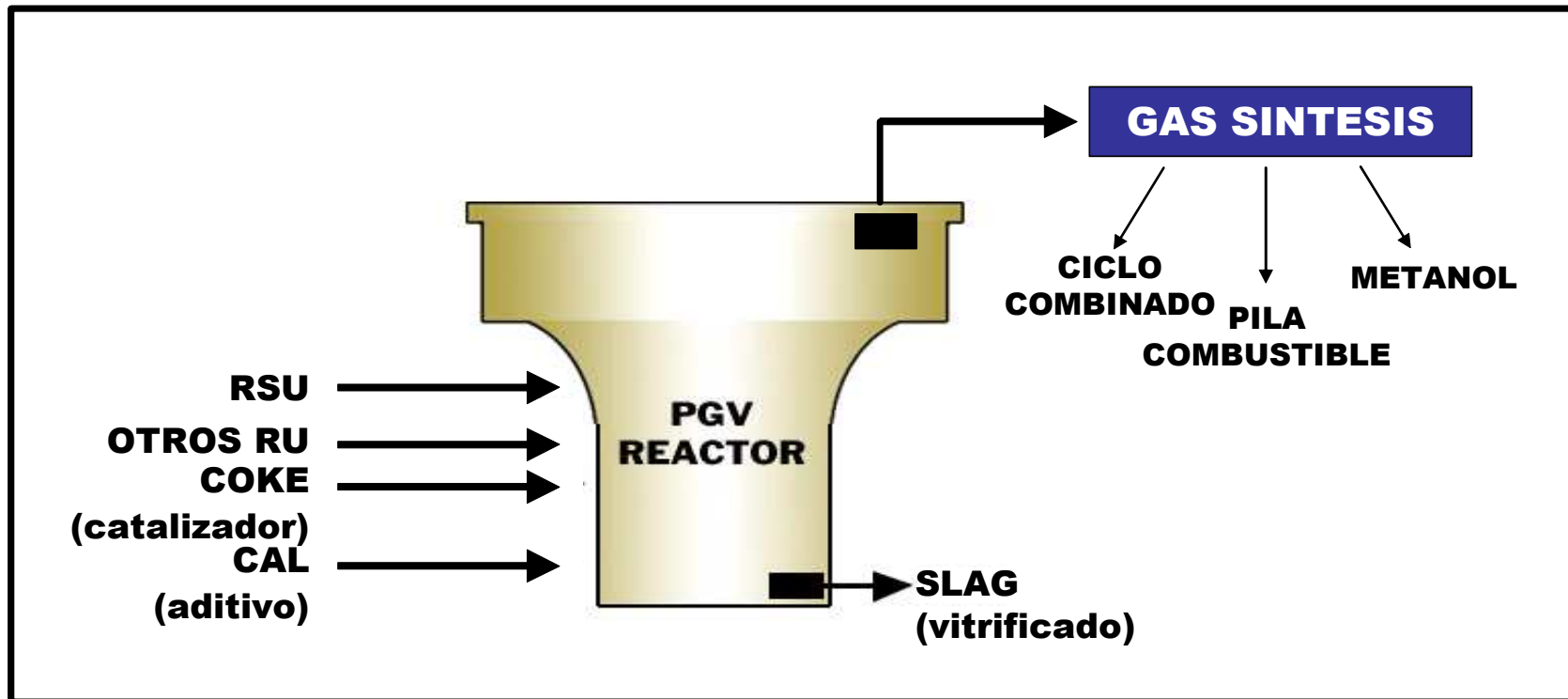
**Los residuos son reducidos completamente a gas y cristal vitrificado (slag)**



