

# APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA IRRADIACIÓN COMO SERVICIO

J. I. MARTÍN

El uso industrial de los "haces de electrones" comenzó en los años 50 con el reticulado de film de polietileno y el aislamiento de cables. Hoy día el uso de esta tecnología de electrones ha crecido hasta el punto de existir más de 600 instalaciones en mas de 35 países. La potencia total instalada es de unos 40 Mwattios (más de 8 millones de productos procesados al año).

Hoy día se utiliza esta tecnología por muchas de las grandes industrias que trabajan plásticos, productos para el automóvil, derivados del caucho, cableados, tuberías, semiconductores, productos médicos, envases o control de polución.

El principal efecto de estos electrones de alta energía es el de producir iones en los materiales tratados. Como resultado la molécula original es modificada y estos radicales libres se pueden combinar para producir nuevas moléculas con reacciones químicas nuevas o desorganizar las cadenas del ADN de los seres vivos (insectos, hongos, microorganismos, etc.).

*Industrial use of electron beams began in the 1950's with the crosslinking of polyethylene film and wire insulation. Today the number of electron beam Processing Systems installed for industrial applications throughout the world has grown to more than six hundred stations in over 35 countries.*

*Total installed power is now approaching 40 megawatts (over 8 million tons of products per year).*

*Electron Beam is now utilized by many major industries including plastics, automotive, rubber goods, wire and cable, electrical insulation, semiconductor, medical, packaging, or pollution control.*

*The principal effect of high-energy electrons is to produce ions in the materials treated, resulting in the liberation of orbital electrons. As a result, the original molecule is modified and the free radicals combine to form new molecules with new chemical reactions or disorganization of the DNA chains of living organisms (insects, fungus, microorganisms, etc.).*

El uso de la radiación ionizante en la medicina, en la industria y en la investigación continúa ascendiendo en los países desarrollados. Actualmente existen mas de 170 instalaciones de irra-

diación de productos con rayos gamma y más de 800 que utilizan rayos beta producidos por aceleraciones de electrones. Solamente Japón dispone de mas de 180 máquinas aceleradoras de partículas repartidas entre centros de investigación y centros de aplicaciones especiales.

De entre las muchas aplicaciones de estas radiaciones, la más común de todas es la de la esterilización de productos médicos, farmacéuticos, cosméticos y alimentos.

Las aplicaciones de estos conocimientos a la industria fueron y siguen siendo inmemorables y abarcan desde el desarrollo de la energía nuclear y el desarrollo de las aplicaciones médicas hasta la oferta de las radiografías industriales o el uso del carbono 14 en arqueología así como la esterilización de productos biológicos, la polimerización del plástico o componentes y la síntesis de radiofármacos por medio de técnicas de PET...etc. El efecto terapéutico, y dañino de las radiaciones es un fenómeno conocido desde los primeros tiempos de esta ciencia. El procedimiento mas simple desde el punto de vista operacional para aplicar esta tecnología en la terapia ha consistido en disponer de fuente de radiación natural individualizadas convenientemente encapsuladas como ocurre con las instalaciones que utilizan fuentes de cobalto para irradiar. La importancia de este método radica en que no requieren instalación ni equipos complicados. su mayor desventaja sin embargo es que no se puede interrumpir

su funcionamiento, la fuente radioactiva esta emitiendo radiación de forma continuada y además su actividad decae con el tiempo y la fuente debe ser sustituida lo que implica operaciones de manipulación, transporte de material radioactivo. Un riesgo adicional, es la posibilidad de extravío o robo.

La búsqueda de otra fuente que pueda ser controlada a voluntad y que pudiera ser puesta en marcha según se requiera motiva el desarrollo de los Aceleradores, máquinas capaces de impartir energía a partículas extrayéndolas de campos electromagnéticos a modo de proyectiles contra un material seleccionado.

Existe una gran variedad de aceleradores con formas muy amplias de energía y potencia, podemos dividirlos en, tres grandes grupos: Baja, Media y Alta energía según tengan menos de 5 o mas de 5 MeV respectivamente.

La Energía, la Potencia y la Dosis son términos que quedan relacionados:

La Energía de los Electrones se mide en electronvoltios (e.V.). La Potencia es la medida de la energía desprendida por un electrón en un segundo. A mayor potencia más productividad (velocidad de tratamiento)

Dosis absorbida es la energía depositada por la radiación en la unidad de masa. Se mide en Gy.  $1\text{Gy} = \frac{\text{Julio}}{\text{kg}}$

En 1956 Johnson & Johnson desarrolló la primera aplicación industrial para la esterilización de productos médicos utilizando un acelerador de electrones. El motor fundamental del desarrollo de los aceleradores fue la

curiosidad científica por la utilidad de los aceleradores que ha trascendido el campo de la investigación y se encuentra ya plenamente orientado a aplicaciones industriales y sobretodo a las Aplicaciones Médicas.

El proceso de esterilización con electrones es el más corto en tiempo de todos los conocidos. La exposición de los productos dura segundos y el proceso total incluyendo transporte dura algunos minutos.

Otra ventaja y oportunidad para reducir tiempos es la habilidad para cambiar los parámetros de un lote a otro de forma instantánea en función de las necesidades de cada producto. Esto además reduce stocks y costes de inventario asociados.

