

Incineración de residuos en Dinamarca

La incineración de residuos con recuperación energética constituye un elemento más dentro de la planificación integral en materia de gestión de residuos, compatible con los sistemas de reciclaje a los que complementa para cumplir directivas europeas. Dentro de Europa, Dinamarca es un buen ejemplo de este método de gestión, aplicado desde hace más de un siglo, donde se reutiliza o recicla el 65% de los residuos sólidos urbanos que produce al año, se incinera el 26% de la cifra total y menos del 8% tiene como destino final el vertedero, todo ello cumpliendo fielmente los objetivos y criterios sobre gestión de RSU de la Unión Europea.

100 años de historia

La incineración de residuos cuenta con más de cien años de historia en Dinamarca, dado que fue en 1903 cuando entró en servicio la primera planta, donde la energía generada en el proceso se utilizaba tanto para la obtención de electricidad como de calor. Con anterioridad a la Segunda Guerra Mundial se construyeron dos plantas más, y a partir de los años 60 se extendió el uso de los procesos de incineración. Por entonces, el panorama económico tuvo también su impacto en la composición de los residuos sólidos; Dinamarca no tardó en convertirse en una sociedad "de usar y tirar", y la potencia térmica de los residuos aumentó de manera muy significativa.

Otra consecuencia del crecimiento económico fue la construcción de nuevas áreas residenciales –las llamadas ciudades-dormitorio–, que empezaron a brotar en el país; parecía obvio que la mejor solución para estas zonas era la calefacción urbana, en lugar de instalar una caldera en cada domicilio. La creciente conciencia medioambiental influyó también en esta decisión. Este desarrollo avanzó igualmente gracias al deseo de deshacerse de los residuos de una forma higiénica y a la corroboración, mediante la práctica, de que el sistema de calefacción urbana o *district heating* resultaba efectivo y conveniente.

Sin embargo, cuando se produjo la primera crisis del petróleo en octubre de 1973, el 92% del consumo energético de Dinamarca se basaba en este combustible. El recorte del abastecimiento de petróleo supuso un duro golpe para el país, y se tuvo que desarrollar una nueva política energética con vistas al futuro. En un primer momento las medidas se dirigieron a disminuir la dependencia del petróleo y garantizar un suministro fiable. Se apremió a las plantas a aplicar la combustión de carbón, y se establecieron extensas redes



Planta de Fasan, Naestved

de distribución de *district heating* para asegurar el máximo aprovechamiento del calor excedente que se generaba en las centrales ubicadas en ciudades. Las instalaciones de incineración se be-



Planta de Karan/Noveren, Roskilde

neficiaron también de esta nueva política energética, puesto que se facilitó la venta de *district heating*. La consecuencia fue que el número de plantas de incineración en 1982 había alcanzado la cifra de 48.

En cualquier caso, a finales de los 80 las consecuencias medioambientales de la incineración de residuos se hicieron evidentes, y con ellas la necesidad de un tratamiento más avanzado de los gases residuales. El "efecto invernadero" se convirtió en un factor político más, y en 1990 se introdujeron modificaciones en la normativa danesa sobre energía, animando a la implantación de la cogeneración. Además, el Ministerio de Medio Ambiente, por su parte, prohibió la acumulación de residuos incinerables en vertederos mediante una normativa en vigor desde el 1 de enero de 1997. Por último, la aplicación de la Directiva 2000/76/CE de la Unión Europea relativa a la incineración de residuos ha endurecido los requerimientos medioambientales que se exigen a las instalaciones de valorización de residuos.

Todos estos cambios legislativos han provocado que el número de plantas en Dinamarca se reduzca a 29, pero también, por otra parte, que Dinamarca posea hoy en día una capacidad de incineración suficiente para quemar los residuos y convertirlos en electricidad y calefacción, sin faltar por ello a los requisitos medioambientales más estrictos.

Residuos como combustible

Los residuos incinerados provienen principalmente de los desperdicios de los hogares, desechos voluminosos, o residuos combustibles procedentes de la industria, comercios, oficinas e instituciones. Algunas plantas reciben también residuos médicos o lodos de depuradora. Los residuos petroquímicos se tratan por separado en una central destinada específicamente al tratamiento de residuos peligrosos.