## Los slag tienen mejores prestaciones que las de vidrio reciclado



## El proceso patentado



1. Mezcla homogénea de residuos para alimentar el sistema



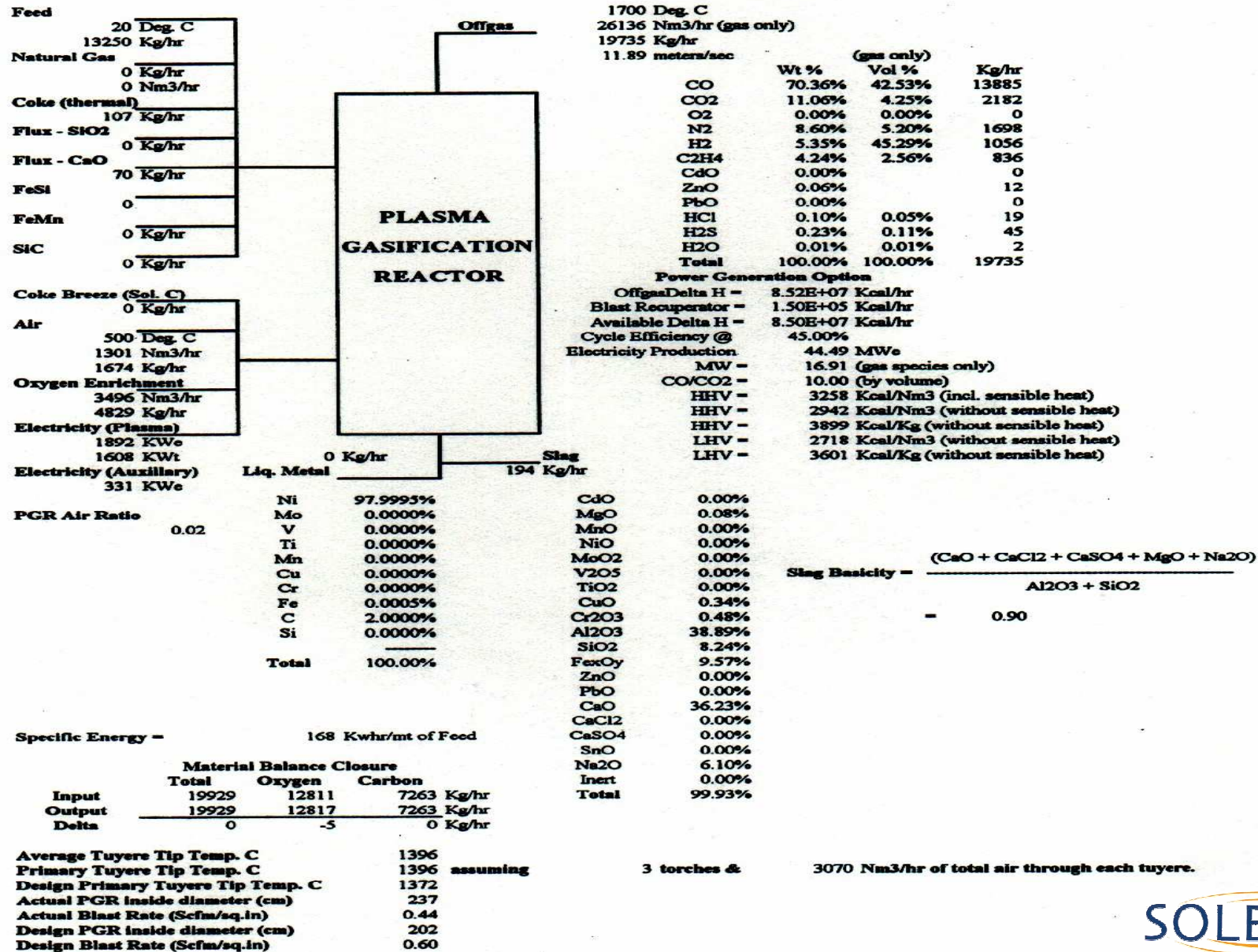
2. Materiales orgánicos gasificados en H<sub>2</sub>, CO,...

Materiales inorgánicos vitrificados en "Slag" inerte.

