

primera parte:
informe general

adquisición de la unidad de teleterapia

Una unidad de teleterapia, manufacturada por la compañía Picker, de Cleveland, Ohio, E.U., fue vendida el 25 de noviembre de 1977, por la compañía X-Ray Equipment Co., de Forth Worth, Texas, a la empresa Centro Médico de Especialidades, S.A., de Ciudad Juárez, Chih. La unidad contaba con una fuente de Cobalto-60 con una actividad de 1003 Ci. Fue introducida al país mediante el permiso de importación No. 4676 y el registro No. 3154.

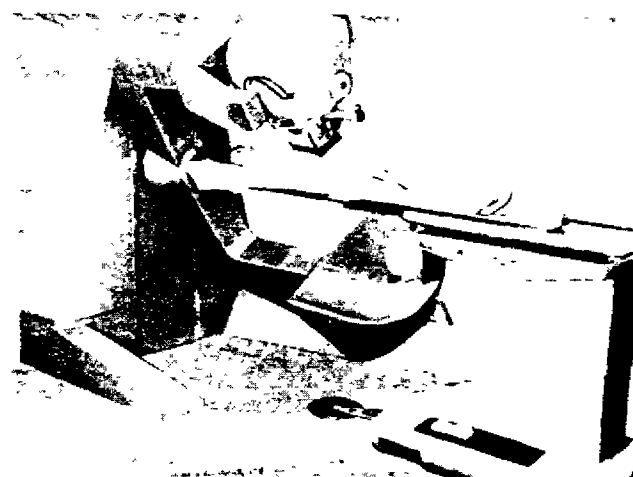
Para la importación de equipos de esta naturaleza se requería, en aquel entonces, la autorización del Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN), que tenía por ley la facultad de autorizar, vigilar y supervisar la posesión y uso de materiales radiactivos. El INEN nunca fue avisado de la intención de la empresa Centro Médico de Especialidades de adquirir la mencionada unidad y por ende, jamás extendió la autorización necesaria para la importación ni realizó la vigilancia y supervisión que el uso de la unidad hacía mandatorias.

principios del funcionamiento

La unidad de teleterapia pertenece a una clase de dispositivos que emplean la radiación de origen nuclear para la destrucción de ciertos tipos de tumores. Su uso requiere de personal especializado, con los conocimientos necesarios para efectuar la determinación de la "dosis de radiación" de manera que el tejido sano no resienta daños considerables en tanto que, como ya se dijo, los tumores sean destruidos por la radiación proveniente de la fuente. Una "fuente" de radiación o "fuente radiactiva" como la que contenía la unidad de teleterapia está hecha a base de materiales nuclearmente inestables, de manera que al descomponerse (decaer) los núcleos de sus átomos, se produce la emisión de ondas electromagnéticas, las cuales se emplean como proyectiles de alta penetración y concentración de energía. En el caso que nos ocupa, el material inestable era el llamado Cobalto-60, el cual tiene la particularidad de decaer a un ritmo tal, que en aproximadamente cinco años el número de núcleos inestables se reduce a la mitad de los originalmente presentes.

almacenamiento de la unidad

Es probable que debido al hecho de no contar con el personal con conocimientos para el empleo de la unidad, la empresa Centro Médico de Especialidades haya decidido postergar su uso y, según se afirma, la almacenó desde la fecha en que fue adquirida en una bodega de la empresa, ubicada en la calle de Ignacio Zaragoza, de la misma Ciudad Juárez.



Unidad de teleterapia para el tratamiento de cáncer, similar a la que originó el accidente.

De acuerdo con sus procedimientos, el INEN inspeccionaba las instalaciones en las que, según sus registros, se empleaban o existían fuentes radiactivas, cuando se producían cambios o incidentes en dichas instalaciones. El objeto de las inspecciones era el de verificar que la radiación proveniente de las fuentes no afectara la salud del personal que las manejaba ni la del público. El almacenamiento de una fuente radiactiva, en las condiciones existentes en el almacén de la calle de Ignacio Zaragoza, no hubiera sido permitido por el INEN ya que no se cumplía con requisitos mínimos, tales como delimitar una zona alrededor del aparato a fin de evitar que las personas se acercaran, instalar avisos que advirtieran de la presencia de material radiactivo al personal, prohibir todo tipo de maniobras en la zona delimitada, etc. Dado que en los registros del INEN no aparecía la unidad de teleterapia, ja-

más existió la posibilidad de que el INEN verificara la idoneidad del manejo dado a la unidad.

remoción de la fuente

En los primeros días del mes de diciembre de 1983, Vicente Sotelo Alardín, técnico de mantenimiento del Centro Médico de Especialidades, desarmó el cabezal de la unidad y extrajo de allí un cilindro en cuyo interior se encontraba el Cobalto-60. La operación anterior la realizó sin ninguna ayuda. Además de retirar el cabezal, también separó otras partes de la unidad, entre ellas la mesa de tratamiento.

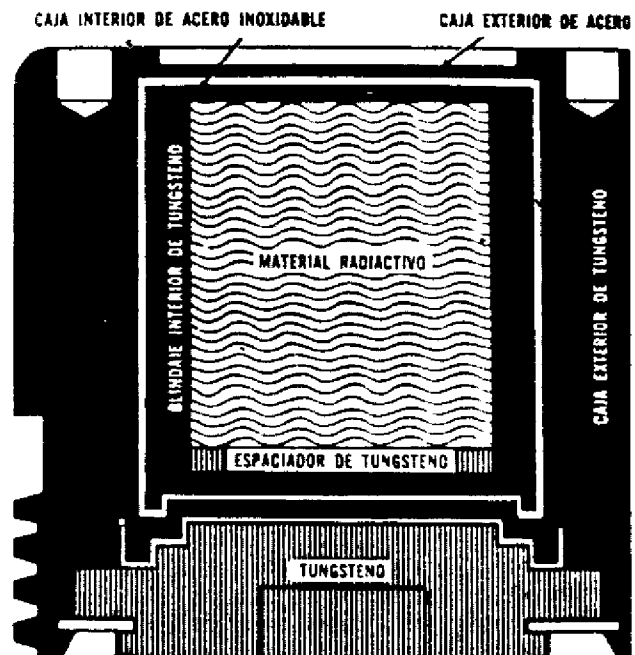
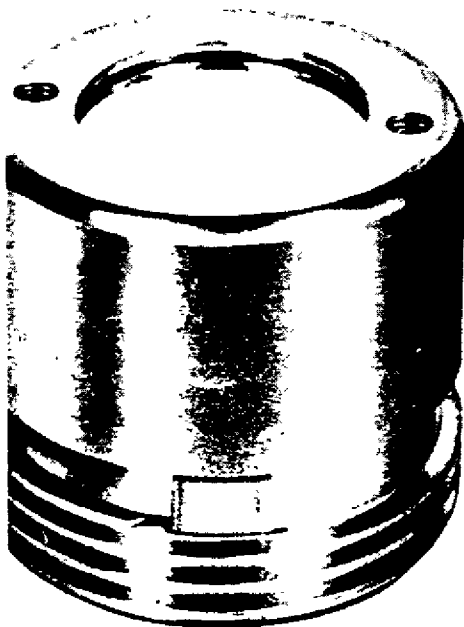
El gran peso de las partes metálicas de que constaba la unidad motivó en gran parte la tarea de Vicente Sotelo, ya que el objetivo de esta persona era vender como chatarra dichas partes. En particular, la parte donde se encontraba la fuente pesaba alrededor de cien kg., e hizo necesario que Ricardo Hernández, un amigo de Vicente Sotelo, le ayudara