## PRINCIPIOS BÁSICOS DE LOS ACCELERADORES

Los átomos están compuestos básicamente de tres componentes: protones, neutrones y electrones. Los protones y neutrones forman el núcleo, el corazón y la parte más sólida del átomo. Los electrones, más ligeros, circulan alrededor del núcleo como los planetas circulan alrededor del sol. Debido a su ligereza, los electrones orbitales son relativamente sencillos de separar del átomo. De hecho, los electrones de un átomo que entran en contacto con otro, pueden ser desviados de su órbita como bolas de billar.

Esta facilidad para desplazar electrones de sus órbitas permite de manera sencilla, acelerar los electrones, esto es aumentar la velocidad a la que viajan en sus órbitas. La agilidad de los científicos para acelerar y enfocar los haces de electrones acelerados, ha llevado a importantes y prácticas invenciones, tales como televisores, rayos X, pantallas de ordenadores, etc... Todos ellos se basan en la aceleración de electrones.

El "Tubo" de una televisión es un contenedor con vacío. El vacío es necesario para evitar que los átomos más grandes no interfieran con los pequeños electrones como en el ejemplo de las bolas de billar mencionado antes. Un filamento sobrecalentado produce una corriente de electrones en una cavidad, en un extremo del "Tubo", llamada "pistola de electrones". El haz es dirigido hacia el frente del "Tubo" (pantalla) por un sistema de imanes, allí los electrones son "escaneados" en la parte interior de la pantalla

que está revestida de una capa especial, y esto genera las imágenes.

Los principios que operan en un aparato televisivo son similares a los que rigen en un Acelerador de Electrones. Sin embargo la televisión solo necesita que los electrones se distribuyan sobre la pantalla. En la industria, los electrones deben penetrar y traspasar la superficie de los materiales que están siendo tratados. Para esto, se necesita una corriente de electrones, "haz de electrones" potente, y concentrado, esto significa que se deben acelerar más electrones y a mucha más velocidad.

Los aceleradores pueden ser lineales o circulares que son los más modernos.

Ambos utilizan una pistola de electrones, como en los aparatos de TV para suministrar una corriente de electrones de forma continua.

Los lineales aceleran sus electrones a través de varias cámaras, a quienes al irse desplazando entre cámaras, se les aplican fuerzas mayores para conseguir que se muevan a velocidades incrementadas continuamente. Un sistema de imanes va garantizando la dirección adecuada a esta corriente de electrones. Cuando estos electrones llegan al final de esta serie de cámaras, se mueven a velocidades extraordinariamente grandes, variable según el tipo de acelerador. A continuación pasan por otro sistema magnético que hace que este foco unifilar haga un barrido que le convierte en un haz de anchura preconcebida y variable según las nece-

sidades, es decir convierte una luz puntual en otra de la anchura requerida.

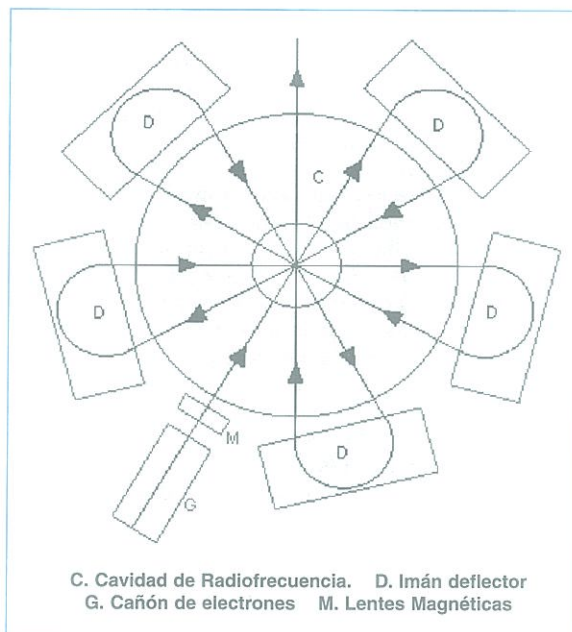
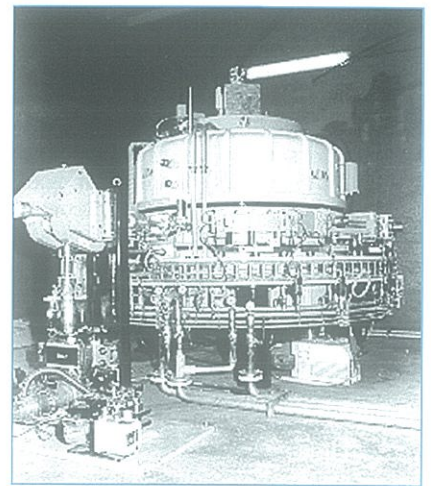
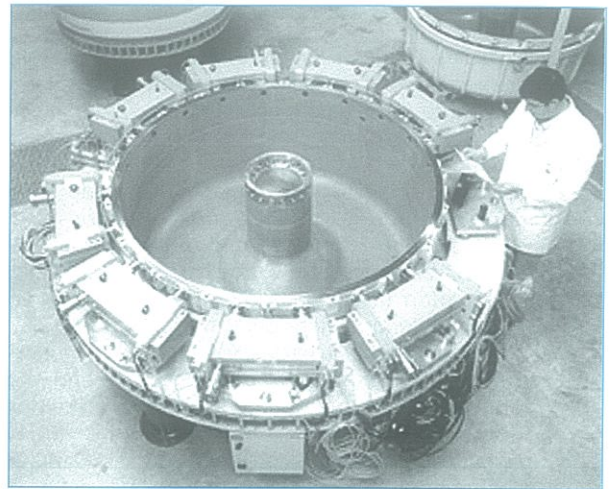
Los circulares se basan en los mismos principios, pero vamos a detenernos un poco más en sus fundamentos ya que es el tipo de acelerador que existe en España y el último que ha llegado al mercado.