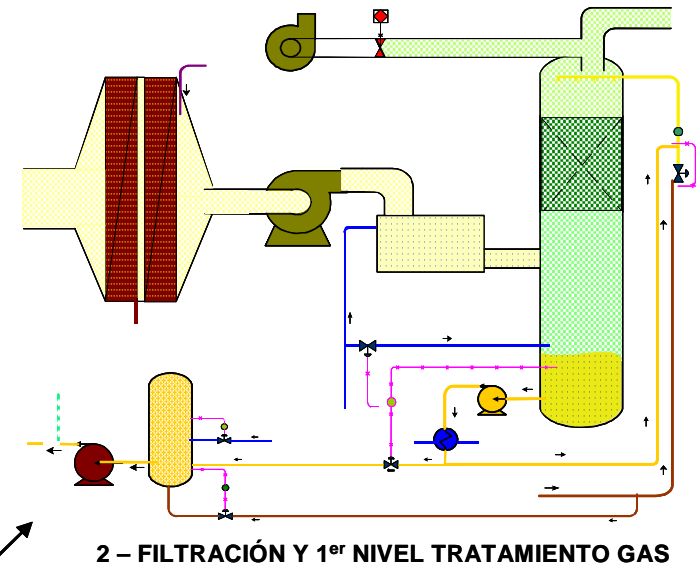
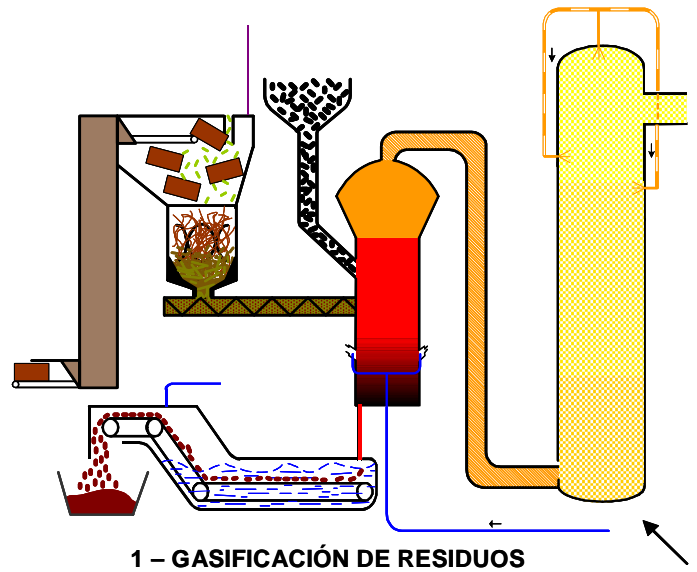


3. Gases Convertidos en Energía

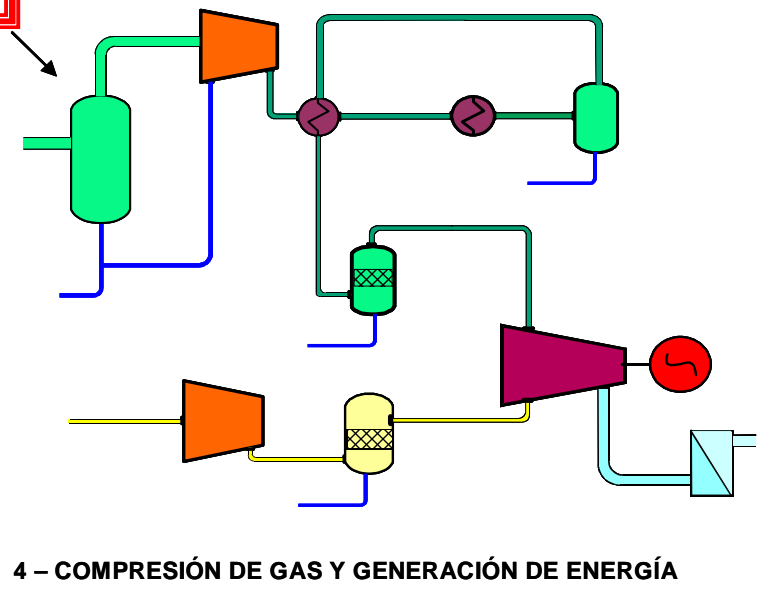
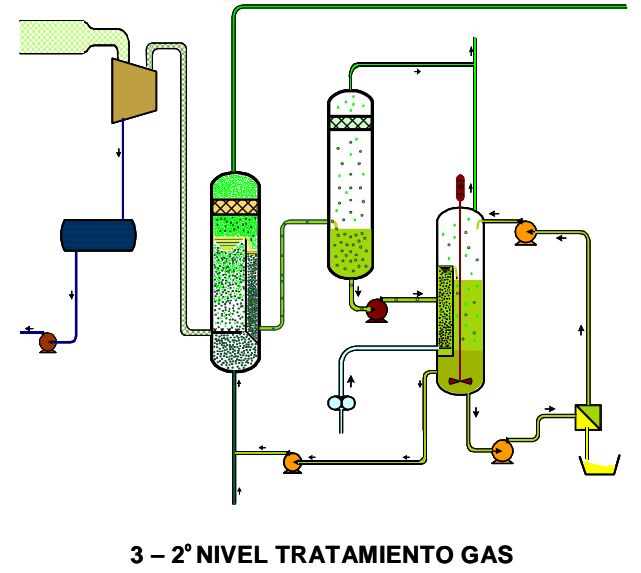
# BALANCE TIPO DEL GASIFICADOR