a colocarla en una camioneta con el propósito de transportarla hasta una planta de chatarra.

diseminación del material radiactivo.

Una vez que el cilindro y las demás partes metálicas removidas de la unidad se encontraban en la camioneta, Vicente Sotelo se dirigió en ésta a la negociación denominada "Yonke Fénix", donde vendió como chatarra las partes transportadas.

Cabe hacer notar que, antes de que el cilindro con la fuente llegara a ese deshuesadero, dicho cilindro fue intencionalmente perforado y que esta operación se llevó a cabo lejos de la bodega, ya que en ésta no se encontró (a posteriori) ningún material radiactivo. Asimismo, la camioneta contenía, aún después de haber dejado su carga en el Fénix, una cantidad considerable del material radiactivo de la fuente (estaba, según la terminología usual, "contaminada").



Cápsula de la unidad que contiene el material radiactivo (6000 gránulos o "pellets" de Co-60).

Físicamente, la fuente estaba formada por un número grande (alrededor de 6,000) de cilindros pequeños (de 1mm x 1mm) de Cobalto-60, el cual es un metal con propiedades magnéticas y de poca resistencia mecánica. Al romperse el cilindro se ocasionó que algunos de los cilindros (o gránulos) se dispersaran en la camioneta y que, por consiguiente, al descargar las partes pesadas en el deshesadero, algunos de los gránulos permanecieran en la camioneta.



Tamaño comparativo de los Pellets de cobalto como los que contenía la fuente que originó el accidente.

En el "Yonke Fénix", las maniobras para el movimiento de la chatarra se efectúan mediante grúas que sostienen a los materiales metálicos por medio de un electroimán. El movimiento de las partes más pesadas requiere que éstas se encuentren relativamente aisladas, sin objetos que estorben su levantamiento, por lo que existe una tendencia a que dichas partes permanezcan un tiempo relativamente largo en el patio. En el caso del cilindro perforado, al ser movido éste por las grúas junto con los demás fragmentos metálicos, los gránulos de Cobalto-60 se regaron por todo el patio donde se almacenaba la chatarra y, posteriormente, fueron atraídos por el campo magnético de las grúas y mezclados con los otros materiales metálicos. De esta manera, gránulos y fragmentos de ellos fueron llevados también hasta los vehículos que se emplean para el transporte de la chatarra a los diferentes negocios de fundición. El principal comprador de chatarra del Fénix era la empresa denominada Aceros de Chihuahua, S.A. de C.V., la cual fabrica varillas para construcción y bielas para vehículos automotores.

Por otra parte, la camioneta que, como ya se dijo estaba contaminada con gránulos de Cobalto-60,

permaneció, debido a desperfectos mecánicos, junto a la acera oeste de la calle Aldama, aproximadamente a 17 metros de la calle Azucena, durante 40 días. Posteriormente, dicha camioneta fue estacionada frente a la casa de Vicente Sotelo, en la misma calle Aldama, durante diez días más.

De lo dicho hasta ahora se desprende que inicialmente existían dos grandes focos de radiactividad constituidos por la camioneta y el material que se encontraba en el depósito de chatarra. Una vez que en la forma ya descrita los gránulos abandonaron el Yonke Fénix, el material radiactivo pasó por medio de los vehículos a las fundiciones y también, antes de su arribo a éstas, a los caminos por los cuales se efectuó el transporte.

Ha podido establecerse que para el 14 de diciembre de 1983 ya había sido utilizada la chatarra contaminada con el Cobalto-60 por las fábricas de productos de acero, en las fundiciones. Durante el mes de enero de 1984, se exportó a E.U. tanto varilla para construcción como bases metálicas para mesas, fabricadas ambas a partir de material contaminado.

descubrimiento de la contaminación

El 16 de enero de 1984, un camión que circulaba por una carretera del estado de Nuevo México, E.U. y, que transportaba varilla producida por la empresa Achisa, extravió su ruta y al intentar volver a ella transitó por las cercanías del laboratorio de Los Alamos, en un lugar donde se encuentran instalados varios detectores de radiación nuclear. El propósito de dichos detectores es evitar que el material radiactivo que se maneja en el interior del laboratorio sea sacado del mismo en forma inadvertida en los vehículos que abandonan dicho centro.