### Acelerador de electrones

El RHODOTRON es un diseño revolucionario en el mundo de los aceleradores de electrones basado en la tecnología aplicada en la construcción de Ciclotrones que le porfiere más compacidad y permite alcanzar mayores potencias que los diseños clásicos tipo Linacs o Van der Graff de tamaño similar.

La potencia nominal de estos aceleradores abarca una amplia gama según el modelo comercial de que se trate hasta los 200 KW, si bien la potencia del acelerador que nos ocupa es de 50 kW.

Al igual que para todos los aceleradores de electrones, opera sobre el principio básico de que los



C. Cavidad de Radiofrecuencia. D. Imán deflector  
G. Cañón de electrones M. Lentes Magnéticas

electrones sufren una ganancia de energía cuando atraviesan una región donde existe un campo eléctrico paralelo a su dirección de movimiento. La originalidad del Rhodotron radica en que el campo eléctrico es radial y no axial acelerando a los electrones en una cámara de vacío recorriendo una trayectoria compuesta de varios bucles conformando la proyección de una margarita (Rhodos quiere decir flor en griego) atravesando varias veces el centro de la cámara. Esto permite la operación de la máquina en modo continuo (frecuencias de 107 Mhz) ofreciendo unas claras ventajas industriales frente a otros diseños competidores.

Los electrones son generados en la fuente de electrones y se disparan al interior de la cámara donde se acoplan con un campo electromagnético variable con la antedicha frecuencia de 107 MHz cuyo sentido va cambiando al mismo ritmo que los electrones atraviesan el centro de la cavidad obteniéndose una ganancia de energía tras cada paso de 1 MeV originada por la tensión de 1 MV existente entre el centro de la cavidad y las paredes exteriores.

Al recorrer un diámetro los 9 imanes deflectores los introducen de nuevo en la cavidad trazando un nuevo paso por el centro hasta el punto diametralmente opuesto, finalmente los electrones salen de la cámara aceleradora con una energía de 10 MeV. Son dirigidos por la línea de transporte del haz, desviados 90° y dispersados en el cono de barrido por un sistema de imanes que les hace barrer una anchura de aproximadamente 1 m (tamaño de paleta tipo) con una frecuencia de 100 Hz.

## APLICACIONES

Las principales aplicaciones, tanto por el volumen como por la facturación y demanda, son las de esterilización de productos médicos y desinfección o higienización de los alimentos.

La esterilización de materiales y productos que se utilizan en determinadas actividades profesionales, industriales o de consumo, es un proceso cada vez más necesario para dar respuesta a las crecientes demandas sociales de calidad y seguridad.

Un producto estéril es aquel que está libre de microorganismos viables.

Normalmente los productos, aunque fabricados en condiciones controladas, están contaminados con microorganismos. Estos productos, por definición, se consideran no estériles.

El propósito del proceso de esterilización es destruir la contaminación

microbiana de los productos no estériles. La destrucción microbiana mediante agentes físicos o químicos sigue una ley exponencial, que nos permite calcular la probabilidad de supervivencia de un microorganismo a partir de la dosis suministrada en el tratamiento. La probabilidad de supervivencia está en función del número y tipos de microorganismos (carga biológica), de la letalidad del proceso de esterilización y en algunos casos, del medio ambiente en el que se encuentren los microorganismos durante la esterilización.

En la práctica, se utiliza el Nivel de Garantía de Esterilidad (SAL), que se define como la probabilidad de encontrar uno o más microorganismos viables en un producto, o lo que es lo mismo, la probabilidad de que un producto o unidad no sea estéril tras el proceso de esterilización. El valor SAL reconocido a nivel mundial es el de  $10^{-6}$  para la esterilización de cualquier producto.

## HIGIENIZACIÓN DE ALIMENTOS

La irradiación de alimentos con rayos  $\beta$  produce muy pocos cambios químicos en los alimentos. Además, se ha comprobado que ninguno de dichos cambios, resulta ser nocivo ni peligroso para el consumo.

Algunos de los cambios químicos forman los llamados productos "radiolíticos" que han resultado ser productos conocidos, tales como la glucosa, el ácido fórmico, el acetaldehído y el dióxido de carbono que, o se encuentran de forma natural en los alimentos o se forman mediante tratamientos térmicos. En los últimos 30 años se han realizado numerosos ensayos científicos utilizando técnicas analíticas sumamente delicadas para aislar y detectar productos radiolíticos formados por la irradiación. No se ha detectado ninguna sustancia que realmente se produzca exclusivamente en los alimentos irradiados.

La radiación ionizante o irradiación de alimentos para su conservación y asepsia, ha ido ganando paulatinamente más y más adeptos en todo el mundo a pesar de la controversia que estos temas suscitan a veces más por razones viscerales que puramente científicas.