# ICCPGV: RESULTADO DE LA INTEGRACIÓN



**SISTEMAS AUXILIARES**





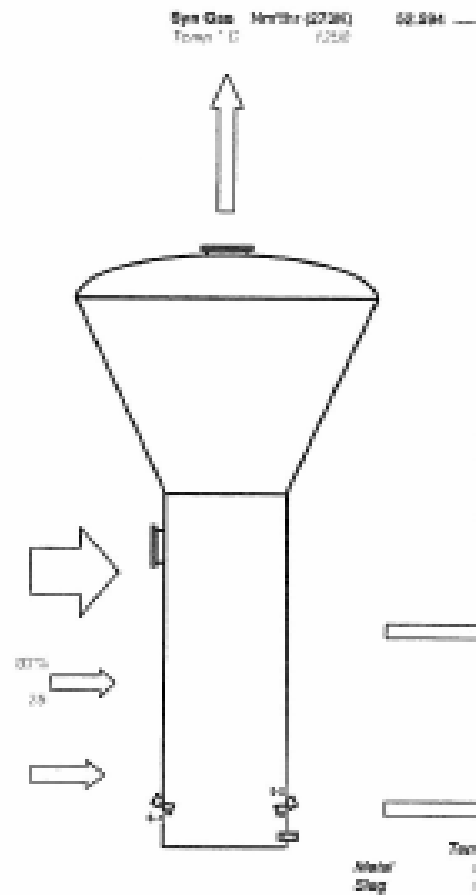
# Balance en el Gasificador: Un Ejemplo

## SOLENA GROUP

Project Name: XXXXXXXXXX  
 Case: Revision Feb 05  
 Date: 24.02.05

Syn Gas Composition (gas only)		
Component	Weight %	Volume %
CO	68.87%	44.26%
CO <sub>2</sub>	18.37%	8.29%
H <sub>2</sub>	4.59%	40.74%
N <sub>2</sub>	6.34%	3.66%
H <sub>2</sub> S	0.09%	0.04%
H <sub>2</sub> O	4.10%	4.11%
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.71%	0.46%
HCl	1.33%	0.66%
Total	100.00%	100.00%
	ton/hr	kg/hr
HHV	3000	14.68
LHV	3000	12.88