Al mismo tiempo que los detectores registran la presencia de radiactividad, activan un aparato provisto de una cámara fotográfica mediante la cual se registra también la imagen del vehículo contaminado. Entre los días 17 y 18 del mismo mes de enero, las autoridades de E.U. llegaron a la conclusión de que la varilla contaminada provenía de Achisa y procedieron a notificar a las autoridades mexicanas. La CNSNS fue informada de lo anterior por el Departamento de Salud del estado de Texas, E.U. y, posteriormente la información fue confirmada por la Comisión Reguladora Nuclear (USNRC) de ese país, misma que además señaló que probablemente el material radiactivo de que estaba contaminado el acero era Cobalto-60.

acciones emprendidas

Una vez que se recibió la notificación de las autoridades de E.U., la CNSNS acudió a su personal para que iniciara investigaciones de lo ocurrido en la planta de Achisa de la ciudad de Chihuahua y en diversos sitios de Ciudad Juárez, Chih. Entre los objetivos perseguidos en la investigación inicial a efectuarse en Achisa, se encontraban los siguientes:

1. Obtener la información disponible de parte de los directivos de la empresa y las facilidades necesarias para poder llevar a cabo las averiguaciones.
2. Determinar los niveles de radiactividad en diversos sitios de la fábrica, en particular en el patio de chatarra y los hornos, los lugares donde se acumulaba la escoria, los molinos y los almacenes para el producto terminado.
3. Estimar la fecha en la que por primera vez llegó a Achisa chatarra contaminada e identificar a la negociación proveedora de la misma.
4. Confinar adecuadamente los materiales y productos contaminados, a fin de determinar posteriormente su grado de contaminación. Asimismo, se deberían delimitar de manera clara las áreas donde existía contaminación utilizando letreros y otras señales.
5. Obtener, del Departamento de Control de Calidad de Achisa, las probetas (muestras de los productos elaborados en la planta) para posibilitar la determinación de la fecha a partir de la cual se produjo varilla con material radiactivo.
6. Establecer las medidas de protección radiológica que el caso requiriera, tanto para los trabajadores como para el público.
7. Efectuar las investigaciones que fueran necesarias para tener una idea de la cantidad de radiación (dosis) a la que estuvieron expuestos los trabajadores de Achisa.

Las acciones que se llevarían a cabo en Ciudad Juárez, Chihuahua, serían:

1. Efectuar un reconocimiento de las instalaciones de la empresa Fénix, proveedor de Achisa.
2. Determinar la existencia de contaminación radiactiva en Ciudad Juárez y llevar a cabo las actividades de descontaminación y de protección radiológica para el público que el caso ameritara. —

3. En virtud de que para esa fecha ya existían en la aduana de Ciudad Juárez embarques de varilla, se debe efectuar un reconocimiento radiológico para calcular las dosis recibidas por el personal involucrado en el transporte y para confinar los vehículos que contuvieran material radiactivo.

4. Recabar la información de que dispusieran las autoridades aduanales de El Paso, Texas, E.U.

Las acciones anteriores fueron determinadas después de analizar la información recabada mediante conversaciones telefónicas entre personal de la Gerencia de Seguridad Radiológica de la CNSNS y el de Achisa. Esta información hizo que se considerara la posibilidad de que siendo el depósito de chatarra Fénix el principal proveedor de Achisa, el material contaminado proviniera de las instalaciones del mismo. Por otra parte, se reconoció también que para la determinación de la procedencia del material contaminado podría ser necesario establecer una coordinación adecuada con las autoridades estadounidenses, en virtud de que los depósitos de chatarra localizados en las inmediaciones de Ciudad Juárez también compran desechos en tiraderos de la Unión Americana.

resultado de las acciones iniciales

Como resultado de los trabajos e investigaciones realizadas, se confirmó la existencia de una amplia dispersión de material radiactivo. En particular, se comprobó que las instalaciones de Achisa estaban contaminadas y que lo mismo ocurría en el Yonke Fénix.

Entre las medidas que se tomaron de inmediato estuvo la de ordenar que la fabricación de varilla en la empresa Achisa se suspendiera y que, además, no se distribuyera la varilla ya fabricada sin antes verificar que ésta no estuviese contaminada.

Cabe mencionar que dos días después de que la CNSNS había sido informada del descubrimiento de la contaminación, el personal de dicha Comisión había podido determinar con bastante aproximación la fecha a partir de la cual se extendió la contaminación en el tiradero Fénix, se determinó también que el contaminante de la varilla era Cobalto-60 y, que en una empresa maquiladora denominada Falcón de Juárez existía también contaminación y, que los productos de acero ahí elaborados se encontraban contaminados.

El análisis de los resultados hasta entonces obtenidos permitió a la CNSNS planear acciones posteriores tendientes a reducir al mínimo posible la ex-

posición a la radiación, tanto de los trabajadores de las diferentes empresas contaminadas como del público.

plan para el manejo del accidente

Una vez que las autoridades (CNSNS, SSA, SEDUE, Municipio de Ciudad Juárez, Municipio de Chihuahua, Chih.) estuvieron en posibilidad de evaluar la situación, se formularon diversas medidas cuyos objetivos fundamentales podrían resumirse de la siguiente manera:

- a) Detener inmediatamente la diseminación de la contaminación.
- b) Efectuar la descontaminación de dichos lugares, esto es, remover los materiales que contuvieran Cobalto-60.
- c) Evitar la exposición del público a la radiación y efectuar cálculos de las dosis recibidas por el público en general y por los trabajadores de las empresas en las cuales existía contaminación.
- d) Una vez recolectados los materiales contaminados, confinarlos en un sitio adecuado.

Como consecuencia de lo anterior, se emprendieron entre otras, las siguientes tareas en las instalaciones de la empresa Achisa:

- Se inició la descontaminación de la planta, a fin de reducir el riesgo de exposición, para lo cual se implantó también el control de acceso a las áreas contaminadas.

Esto último significa que únicamente el personal que estuviera involucrado en las maniobras de descontaminación podría entrar a los lugares identificados como áreas contaminadas.

- Asimismo, tomando en cuenta las mediciones efectuadas de la intensidad de los campos de radiación, se efectuaron cálculos de las dosis que probablemente habían recibido los trabajadores y se determinó el tipo de atención médica que dichos trabajadores requerían.

Por lo que respecta a la situación en Ciudad Juárez, se procedió a clausurar el Yonke Fénix y se tomaron medidas para reducir la intensidad del campo de radiación en la vecindad de las instalaciones de dicha empresa y en las oficinas de la misma. Las medidas mencionadas consistieron en establecer blindajes utilizando material metálico no contaminado y en remover las partículas de Cobalto-60

que hubieran sido localizadas tanto en forma aislada como mezcladas con tierra. Por otra parte, el personal de la CNSNS efectuó reconocimientos radiológicos en las casas de los trabajadores de dicho tiradero, con el fin de determinar si existía contaminación en esos lugares.