Existe una lista abundantísima de alimentos que están autorizados a ser irradiados en el mundo. Esta lista varía entre país y país, pero Europa cuenta globalmente con una gran variedad de productos que pueden ser consumidos irradiados con todas las garantías y con la seguridad de que este tratamiento evitará innumerables casos de salmo-

nelas y problemas intestinales que en ocasiones conducen a la muerte del afectado.

La Unión Europea acaba de editar una Directiva que regula el uso de la ionización de los alimentos en la Unión.

En EEUU se permite, con el aval de la FDA, la irradiación de numerosas frutas, especies, productos perecederos y últimamente la carne.

## ESTERILIZACIÓN DE PRODUCTOS MÉDICOS

En la actualidad, el proceso de esterilización por rayos ionizantes, está técnica e industrialmente desarrollado, tanto en su proceso como en sus aplicaciones a productos médico-quirúrgicos. Es un tratamiento totalmente aceptado después de más de treinta años de experiencia, y por tanto, todo lo referente a su implantación, proceso y controles, está suficientemente contrastado y regulado a escala internacional.

Estas Plantas de esterilización se han desarrollado tanto a niveles de empresa fabricante, en las que sus capacidades de producción justificaba el pleno funcionamiento, como en empresas cuyo objetivo es la prestación de un SERVICIO a varios fabricantes, cuyos volúmenes de producción no aconsejaban por sí mismas la realización de esta inversión.

Hoy en día, están en funcionamiento más de 160 instalaciones en todo el mundo, para el tratamiento de componentes y productos médico-quirúrgicos, lo cual avala la expansión del tratamiento.

En 1956 JOHNSON & JOHNSON desarrolló la primera aplicación comercial de esterilización con haz de electrones para productos médicos. La pobre fiabilidad del sistema en aquellos tiempos reemplazó a esta tecnología por la de Cobalto.

Con la dedicación de laboratorios importantes a la investigación de la física de altas energías, se puso un mayor esfuerzo para mejorar la fiabilidad de este método.

La involucración de la industria de los 70 en el desarrollo de máquinas de radiografía y oncología elevó la durabilidad y fiabilidad de los aceleradores. Todo esto unido al desarrollo de sistemas de control computerizados, animó a la industria a reevaluar la aplicación de los aceleradores a la esterilización.

El proceso implica el uso de electrones a una alta energía, típicamente a energías que van desde 3 a 10 millones de electron voltios (MeV).

Estas altas energías se necesitan para

penetrar el producto sin necesidad de extraerlos de sus cajas o envoltorios.

Al pasar los electrones a través del producto, estos interaccionan con los materiales y crean especies energéticas secundarias, tales como electrones, iones y radicales libres. Estas especies energéticas secundarias son las responsables de la inactivación de los microorganismos al romper las cadenas de sus ADNs y convirtiéndolos en estériles.

La norma ISO 11137 define a un producto como estéril si está libre de microorganismos viables. Los productos a pesar de ser manufacturados en condiciones muy controladas están contaminados, se consideran no estériles. El propósito de la esterilización es eliminar la contaminación microbiana de los productos no estériles. Esta eliminación sigue una ley exponencial que nos permite calcular la probabilidad de supervivencia en función de la dosis suministrada en el tratamiento. Esta probabilidad es asimismo función de la carga biológica del producto, es decir, número y tipo de microorganismo y del ambiente en el que se hallen durante la esterilización. La probabilidad de supervivencia de microorganismos viables en un producto se expresa en términos de SAL (Sterility Assurance Level) que viene definida en la norma ISO 11137 en su apartado 3.6.4.

La empresa esterilizadora es la responsable de suministrar la dosis de esterilización de acuerdo con las especificaciones marcadas durante el proceso de validación para cada producto.

## RETICULADO DE MATERIALES PLÁSTICOS

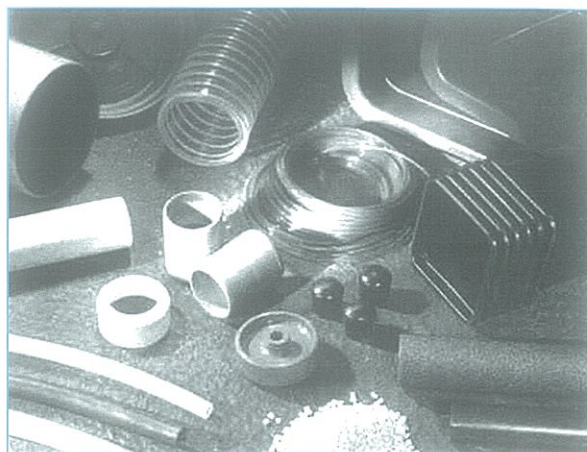
La experiencia cotidiana puede hacer que el uso de las radiaciones ionizantes con la finalidad de obtener mejoras en las propiedades de materiales, nos parezca contradictorio. Es sabido el deterioro que sufren los materiales, en general, cuando se ven sometidos a campos de radiación, sean estos campos tan energéticos como los generados por la radiación  $\beta$  o los rayos-X, o tan aparentemente inofensivos como sucede con la radiación solar. Sin embargo, un conocimiento profundo de los efectos de interacción de la radiación con la materia nos puede proporcionar una importantísima información, a la hora de saber en qué condiciones, para qué composiciones, qué tipos de radiaciones y en qué dosis, pueden afectar de forma positiva al comportamiento de diversos materiales de interés tecnológico. Concretamente, en el caso de los materiales poliméricos, existe todo un mundo de posibili-

dades muy interesantes desde el punto de vista económico-industrial.