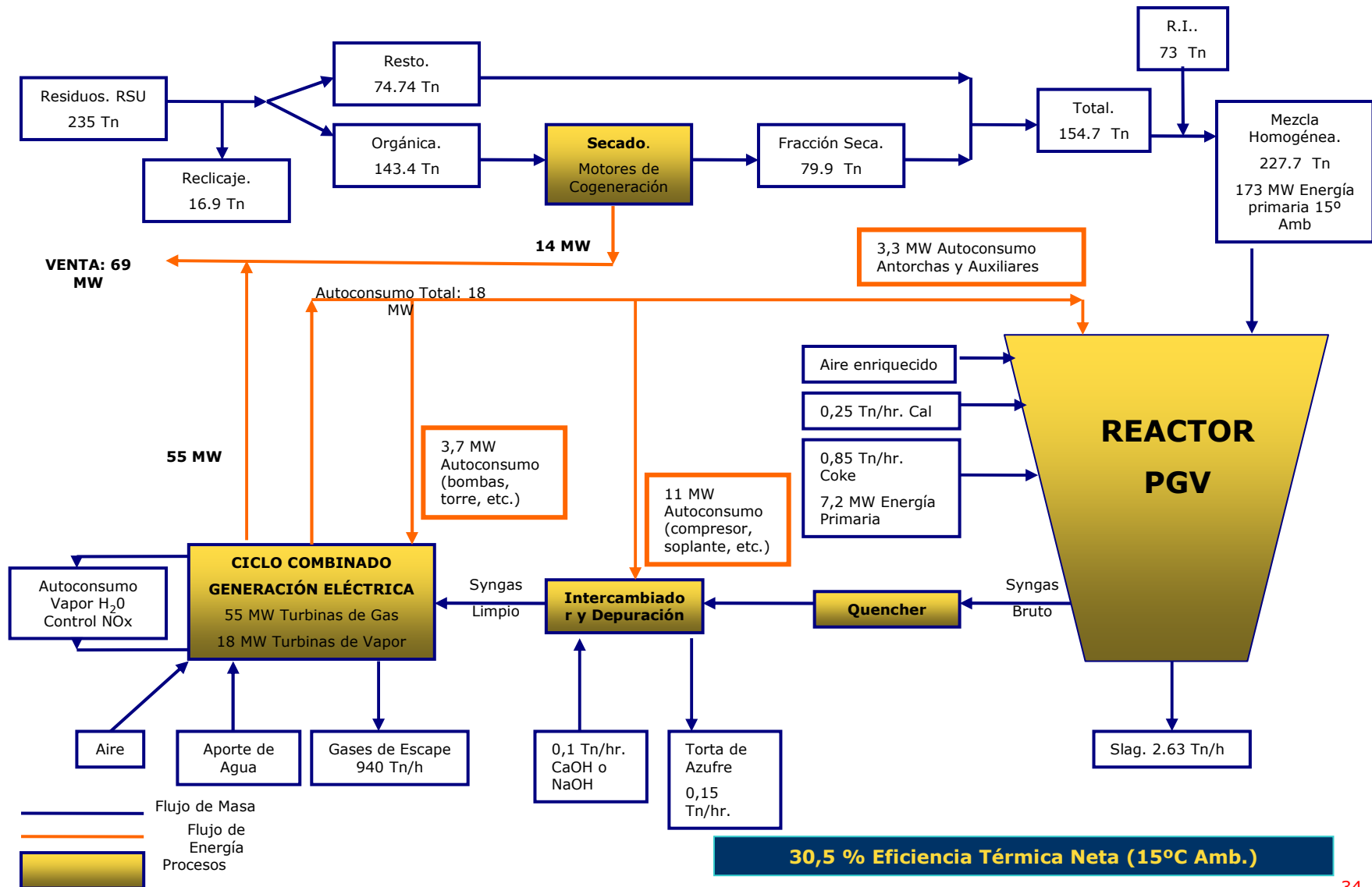
	Power Input MW	Mass Input kg/hr
Feedstock	172.8	20,438
CaO Flux	7.3	253
Coke	3.3	653
Air + O <sub>2</sub>	8.0	18,488
O <sub>2</sub> %		
Temp °C		
Plasma Power	-3.3	
Total	188.1	40,811



Specific Plasma Energy Requirement  
 MW-ton/tonne  
**0.116**

Mass Output kg/hr	Power Output MW	
42.989	25.8	SynGas Sensible 1.1 SynGas Latent 146.3 SynGas Chemical SynGas
	-4.4	Process Losses
3.831	1.4	Slag Sensible Slag 1.4 Latent Slag 0.4
48.811	183.1	Total