De forma general, un análisis de la composición de los residuos resultaría aproximadamente así: combustibles (40-60%), agua (15-35%) y cenizas (25-35%). Los altos contenidos de agua y cenizas reducen la potencia térmica neta hasta unos 10.5-11.0 GJ, lo que equivale a aproximadamente 3 MWh/t. En comparación con otros combustibles, los residuos sólidos son más ricos en elementos como el cloro (Cl) y metales pesados, y también contienen más cenizas que otros carburantes.

No obstante, su alto contenido en PVC genera gases de combustión corrosivos, lo que los convierte en un combustible molesto para la generación eléctrica. Por ello, las plantas de valorización de residuos suelen proyectarse con vistas a una eficiencia eléctrica moderada, estimada en 2 MWh/t de calor y unos 2 ó 3 MWh/t de electricidad.



Planta NF (Nordforbraending), Hoersholm

Instalaciones

Tal y como se ha comentado anteriormente, en la actualidad Dinamarca cuenta con 29 plantas de incineración. De éstas, 21 son de propiedad pública, gestionadas por uno o más ayuntamientos, mientras que ocho pertenecen a compañías eléctricas privadas.

Todas las plantas danesas son de incineración en masa, y producen agua caliente (>120 °C) o templada (<120 °C) para *district heating*. Quince de las centrales son de cogeneración, mientras que nueve tienen una o más unidades de cogeneración en combinación con unidades que sólo producen agua caliente para *district heating*. Las cinco

plantas restantes son de tamaño reducido, y generan únicamente calor.

Las plantas se adecuan a los requerimientos de la Directiva de incineración de residuos de la Unión Europea. Ciertas instalaciones poseen sistemas de tratamiento de gases húmedos, otras de semi-húmedos, y algunas de gases secos.

El proyecto Reno-Nord

Reno-Nord es una empresa intermunicipal de gestión de residuos, situada en la cuarta ciudad más grande de Dinamarca, Aalborg. La compañía trata los residuos de Aalborg y de seis municipios adyacentes, y posee una planta de valorización de residuos en dicha ciudad. La energía generada en el proceso de combustión se recupera y se usa para producción de electricidad y calor. La energía térmica se entrega al Suministro de Calefacción Urbana de la Ciudad de Aalborg.

En 2002, Reno-Nord decidió construir una cuarta unidad de cogeneración para sustituir dos hornos térmicos que databan de 1981 y una unidad de cogeneración ya existente, instalada en 1991. Se pensó que la unidad 4 debía tener capacidad suficiente para incinerar todos los residuos del área, unas 160.000 toneladas anuales, y se diseñó para el tratamiento de 20 t/h. De este modo, las unidades 1 y 2 quedaron fuera de servicio, mientras que la 3 se mantuvo como unidad de reserva.

La planta de Reno-Nord ha sido diseñada bajo el concepto "Optimized" de



Planta de Reno-Nord, Aalborg

la compañía Vølund (Babcock & Wilcox), basado en una tecnología BS con parrilla refrigerada por aire o agua y caldera horizontal. Una de sus principales características es que la planta alcanza una eficiencia eléctrica del 27% y una eficiencia térmica total del 97%; todo esto con niveles de emisión muy por debajo de los requerimientos actuales de la UE.

La ingeniería corrió a cargo de Ramboll, y el procedimiento de adjudicación de contratos siguió las normas de la UE, bajo la forma de licitación de "contrato de servicios". De este modo, fue posible acomodar la planta a las necesidades de Reno-Nord aun durante la construcción y el proceso de negociaciones, para obtener la máxima eficiencia, el mínimo consumo, y la mayor entalpía. A la vista de estos requisitos, se seleccionó una parrilla BS aerorefrigerada, pues este tipo de parrilla provee una gran vibración y agitación del lecho de residuos, con lo que se garantiza la combustión eficaz y unos niveles muy bajos de carbono sin quemar en las cenizas residuales.