Debido a que el Fénix efectuaba también transacciones de chatarra con otras negociaciones similares, fue necesario efectuar reconocimientos radiológicos en las instalaciones de dichas empresas.

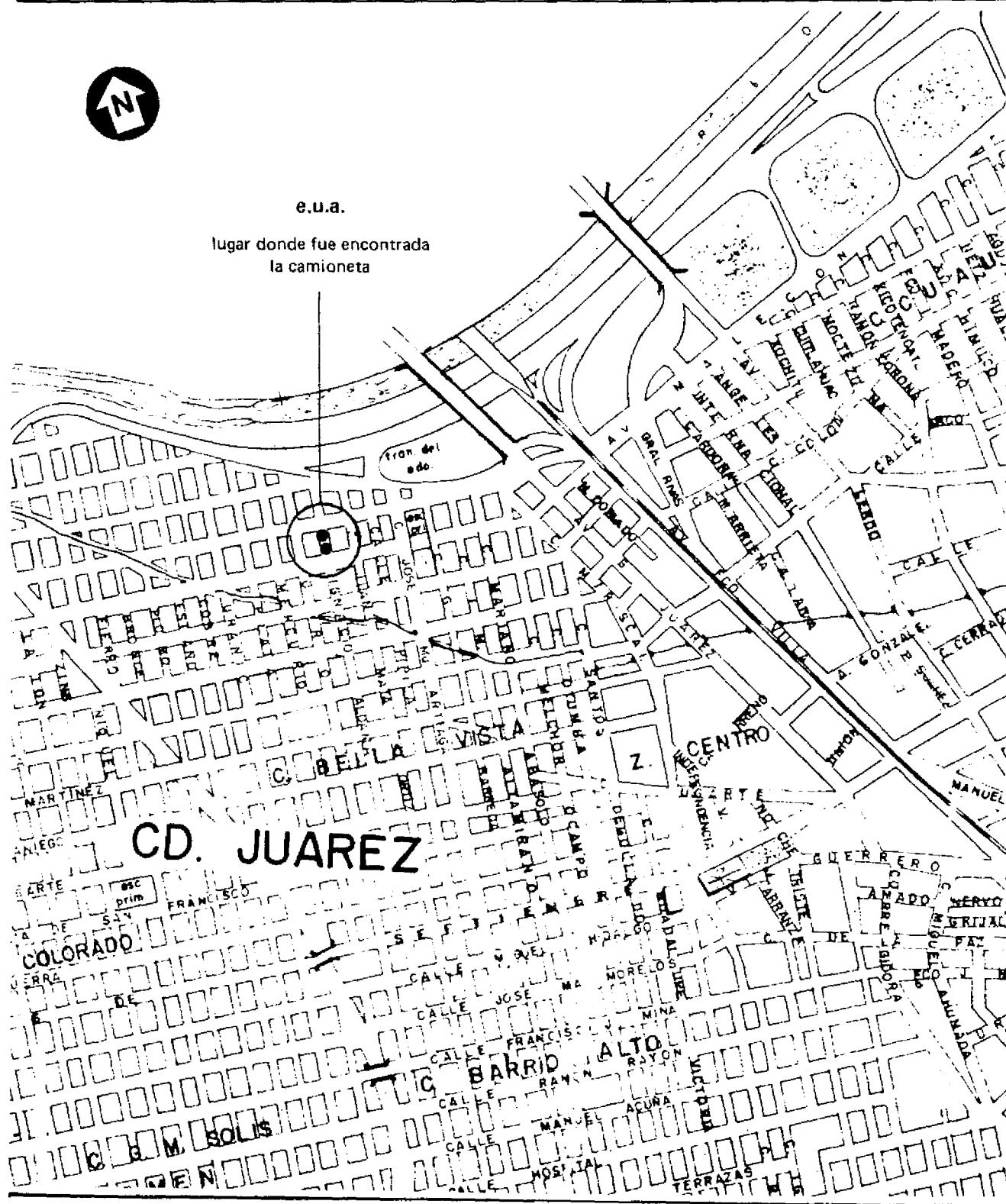
Como se mencionó antes, existía la posibilidad de que los caminos por los cuales transitaban los vehículos que transportaban la chatarra estuvieran contaminados, por lo que se efectuaron reconocimientos a lo largo de las rutas habitualmente seguidas, con la finalidad de recoger el Cobalto-60 que se encontrara. Esta actividad debería cubrir a la brevedad posible la zona de la ciudad con mayores probabilidades de haber quedado contaminada y, con ese objeto, se organizaron brigadas dotadas de vehículos y de la instrumentación necesaria. Reconociendo la necesidad de asegurarse de que no existían más gránulos de Cobalto-60 dispersos en las poblaciones afectadas, se planeó el reconocimiento radiológico de las mismas mediante el empleo de helicópteros provistos con detectores altamente sensibles.

hallazgo de la camioneta

Alrededor de las 21 horas del día 26 de enero de 1984, el personal de la CNSNS detectó la presencia de una fuente de radiación en la parte norte de Ciudad Juárez.

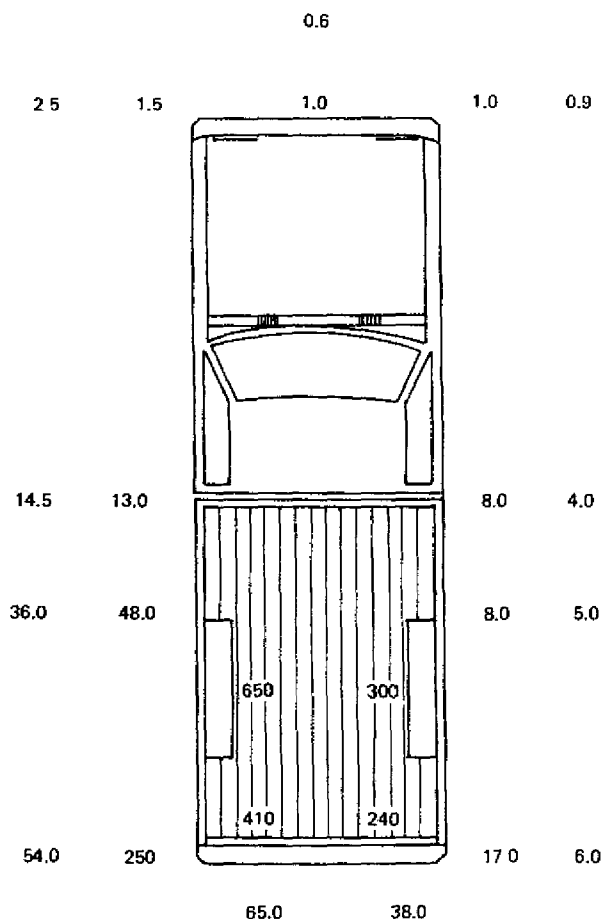
Las indicaciones de los instrumentos del personal mostraron que la radiación provenía de un vehículo tipo camioneta, marca Datsun, placas 891 YUB o 488 LRR, de color blanco y que estaba estacionada frente al No. 1981 de la calle Aldama, entre las calles de Azucena y Gardenia, Col. Altavista, en esa ciudad. (Fig. 1).