El efecto que producen las radiaciones ionizantes, cuando éstas inciden sobre un material polimérico, desde el punto de vista de su estructura molecular, se puede explicar del siguiente modo. Nos vamos a limitar al caso de la radiación  $\beta$  (electrones acelerados), aunque la explicación sería análoga para otros tipos de radiaciones ionizantes.

Al chocar los electrones altamente energéticos con las cadenas moleculares constituyentes de los polímeros, se producen una serie de ionizaciones y la formación de radicales libres en el material. Como es sabido, los radicales libres son altamente reactivos y tienden a producir rápidamente determinadas reacciones químicas. Los efectos más destacados de dichas reacciones son la *escisión* de cadenas y la *reticulación*, dos efectos contrapuestos que se explican a continuación.

La *escisión* de cadenas, con la consiguiente disminución del peso molecular medio del polímero, se piensa que está favorecida por la cristalinidad del material, por la presencia de oxígeno y por el tiempo transcurrido durante la irradiación. Uno de los mecanismos más conocidos de degradación es el de la degradación oxidativa producida por la difusión del oxígeno del aire a través de la estructura del polímero durante la irradiación. La presencia de este oxígeno, induce la formación de grupos peróxidos ( $-O-O-$ ), carboxílicos ( $-COOH$ ), aldehídos ( $-CHO$ ), cetonas ( $-C=O$ ) e hidroxilos ( $-OH$ ). La presencia de estos grupos funcionales suele afectar de forma negativa a las propiedades del material. Evidentemente, la aparición de estos grupos funcionales dependerá mucho de la composición competa del material (aditivos como antioxidantes, plastificantes o colorantes, pueden mejorar la radioestabilidad del polímero). Pero, la respuesta del polímero ante la irradiación también depende en gran parte de la cantidad de radiación recibida (dosis) y de la rapidez con que la ha recibido (tasa de dosis). Así, en el caso de los polímeros que tienden a degradarse con la irradiación, una solución parcial es hacer que reciba la dosis deseada en el menor tiempo posible para que la difusión del oxígeno no tenga lugar de forma generalizada. Otras opciones consisten en realizar el proceso en ausencia del oxígeno (a vacío o en atmósfera inerte), no obstante, estas opciones tienen el inconveniente



Productos tratados por irradiación  $\beta$

de su elevado coste, con lo que su uso es muy restringido.

El otro efecto que se produce por la aparición de los radicales libres creados durante la irradiación, es la *reticulación*. Es decir, la unión de unas cadenas con otras mediante enlaces covalentes, con esto se pasa a tener una estructura tridimensional que confiere al material unas propiedades muy ventajosas para multitud de aplicaciones. Con la reticulación, se pasa de tener un polímero termoplástico a uno termoestable de propiedades totalmente distintas. Aquí es donde reside el gran interés de la irradiación de materiales plásticos, ya que se pueden obtener, a partir de materiales sencillos y baratos, otros materiales con un valor añadido considerable debido a sus notables propiedades.

Uno de los retos más importantes de los últimos años en la industria de los plásticos, logrado gracias a la irradiación con electrones acelerados de polímeros, ha sido el encontrar materiales capaces de sustituir al PVC en aplicaciones como la protección de instalaciones eléctricas. Como es sabido, el PVC ha sido un material muy empleado en este campo. Una de las ventajas que le hacen apto para ello es su buen comportamiento frente al fuego (no es propagador de llama); pero, un inconveniente es su pésima respuesta frente a las altas temperaturas, ya que se descompone emitiendo vapores tóxicos de cloruro de hidrógeno. Así, su uso en determinadas instalaciones susceptibles de sufrir incendios, constituye un serio problema de seguridad. La solución a este inconveniente consiste en el empleo de poliolefinas libres de halógenos y reticuladas. Y el mejor modo de obtener la reticulación, desde el punto de vista técnico y económico, es la irradiación con electrones acelerados.

La más importante de todas las aplicaciones industriales, por el volumen que mueve, es precisamente el reticulado de los recubrimientos plásticos de alambres, cables y tuberías.

Con el reticulado, se obtiene una notable mejora las propiedades de resistencia al calor y al fuego de estos materiales que son muy apreciados para automóviles, equipos electrónicos, centrales nucleares, etc...

## APLICACIONES INDUSTRIALES CONCRETAS

Los principales campos de la industria donde más se han estado aplicando de manera activa y eficaz los haces de electrones son los de cableado industrial, la industria de las espumas de poliolefinas, tubería sanitaria y tubería o films termorretráctiles. En la última década la industria de las ruedas o neumáticos de caucho también ha cobrado gran importancia.

Todos estas aplicaciones están relacionadas con los polímeros: la modificación de materiales plásticos o elastómeros sometiendo, por ejemplo, al reticulado de sus moléculas y la transformación de monómeros en cadenas poliméricas.

La tabla adjunta muestra más detalles de productos reticulados y sus efectos en sus propiedades químicas o físicas, polímeros aplicables y usos más importantes.