# Balance general de masa y energía: Un Ejemplo



## **CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTALES DEL PROCESO PGV**

- ✓ **ES LA TECNOLOGÍA FINALISTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS MÁS ACORDE CON LAS EXIGENCIAS DEL “DESARROLLO SOSTENIBLE”**
- ✓ **DA RESPUESTA A DOS DE LOS MAYORES DESAFIOS PLANTEADOS EN LA ACTUALIDAD:**
  - ☑ **EL DETERIORO DEL MEDIOAMBIENTE**
  - ☑ **EL AGOTAMIENTO DE LAS ENERGÍAS FÓSILES.**
- ✓ **PERMITE UN TRATAMIENTO INTEGRAL DE LOS RESIDUOS**
- ✓ **ES COMPATIBLE Y COMPLEMENTARIO DE OTRAS TECNOLOGÍAS**

**Y ¿CUALES SON LAS PRINCIPALES VENTAJAS DEL PGVA?**

## Ventajas del Proceso (1)

### **(I) 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 normativa europea
- No requiere tratamiento de gases de cola

### **(II) 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

## Ventajas del Proceso (2)

### **(III) ECONÓMICAMENTE VIABLE**

- Costes operativos equivalentes a otras instalaciones. Una mayor eficiencia supone un mejor resultado.

### **(IV) ALTA DISPONIBILIDAD**

- Disponibilidad superior al 85% (→ 8.000 hr/año)

### **(V) ALTA FLEXIBILIDAD**

- Puede tratar todo tipo de residuos sólidos y líquidos
- RSU, industriales, tóxicos, neumáticos, etc.
- Permite la evolución del flujo de residuos durante la vida de la planta
- Compatible con otros tratamientos no finalistas

## Comparativo de precios de Kwh

	Geo-thermal	Solena	Solar	Coal	Cl. Coal (Gasific.)	Nat. Gas (Co. Cycle)	Wind
Availability in %	80%	85%	30%	85%	40%	85%	31%
<b>Installed Cost / kW</b>	\$ 1,415	\$ 1,333	\$ 4,083	\$ 1,000	\$ 1,300	\$ 463	\$ 742
<b>Adjusted for Availability</b>	\$ 1,769	\$ 1,568	\$ 13,610	\$ 1,176	\$ 3,250	\$ 545	\$ 2,394
Operating Cost / kWh	\$ 0.009	\$ 0.011	\$ 0.005	\$ 0.015	\$ 0.015	\$ 0.021	\$ 0.009
<b>Adjusted for Availability</b>	\$ 0.011	\$ 0.013	\$ 0.015	\$ 0.018	\$ 0.038	\$ 0.024	\$ 0.030

**Fuente: Dept. of Energy. USB Warburg, Goldman Sachs**

## Conclusiones (I)

- 1.** Temperaturas muy elevadas dan lugar a una disociación molecular completa de los residuos tratados sin que se formen alquitranes.
- 2.** La gasificación, a diferencia de la combustión directa, permite la limpieza del gas de síntesis antes de su inyección en la turbina de gas.
- 3.** Baja probabilidad de explosión al operar en una atmósfera reductora o deficitaria de oxígeno.
- 4.** Producción energética neta por tonelada mayor que las incineradoras de última generación (1,5 a 2,5 veces mayor).
- 5.** Ausencia de emisión de sustancias tóxicas (como dioxinas o furanos) y mejor retención de metales pesados en los nodos de la red cristalina del residuo vitrificado.
- 6.** Flexibilidad del proceso en cuanto a tipos de residuos a tratar.

## Conclusiones (II)

- 7.** Ausencia de rechazos característica de un proceso finalista que permite la eliminación total de vertedero.
- 8.** Operación a presión atmosférica, lo que reduce los costes de inversión y de operación.
- 9.** Proceso eficiente y atractivo para la eliminación de cualquier tipo de residuo (urbanos, industriales, tóxicos y peligrosos, hospitalarios, fangos de depuración, etc.).