En el compartimiento de carga del mencionado vehículo se obtuvieron lecturas de niveles de radiación de hasta 1,000 R/h a 15 cm del fondo del compartimiento. En virtud de que se trataba de una zona densamente poblada, se consideró urgente llevar la camioneta contaminada a un sitio que reuniera las características de no estar poblado ni se encontrase demasiado distante. Esto último, en razón de que la dosis que recibiría el personal que se ocuparía del traslado del vehículo podría alcanzar valores más allá de lo permitido.

figura 1

El parque El Chamizal presentaba las características mencionadas, por lo que se planeó el traslado del vehículo contaminado al lugar, para lo cual se contó con el auxilio de las autoridades municipales, quienes proporcionaron grúas y vehículos con vigilantes.

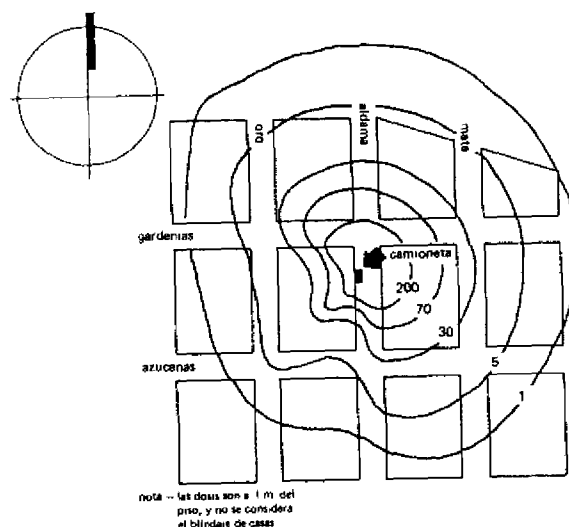
figura 2
niveles de radiación encontrados
en la camioneta a 1m. del piso
(R/h)



De acuerdo con la práctica usual, antes de realizar las maniobras se calcularon las dosis que recibirían las personas involucradas en el transporte y se les dotó asimismo de dosímetro, con el objeto de conocer la cantidad de radiación que recibirían como resultado de la maniobra.

Una grúa remolcó la camioneta hasta el parque El Chamizal, habiendo sido resguardada durante su trayecto por dos vehículos de la policía que precedían a la grúa, en tanto que un vehículo de la CNSNS (con detectores de radiación del tipo

figura 3
curvas de isodosis
(mR/h)



"centelleo") siguió a la grúa con la camioneta, siendo a su vez escoltado por otro vehículo de la policía.

figura 4
cálculo de la integración en el tiempo
de las curvas de isodosis (R)

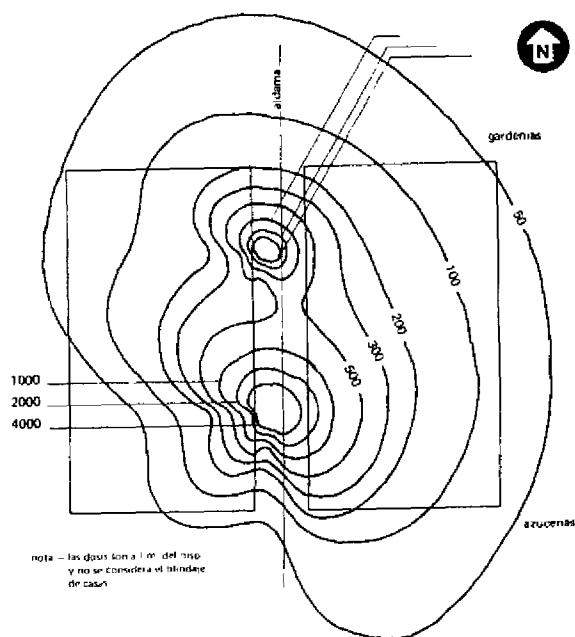
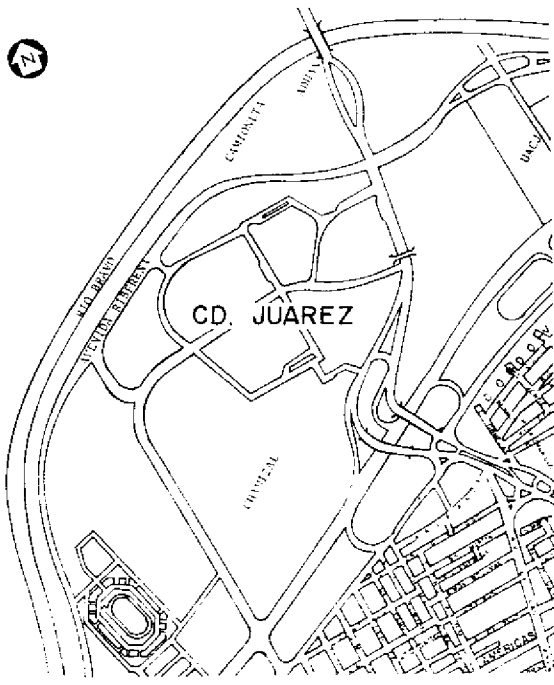