Los polímeros reticulables más adecuados para las aplicaciones industriales son los siguientes:

**Poliolefinas:** polietileno (PE), polipropileno (PP), copolímero etileno-acetato de vinilo (EVA), copolímero etileno-etilacrilato (EEA), polietileno clorado (CIPE).

**Vinilos:** cloruro de polivinilo (PVC)

**Fluoropolímeros:** fluoruro de polivinilideno (PVdF), copolímero etileno-tetrafluoroetileno (ETFE), copolímero etileno-clorotrifluoroetileno.

**Elastómeros:** caucho natural (NR), caucho de cloropreno (CR), caucho de estireno-butadieno (SBR), caucho de butadieno (BR), caucho de isopreno (IR), terpolímero etileno-propileno-dieno (EPDM), caucho de isobutileno (IIR), caucho de polietileno clorosulfonado (CSPE).

## OTRAS APLICACIONES INDUSTRIALES

### • CURADO DE SUPERFICIES

Por ejemplo en discos de ordenador, electroconductores, cartones para envases, piezas de motocicletas, etc...

El curado de composites empleados en la industria aeronáutica por medio

de haz de electrones, ha demostrado ser un proceso mucho más competitivo que el curado térmico debido fundamentalmente a la mayor rapidez y capacidad de penetración con lo que se obtiene una mayor homogeneidad.

### • TRATAMIENTO DE GEMAS

Las gemas semi-preciosas (topacios, zafiros) son tratadas a altas dosis para dotarlas de colores más puros o intensos. De este modo, se pueden obtener piezas con un gran valor añadido a partir de materiales, de otro modo poco valiosos.

En el tratamiento de las gemas se combinan tratamientos térmicos con la ionización por electrones para obtener resultados óptimos.

### • APLICACIONES MEDIOAMBIENTALES

Se está desarrollando, sobre todo en Japón, la aplicación de un acelerador en los gases efluentes de un incinerador de basura con vistas a la reducción de la carga contaminante.

Se han montado varias instalaciones para la desinfección de aguas residuales. Se ha demostrado que el 99,9% de coliformes son eliminados con dosis de unos 500 Gy.

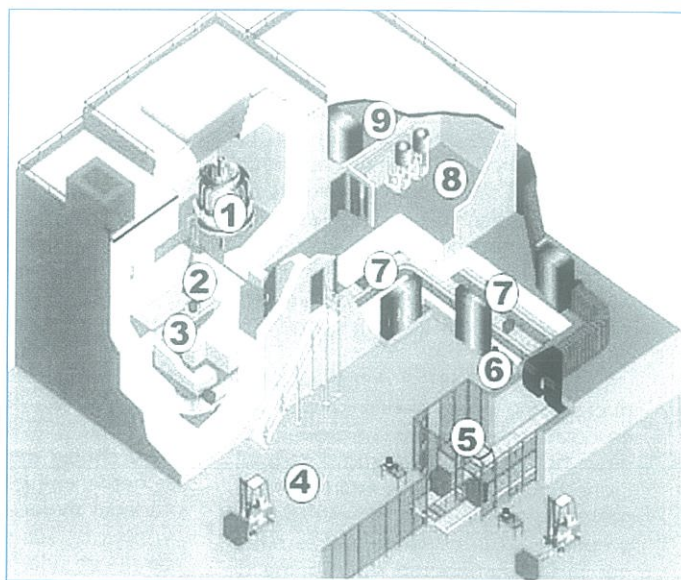
La reticulación de cauchos mediante haz de electrones también presenta notables ventajas desde el punto de vista medioambiental respecto a la clásica vulcanización con azufre puesto que, al evitar la adición de azufre, una eventual incineración del producto tras completar su ciclo de vida útil no generará humos ácidos.

### • DESINFECCIÓN DE LODOS RESIDUALES DE INDUSTRIAS

Se están obteniendo excelentes resultados con el tratamiento de estos lodos y la fabricación de "compost" para fertilizantes.

## INSTALACIONES

Las instalaciones para la aplicación industrial de los aceleradores deben estar dotadas de los siguientes elementos:



1- RHODOTRON (ACELARADOR)  
2- CONO DE HAZ DE ELECTRONES  
3- ZONA DE TRATAMIENTO  
4- ALMACÉN  
5- VOLTEADOR DE PRODUCTOS

6- MONITORES DE SEGUIMIENTO  
7- CINTA TRANSPORTADORA  
8- SALA DE REFRIGERACIÓN  
9- SALA DE CONTROL

• **Área de ionización.** Es el lugar donde se ubica la fuente de generación de electrones y en la que se realiza el proceso de esterilización de los materiales. Esta zona está revestida de paredes de hormigón y por ella circulan, a través de un laberinto, los productos por medio de un transportador automatizado, cuya velocidad dependerá de la densidad de los productos a tratar, su volumen y su dosimetría.

El área de ionización se comunica con los dos almacenes a través de dicho laberinto y del transportador.

La fuente de generación de electrones (Acelerador) está situada dentro de la denominada *celda de irradiación*. Los electrones, una vez acelerados, son conducidos a través de una ventana o *scanner* que, en forma de cortina, proyecta dichos electrones sobre los productos a tratar.

• **Un sistema especial de transporte,** totalmente automatizado y controlado que llevará el producto a su exposición bajo la ventana (*scanner*) a la velocidad requerida en función de sus distintos parámetros y convenientemente identificado y controlado.