Al mismo tiempo, para mejorar el rendimiento térmico, se actualizó la tecnología mediante la inyección en las zonas de combustión de aire secundario a diferentes velocidades y en diferentes ángulos. Esta técnica ayuda a extender la vida útil del equipo, mientras



Corte de la planta de Reno-Nord

que reduce las emisiones y consigue un alto rendimiento térmico. El sistema, llamado VoluMix™, está diseñado a partir de modelos de dinámica de fluidos computacional (DFC). Entre otras ventajas, se pueden citar las siguientes:

- Excelentes condiciones de mezcla y combustión en el horno - ignición.
- Combustión en fases, lo que reduce la formación de combustible alto en NO_x .
- Supresión de puntos calientes en horno y caldera, que acelerarían la corrosión.
- Condiciones turbulentas en el tubo de bajada, para optimizar la combustión con valores extremadamente bajos de CO.
- Distribución uniforme de la velocidad

y la temperatura en los tubos de derivación, para maximizar la transferencia térmica y el tiempo de permanencia.

- Bajo aire excedente, y mejora de la eficiencia térmica general.

Como resultado, al aplicar este sistema es posible llegar a un factor de exceso de aire que se correspondería a un 5% de O_2 en el gas de combustión, sin riesgo de formación de monóxido de carbono. De este modo, no es necesario preocuparse por la recirculación de los gases residuales.

El equipo de tratamiento y gestión de los gases residuales fue adjudicado a la empresa francesa LAB, que ofreció una solución húmeda con opciones adicionales de recuperación de energía. Negociaciones posteriores propiciaron la integración de ambas ofertas de tal manera que se ha obtenido una eficiencia térmica cercana al 100% (basada en la potencia térmica de la red, 12 MJ/kg). La potencia eléctrica es del 27%. La unidad 4 de Reno-Nord puede, así, suministrar electricidad a 30.000 hogares, y calefacción urbana a otros 16.000.

La planta trata los residuos en masa. Éstos son incinerados en una parrilla inclinada ubicada en un horno con flujo central con una gran cámara de post-combustión; esta cámara es el primer nivel de una caldera vertical de radiación en tres niveles, a la que sigue un proceso en una caldera horizontal de convección. Las cenizas residuales son retiradas con un extractor de escorias húmedo.

El gas residual se trata en un precipitador electrostático de tres campos y en un sistema de tratamiento húmedo de gases, consistente en un templador, un lavador de ácidos, un tratamiento de caliza, un lavador de dioxinas, además de un lavador de coque de lignito y un lavador ventura. Un ventilador "húmedo" de tiro inducido crea la presión necesaria en todo el sistema.