figura 5



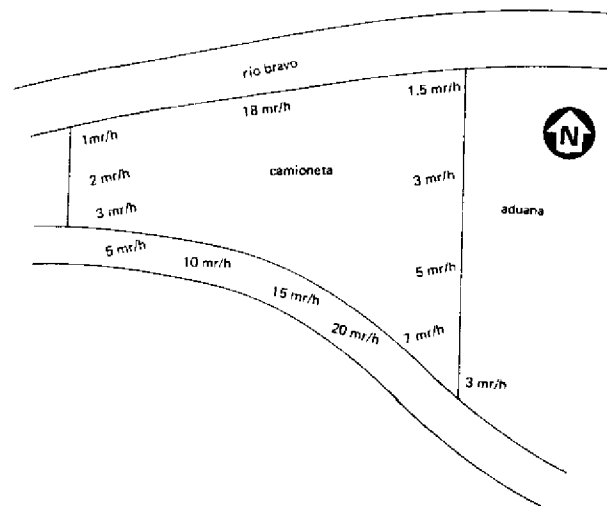
Entre las precauciones que se tomaron, estuvo la de verificar que de la mencionada camioneta no se desprendieran partículas de material radiactivo. El traslado se efectuó sin mayores contratiempos, en aproximadamente diez minutos. El Lugar donde se colocó la camioneta está localizado sobre la avenida Ribereña y se instaló inmediatamente una cerca de alambre para evitar que el público se aproximara a la camioneta. Adicionalmente, se colocaron letreros que indicaban la presencia de radiación y se puso vigilancia policiaca.

Los niveles de radiación en la camioneta y en los alrededores del lugar donde se encontró, así como las dosis calculadas, se muestran en las figuras 3 y 4. En las figuras 5 y 6 se muestran, respectivamente, la localización del lugar a donde fue llevada la camioneta y los niveles de radiación que resultaron de esta acción.

el centro médico de especialidades

Al ser localizada la camioneta, el personal de la CNSNS interrogó a varios vecinos con el fin de averiguar su procedencia. De esta manera se entró en contacto con Vicente Sotelo Alardín, quien informó que era responsable del vehículo y, que es-

figura 6
niveles de radiación en el chamizal
27-I-84



te pertenecía al Centro Médico de Especialidades de Ciudad Juárez, lugar donde esa persona prestaba sus servicios como técnico de mantenimiento.

Con esta información, personal de la CNSNS se dirigió al Centro Médico de Especialidades para realizar un reconocimiento radiológico de las instalaciones de dicho Centro. En esta empresa existe un laboratorio de medicina nuclear, pero no se contaba con ningún aparato de teleterapia que utilizara Cobalto-60. Como resultado del reconocimiento efectuado, se determinó la existencia de contaminación en los talleres de mantenimiento del hospital y en el conmutador telefónico.

Mientras tanto, la CNSNS había obtenido información de las autoridades del estado de Texas relativa a la adquisición de una unidad de teleterapia manufacturada por la compañía Picker, por parte del Centro Médico de Especialidades. Esto originó que se entrevistara a los directivos del Centro Médico de Especialidades y al propio Vicente Sotelo, estableciéndose mediante dicha averiguación los hechos relatados al principio de este informe en relación con la adquisición de la unidad, la remoción de la fuente y la venta posterior del cilindro con la fuente al depósito de chatarra.

Entre los documentos que la CNSNS obtuvo de las autoridades de Estados Unidos se encontraba una copia de la factura de la unidad de teleterapia,

en la cual se asentaba la cantidad de material radiactivo ("actividad", misma que es proporcional a la cantidad de material) que dicha unidad contenía en noviembre de 1977. Este dato implica que para fines de noviembre de 1983, la actividad total de la fuente de la unidad era de aproximadamente 450 Ci.

recapitulación

La situación que se presentaba en los primeros días de febrero de 1984 puede resumirse de la siguiente manera: se tenían localizadas y controladas las que podríamos llamar fuentes primarias de la contaminación. A saber: el Yonke Fénix, la empresa Achisa y la empresa Falcón de Juárez. Asimismo, se había establecido la existencia de transacciones de material contaminado entre las empresas anteriores y otras negociaciones. De estas últimas únicamente en tres de ellas se encontró contaminación, dichas empresas son las siguientes: Fundival, S.A., localizada en Gómez Palacio, Dgo.; Alumetales, S.A. de C.V., localizada en Monterrey, N.L., y Duracero, S.A. de C.V., localizada en San Luis Potosí, S.L.P.

Por otra parte, existía también contaminación tanto en Ciudad Juárez, Chih., como en Chihuahua, Chih., además de la contaminación detectada en la carretera que une a estas dos ciudades. La camioneta en la que se transportó la fuente se encontraba, como ya se dijo, en el parque El Chamizal.

A todo esto, se agregaría la producción contaminada consistente en tres mil bases para mesa y seis mil 600 toneladas de varilla.

Durante los meses siguientes se desarrollaron los trabajos necesarios de descontaminación y de recuperación de los productos fabricados con acero contaminado.

trabajos de descontaminación

La descontaminación del Fénix se inició de hecho desde el 20 de enero de 1984, cuando se recogieron algunos gránulos y se improvisaron blindajes para reducir el nivel de la radiactividad en la vecindad de dicha negociación. Entre el 8 de febrero y el 12 de abril de 1984, se efectuó la localización y confinamiento provisional de material radiactivo que se encontraba en El Fénix en el terreno propiedad de esta empresa, aledaño al Centro de Rehabilitación Social (Cereso), y al cual se llevaron tanto piezas contaminadas como recipientes en los que se había depositado material radiactivo. De esta manera, para el día 12 de abril,

los niveles de radiación en los alrededores del des-huesadero habían sido disminuidos hasta valores que no representaban ningún riesgo para la población

Por lo que respecta a la descontaminación de la empresa Achisa, ésta se llevó a cabo el 25 de enero hasta fines de febrero de 1984, habiendo sido recogidos aproximadamente cien gránulos de Cobalto-60. Las labores de descontaminación se extendieron a todas las áreas de Achisa, tales como el patio de chatarra, el Departamento de Aceración, los molinos, el área de forja, el almacén de productos terminados, otros patios y el sistema de control ambiental. Fue posible reducir los niveles de radiación hasta valores que se considera no representan un riesgo apreciable para la población y los materiales contaminados se almacenaron en el patio adjunto al área de forja y en el parque deportivo propiedad de la empresa. En ambos sitios fueron instalados letreros que indicaban la presencia de radiactividad, quedando además establecidos como zonas de acceso controlado, a fin de que la permanencia del personal involucrado en el manejo de material radiactivo fuera reducida al tiempo mínimo necesario.