• **Un sistema de gestión y control** tanto de sus equipos principales, acelerador y sistema de transporte, así como los equipos auxiliares de seguridad, ventilación, enfriamiento, etc...

• **Un almacén general** de recepción, clasificación, almacenamiento y control tanto de los productos sin tratar,

## Efectos de la radiación sobre los polímeros

| Clasificación     | Producto                                                      | Efectos físico-químicos                                                                                                                      | Propósito de los efectos                                                                                                                           | Polímero aplicable                                                      | Aplicaciones                                                                                                                                                                                                                  |
|-------------------|---------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Cables y alambres | Cables pequeña sección<br>Cables para electrónica             | Aumento de la resist. al calor de los materiales aislantes poliméricos<br>Mejora de propiedades mecánicas                                    | Aumento del rango de temperaturas de utilización<br>Mejora de la resistencia a la abrasión<br>Aumento de la resist. a agentes químicos             | PE, EVA, EEA, CIPE, PVC, PVdF, ETFE, ECTFE                              | Cableados en aparatos eléctricos y electrónicos como ordenadores, equipos de audio, iluminación, etc.<br>Cableados en automóviles aviones y vehículos espaciales<br>Cableados en cuadros de distribución, interruptores, etc. |
|                   | Cables de media a gran sección<br>Cables de energía y control | Aumento de la resist. al calor de los materiales aislantes                                                                                   | Aumento de la corriente máxima soportada<br>Aumento de la corriente de cortocircuito                                                               | PE, EVA, EEA, EPDM                                                      | Cableados en plantas como centrales eléctricas térmicas o nucleares, plantas químicas y altos hornos                                                                                                                          |
|                   |                                                               | Aumento de la resist. al calor de los materiales de las camisas<br>Aumento de las propiedades mecánicas y resistencia química de las camisas | Aumento de la temperatura de utilización<br>Mejora de la respuesta ante condiciones de uso especialmente hostiles                                  | PE, EVA, EEA, CIPE, CSPE                                                | Cableado en grandes edificios, teatros, centros comerciales, túneles, etc.<br>Cableados en barcos, vehículos de transporte como locomotoras, etc.                                                                             |
|                   | Cables de calentamiento<br>Calentadores autoregulados         | Aumento de la resist. al calor de los materiales aislante y camisas<br>Aumento de las prop mecánicas y resist química de camisas             | Aumento de la temperatura de utilización<br>Mejora de la respuesta ante condiciones de uso especialmente hostiles                                  | Poliolefinas<br>Fluoropolímeros                                         | Calentamiento de tuberías y tanques                                                                                                                                                                                           |
| Espumas plásticas | Láminas de espumas plásticas                                  | Modificación de las prop. Viscoelásticas en estado fundido<br>Aumento de la resist. al calor                                                 | Mejora del comportamiento en el proceso de espumado<br>Mejora de la procesabilidad para un segundo procesado<br>Aumento de la temp. de utilización | PE, EVA, PP                                                             | Materiales aislantes térmicos                                                                                                                                                                                                 |
| Tubería y film    | Tubería termorretráctil<br>Film termorretráctil               | Dar efecto memoria<br>Aumento de la resist. al calor                                                                                         | Dar propiedades termorretráctiles<br>Aumento del rango de temperatura de aplicación                                                                | <b>Tubo:</b> PE, EVA, EEA, CIPE, PVdF, ETFE, CR, PVC<br><b>Film:</b> PE | <b>Tubo:</b> aislamiento en uniones de cables<br>Protección de tuberías frente a la corrosión en uniones<br><b>Film:</b> embalaje en general<br>Protección de tubos frente a la corrosión en uniones                          |
|                   | Tubería no termorretráctil<br>Film no termorretráctil         | Aumento de la resist. al calor<br>Mejora de propiedades mecánicas                                                                            | Aumento del rango de temperatura de utilización<br>Mejora de la resistencia a tracción (film)                                                      | <b>Tubo:</b> PE, EVA, EEA, PVC<br><b>Film:</b> PE, EVA                  | <b>Tubo:</b> aislamiento en uniones de cables<br><b>Film:</b> contenedores extrafuertes                                                                                                                                       |
| Tuberías          | Tuberías                                                      | Aumento de la resist. al calor<br>Mejora de propiedades mecánicas a elevadas temperaturas                                                    | Aumento de la presión y temperatura permitidas en sistemas de distribución de agua caliente o gases<br>Minimización de los espesores de pared      | PE, PVC                                                                 | Sistemas de ventilación<br>Calefacción central y por suelo radiante                                                                                                                                                           |
| Productos médicos | Productos médicos de plástico                                 | Aumento de la resist. al calor                                                                                                               | Dar resistencia al calor para permitir la pasteurización con vapor a presión                                                                       | EVA                                                                     | Cápsulas de líquidos médicos                                                                                                                                                                                                  |
| Neumáticos        | Neumáticos                                                    | Disminución de la deformación del caucho no curado (dando un semicurado)                                                                     | Prevención de la deformación del caucho en el proceso de conformado<br>Mejora de la estabilidad dimensional de los productos                       | NR, SBR, BR, EPDM, IR                                                   | Automoción en general                                                                                                                                                                                                         |

como los productos tratados, los cuales, para evitar su mezcla, contarán con una barrera física que divide parcialmente dicho almacén.