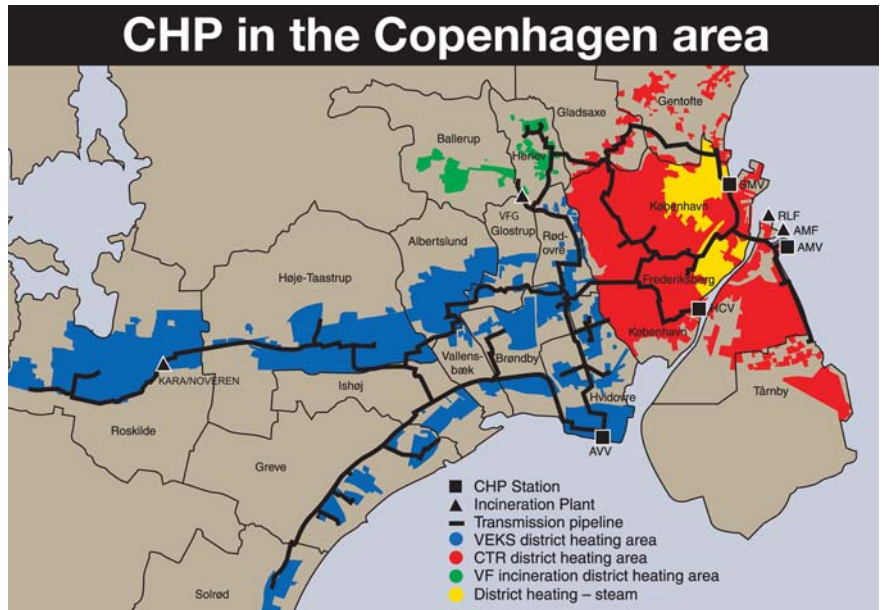


Planta de Reno-Nord, Aalborg

Junto con esto, se reduce la emisión de NOx mediante un sistema de reducción no catalítica selectiva (RNCS), y se sitúan dos intercambiadores de calor entre el precipitador electrostático y el templador. El primero tiene la función de precalentar el aire de combustión, mientras que el segundo precalienta el vapor condensado de la caldera o sistema de calefacción urbana. De esta manera todo el calor de combustión, hasta una temperatura de los gases residuales de unos 90 °C, puede recuperarse para el ciclo de vapor/agua.

Dado que la temperatura de retorno del agua de calefacción urbana es más baja que la temperatura de condensación de los gases residuales en los dos primeros depuradores, se puede extraer una cantidad adicional de calor en un intercambiador situado en el lavador de dioxinas. El resultado es que una parte sustancial del vapor de agua presente en el gas residual se condensa, y transfiere el calor de la evaporación al agua de la calefacción urbana, mientras que produce agua suficiente para que la unidad de incineración sea más que autosuficiente en recursos hídricos. Así, dos importantes partes del residuo –la escoria y el contenido húmedo– pueden recuperarse para su reutilización.

El agua residual de los lavadores, así como el agua excedente de la condensación de gases residuales se trata en una planta de tratamiento de aguas,



Mapa de los sistemas de transmisión de calor de CTR y VEKS

que incluye una separación redundante del NH₃ y una planta de recuperación, antes de ser descargada en el ámbito marino (Limfjorden).

Redes de district heating

La Ley de Suministro de Calor aprobada en 1979 fomentó la implantación de formas óptimas de distribución de calor y agua caliente para las edificaciones danesas. Pero una de sus consecuencias fue que los sistemas colectivos basados en gas natural competían con frecuencia con los basados en agua caliente. Esto se resolvió en 1993 cuando se firmó el acuerdo en el que se estipulaba oficialmente "que la aplicación de los residuos para alimentar la producción combinada de calor y electricidad debe continuar teniendo preferencia sobre otros tipos de combustible". Gracias al apoyo político que recibió la calefacción urbana, las plantas de incineración danesas pueden vender durante casi todo el año el total del calor que producen. El sistema, por tanto, está obviamente caracterizado por un alto nivel de eficiencia energética.

De este modo, pronto se establecieron amplias redes de calefacción urbana, entre ellas las de las compañías CTR y VEKS, para asegurar la máxima explotación posible del calor excedente genera-

do en las plantas de generación y de incineración de residuos del área de Copenhague.

Planta de Næstved

Dinamarca ha conseguido una óptima utilización de los residuos sólidos como recurso energético gracias a una estrecha colaboración entre ayuntamientos, empresas de gestión de residuos y compañías de calefacción urbana. Un ejemplo de esto se puede encontrar en el sur de Selandia, donde la coyuntura de la distribución de habitantes, la producción de desechos y el mercado de calefacción urbana propicia unas condiciones favorables para la implantación de una central de cogeneración en el núcleo más poblado: Næstved.

Esta planta, dimensionada para atender a una población equivalente de 200.000 habitantes, tiene una capacidad de tratamiento de alrededor de 100.000 toneladas anuales de residuos aptos para la incineración que producen habitantes, comercios e industrias.

La producción bruta anual de calor, estimada en unos 200.000 MWh, es vendida a la Compañía de Calefacción Urbana de Næstved, que suministra calefacción a cerca de 17.000 consumidores. Los 40.000 MWh/año producidos son también vendidos a la red pública.

Fuente: Este artículo incluye un resumen de los artículos publicados por Mr. Søren Dalager (Ramboll), Mr. Ole Hedegaard Madsen (Babcock & Wilcox Vølund) y Mr. Lars Gullev (VEKS), en el número 4/2006 de la revista Danish Board of District Heating.



Mapa del área de Næstved