En la empresa Falcón de Juárez la descontaminación se llevó a cabo entre el 23 y el 26 de enero, fecha en la cual se redujeron los niveles a valores considerados aceptables. De la misma manera se efectuaron labores de descontaminación en Fundival, S.A., Alumetales, S.A. de C.V., y Duracero, S.A. de C.V. En Fundival la descontaminación se efectuó el 23 de enero, dando por resultado la recuperación de dos gránulos; en la empresa Alumetales había un vehículo (*trailer*) cargado con chatarra de aluminio contaminado, la empresa Duracero que recibía *billet* de Achisa para producir varilla, tenía áreas contaminadas e informó haber producido alrededor de 400 toneladas de varilla. La descontaminación de esta empresa se efectuó el 23 de febrero. Estas tres negociaciones fueron las únicas que se encontraron contaminadas de un número total de siete establecimientos que fueron examinados en virtud de haber recibido chatarra o productos fabricados, ya sea del depósito de chatarra Fénix o de Achisa

Simultáneamente, se iniciaron los trabajos para la localización de varilla contaminada en 17 estados de la república a los que en forma directa o por medio de intermediarios se les había surtido con varilla contaminada.

En la ciudad de Chihuahua se efectuaron reconocimientos mediante vehículos terrestres sin haberse localizado ningún gránulo. Este mismo tipo de

reconocimientos en Ciudad Juárez, permitió recoger gránulos de Cobalto-60. Ambas ciudades fueron posteriormente cubiertas mediante reconocimientos aéreos realizados en colaboración con el Departamento de Energía de Estados Unidos, el 18, 19 y 20 de marzo (Ciudad Juárez) y el 22 y 23 de marzo (Chihuahua, Chih.), habiéndose examinado una área de 470 km² y, de esta manera, se logró la recuperación de 27 gránulos, de los cuales 17 se encontraron en Ciudad Juárez, uno en la ciudad de Chihuahua y nueve en la carretera Ciudad Juárez-Chihuahua. El mismo reconocimiento aéreo en la ciudad de Chihuahua indicó inicialmente la existencia de 16 áreas con niveles de radiación superiores a los normales. El posterior reconocimiento terrestre se tradujo, como ya se dijo, en la recuperación de un gránulo y en la determinación de 15 sitios en los cuales existía varilla contaminada.

protección al público

Con el objeto de evitar que el público continuara recibiendo dosis de radiación, entre las primeras acciones que se llevaron a cabo, estuvo la de reducir rápidamente los niveles de radiactividad existentes alrededor tanto del Fénix como de Achisa.

En las casas que se encontraban alrededor del deshesadero se efectuaron mediciones de radiactividad con el fin de determinar las dosis recibidas por los habitantes de dichas casas, procediéndose inmediatamente a interponer objetos masivos para reducir los efectos de la radiación directa; posteriormente, se trasladó a las cercanías del Cereso la mayor parte del material radiactivo contaminante. De la misma forma, la distribución del material radiactivo depositado en el parque deportivo de la empresa Achisa se llevó a cabo en forma tal que las construcciones en la vecindad de dicho sitio no estuvieran expuestas a niveles de radiación por arriba del valor normal.

Se mencionó ya la recuperación del material radiactivo en las ciudades de Juárez y Chihuahua, así como en la carretera que las une. Por lo que respecta a la varilla contaminada, fue posible la recuperación de 2360 toneladas que aún no habían sido empleadas para construcción. Se efectuaron reconocimientos en casi 17 mil 600 construcciones en las que se presumía había sido empleada la varilla contaminada; de estas construcciones, se ha decidido la demolición de 814.

Para el depósito definitivo del material radiactivo recuperado se cuenta actualmente con un sitio localizado en el mismo estado de Chihuahua, en el lugar denominado La Piedrera, en el cual existen

hasta la fecha 16,000 m³ de tierra contaminada, donde se han construido fosas especiales. Con esto se termina la fase de descontaminación y traslado de desechos.

efectos sobre la salud

Se estima que, como resultado del accidente, aproximadamente cuatro mil personas han resultado expuestas a la radiación, de éstas, casi 80 por ciento recibieron dosis inferiores a los 500 mrem; 18 por ciento recibió dosis entre 0.5 y 25 rems y, que dos por ciento restante, o sea alrededor de 80 personas, recibieron dosis superiores a los 25 rems. De este último grupo se considera que cinco personas recibieron dosis que varían desde 300 a 700 rems en un periodo de dos meses.

Como resultado de la permanencia de la camioneta en la calle de Aldama de Ciudad Juárez, se debió considerar la posibilidad de que algunos de los vecinos de dicha calle hubieran recibido dosis considerables, por lo que se les envió a unidades hospitalarias del IMSS y de la SSA, a fin de que se les practicaran los exámenes médicos correspondientes. De esta manera se determinó que tres personas habían recibido dosis que excedieron de cien rems.

almacenamiento definitivo

La tecnología para el almacenamiento de desechos radiactivos como los generados por el accidente, se encuentra totalmente al alcance de las posibilidades de nuestro país. Existen criterios perfectamente definidos para la ubicación de "cementorios", entre los cuales podemos citar los siguientes:

- a) El sitio donde se encuentre el "cementorio" debe estar localizado en una zona geológica estable.
- b) No debe estar sujeto a procesos fuertes de erosión por agentes naturales como el agua, viento, efectos atribuibles a seres vivos, etcétera.
- c) El manto freático debe estar preferentemente a gran profundidad.
- d) La precipitación pluvial debe ser baja.
- e) La posibilidad de uso futuro como zona industrial o habitacional debe ser baja.
- f) El uso de la tierra (agricultura, ganadería) debe ser escaso.
- g) Deben existir medios adecuados de acceso.
- h) Su valor comercial debe ser bajo.

En caso de no poseer todas estas características, es necesario considerar soluciones de ingeniería para garantizar el confinamiento de los desechos en el "cementerio".

Los almacenes definitivos de desechos radiactivos deben ser provistos de medios de control, con el fin de evitar la entrada inadvertida a los mismos, proporcionar mantenimiento a las instalaciones y desarrollar un programa de vigilancia del ambiente para detectar cualquier cambio en los niveles de radiación en los alrededores del "cementerio".