- *Un laboratorio de dosimetría* dotado de todos los elementos necesarios para monitorizar, leer y certificar la dosis aplicada en cada caso, además del sistema de Protección Radiológica aplicable en este tipo de instalaciones.

El objetivo de la Planta es el de certificar unas dosis predeterminadas a los productos a tratar, por lo que el control de los parámetros y los sistemas de trazabilidad o de control de calidad en particular, son fundamentales para esta actividad.

## REGULACIÓN Y REQUISITOS DE LICENCIA

En España las instalaciones de aceleradores de electrones están consideradas como instalaciones nucleares de segunda categoría y como tales deben ser Licenciadas por el Consejo de Seguridad Nuclear. Deben cumplir con todas las normas de Seguridad y de Protección Radiológica aplicables.

Como Plantas dedicadas a la esterilización de productos médicos o alimentos, deben ser Autorizadas también por el Ministerio de Sanidad y Consumo. Se han establecido Normas Internacionales que regulan la cualificación y uso de productos, procesos e

instalaciones. Las dos principales Normas de aplicación son las ANSI / AAMI / ISO 11137 y la EN 552, entre otras.

## REFERENCIAS

1. MACHI S, Industrial Applications of Large Irradiation Sources, the role of IAEA, Proc. Intern. Symp. Appl. Technol. Ion. Rad 3 (1982).
2. MAHA M., Research on food Irradiation in Indonesia, 17 th. Japan. Conferences on Radiation and Radioisotopes, Sept. 2-4, 1984. Sankei Kaikan, Tokyo, Japan.
3. Proceedings of the workshops on the utilization of electron beams. November 1990 (Ed) Sulo Mach IAERI.
4. The effects of Sterilization methods on plastics and Elastomers "Plastic Design Librari, Morris, New York (USA 1994).
5. Auditing radiation Sterilization Facilities. Jeffrey A. Beck. Johnson & Johnson, Corporate Quality Assurance.
6. La irradiación de los alimentos. Magdalena Gálvez Morros. Conferencia coloquio. 23 Reunión anual SNE, La Coruña, Nov. 1997.
7. Food Irradiation in Perspective. Joseph Borsa, Ph. D. MDS Nordion. Kanata, Ontario, Canada.
8. Documentation requirements for radiation sterilization. Arne Miller. High Dose Reference Laboratory. RISO National. Laboratory, DK-4000, Raswilde, Denmark.

9. Aceleradores de partículas. Parte 1. Informe Técnico. CSN 1.998 Rafael Cano, Gustavo López Ortiz, M<sup>a</sup> Fernanda S. Ojaguren.



*José Ignacio MARTÍN GALÁN es Ingeniero Industrial por la ETSII de Madrid. Entra en Enusa en 1976 en el Departamento de Diseño Mecánico. Se desplaza al "Nuclear Centre" de Westinghouse (Pittsburgh) a trabajar en el Departamento de Product Engineering durante dos años. Retorna a Enusa y es el responsable del Departamento de Aplicación del Producto; se desplaza durante seis meses a la fábrica de Combustible Nuclear de General Electric en Wilmington y a la fábrica de Westinghouse en Columbia durante tres meses. Se hace cargo del Departamento de Ingeniería del Producto de Enusa durante cuatro años, de ahí pasa a jefe de Producción y Subdirector de la fábrica de Elementos Combustibles de Enusa en Salamanca, donde permanece durante otros cuatro años. Actualmente es Director General de Ionmed, empresa que gestiona un Acelerador de Electrones para la esterilización de productos médicos, farmacéuticos y alimentos.*

(viene de la página 25)

de laboratorio farmacéutico. Los tres centros se encuentran en Barcelona, a través de la sociedad Barnatrón, en Sevilla, a través de Cadpet, y en Madrid, en asociación con la sociedad Cycloproject. Está previsto que comiencen su operación entre febrero y marzo del 2001.

Estas instalaciones está previsto que suministren a distintas tomocámaras instaladas durante el año 2000 y 2001: 1

en Barcelona, 2 en Valencia, 1 en Málaga, 3 en Sevilla, 1 en Granada, etc.

Este nuevo modo de operar, pionero en Europa, permitirá asegurar un suministro fiable incluso en caso de parada, planificada o no, de alguna de las instalaciones. Esto a su vez permitirá la creación de nuevos centros de diagnóstico y el crecimiento de esta técnica de diagnóstico tan prometedora.



*Rafael JIMÉNEZ SHAW es Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid y Diplomado en Dirección y Administración de Empresas (MBA) por el Instituto de Empresa de Madrid. Ha trabajado en distintas áreas de ENUSA Industrias Avanzadas desde 1985 hasta 1999: Ingeniería, Aprovisionamiento y Desarrollo Corporativo, habiendo participado directamente en la creación de IonMed y Molypharma. En la actualidad es Director de Operaciones de Molypharma.*



*José Miguel RÍOS MITCHELL es Ingeniero de Minas por la ETSIM de Madrid y Diplomado en Dirección de Empresas por la Escuela de Organización Industrial (EOI). Ha trabajado en distintas áreas de ENUSA Industrias Avanzadas desde 1979: Exploración, Minería y Producción de uranio, habiendo sido Subdirector del Centro de Ciudad Rodrigo. En la actualidad es Subdirector de Desarrollo Corporativo de ENUSA y colabora con Molypharma en la dirección técnica de proyectos.*