En febrero de 1984 se localizó un sitio en el desierto de Samalayuca, cercano a la estación denominada Desierto, del ferrocarril Chihuahua-Ciudad Juárez. Este sitio podría recibir aproximadamente diez mil toneladas de desechos en forma de varilla, bases metálicas, chatarra, escoria, tierra contaminada y otros objetos de mayor masa. Los estudios geohidrológicos efectuados durante mayo y junio de 1984, así como los estudios meteorológicos y climatológicos de la zona indicaron la idoneidad del sitio, habiéndose iniciado las obras de construcción del "cementerio" durante junio, julio y agosto.

Debido a la manifestación de opiniones en contra, por parte de grupos que consideraban que el sitio era adecuado para establecer un centro de desarrollo industrial en sus cercanías, este sitio fue cancelado en septiembre de 1984, sin haber llegado a recibirse ningún material radiactivo. Posteriormente, el gobierno del estado propuso otros sitios, de entre los cuales se seleccionó el conocido como El Malquerido, situado en las cercanías del ejido de Villa Luz. Durante la etapa de acondicionamiento de dicho sitio, se transportaron al mismo casi 240 barriles conteniendo material radiactivo y se llevaron 11 vehículos cargados con varilla contaminada. Sin embargo, la oposición de los ejidatarios obligó a que en octubre se cancelara también este sitio, retirándose el material que allí se encontraba.

A principios de noviembre se seleccionó el que había de ser el sitio definitivo, localizado en las colindancias del ejido El Vergel, habiéndose previamente asegurado el consentimiento de los ejidatarios. Hasta este sitio, denominado La Piedrera, se transportó el material que se presenta en la tabla I-1 en donde se muestra la cantidad dispuesta en toneladas y su origen, así como los tambos con gránulos y material contaminado.

Al considerar la lejanía de este sitio de otros lugares de la república donde se ha recuperado mate-

rial radiactivo originado por el mismo accidente, se ha optado por utilizar tanto el "cementerio" ubicado en Maquixco, Edo. de México, como otro sitio cercano a la ciudad de Mexicali, B.C. En el primero de ellos se han almacenado 70 toneladas de varilla, en tanto que en el otro han sido depositadas 115 toneladas de varilla.

Tanto el sitio de La Piedrera como los otros dos sitios utilizados son considerados adecuados desde el punto de vista de sus características básicas y de diseño. Sin embargo, en el caso de La Piedrera, la CNSNS realiza estudios más detallados que confirmen la idoneidad que indican los estudios preliminares.

balance de material contaminado

La fecha exacta del inicio de la contaminación en la planta de Aceros de Chihuahua, S.A. de C.V., no se conoce con exactitud. En base a la documentación encontrada en el Yonke Fénix, se considera que en el caso más desfavorable, la contaminación se inició el día 6 de diciembre de 1983, sin embargo, puede asumirse de manera conservadora que la producción de varilla contaminada abarcó un periodo de 44 días. En ese periodo se produjeron un total de seis mil 160 toneladas de varilla y tres mil 470 toneladas de material en proceso (*billet*, redondo, liso, etc.).

La varilla producida en este periodo se distribuyó a 16 estados de la República y a los Estados Unidos de América. Adicionalmente, fueron vendidas a Duracero, S.A. de C.V. en San Luis Potosí un total de 560 toneladas de *billet*, con lo cual se produjeron 448 toneladas de varilla que hacen un total de seis mil 608 toneladas de varilla.

El depósito de chatarra El Fénix no es el único proveedor de ACHISA, ya que vendía menos del 20 por ciento de las necesidades de la fundidora. Por lo que no toda la producción de ACHISA presentaba contaminación.

De muestreos estadísticos realizados en la producción existente en los almacenes de ACHISA, en la varilla encontrada en poder de los distribuidores y de la regresada de EUA, así como de las construcciones visitadas, se encontró que en promedio 57.8 por ciento de la varilla presentaba contaminación.

Debido al mecanismo de dispersión de los gránulos de Cobalto, se encontró que la varilla fabricada inicialmente presentaba un porcentaje mayor de contaminación y una concentración mayor.

tabla 1-1

material contaminado que se dispuso en "la piedra" (en tons.)

	achisa	falcón	duracero	yonke fénix **	río sacramento	arroyo el jarudo	total
varilla	2918	na	12	na	na	na	2930
material en proceso	1738	na	na	na	na	na	1738
bases metálicas	na	200	na	na	na	na	200
chatarra	525	na	na	1425	na	na	1950
tambos c/gránulos y material contaminado ***	11	52	na	797	na	na	860
tierra, escoria y plasta contaminada	19 772	na	59	1800	6850	700	29181

na no aplicable

** incluye los gránulos recuperados en las calles de cd. Juárez y Chihuahua.

*** en unidades.

En la Tabla 1-2 se presenta un balance de los productos elaborados por ACHISA y Duracero, S.A. Puede observarse que 81 por ciento de la varilla contaminada ha sido enviada a sitios de confinamiento, sin embargo, es necesario aclarar que se dejaron 462 construcciones en México por presen-

tar niveles de radiación aceptables (ver tabla 1-3 y referencia 2). Se estima que las construcciones en México totalizan 431 toneladas de varilla y las de EUA 28 toneladas, sumando 459 toneladas por lo que la varilla que aún falta por recuperar es:

tabla 1-2

volumen estimado de producción, cantidad contaminada y dispuesta en sitios de confinamiento

	a c h i s a			d u r a c e r o			s u b - t o t a l			
	varilla	material en proceso	total	varilla	laminados	total	varilla	material en proceso	laminados	total
produccion total estimada.	6160	3470*	9630	448	189	637	6608	3470*	189	10 267
cantidad contaminada	3615	2080*	5695	206	87	293	3821	2080**	87	5 988
dispuesto en sitios de confinamiento.	3103	1738	4841	12	0	12	3115	1738	0	4 853

* incluye 560 toneladas que se vendieron a duracero.

** incluye 342 toneladas que se vendieron a duracero.

La cantidad anterior es la que se estima, esta aún fuera de control, por lo que se ha establecido un programa a largo plazo de búsqueda de varilla contaminada por parte de SSA y CNSNS. Además de la varilla que se produjo en Duracero con materia prima procedente de ACHISA, se fabricaron 169 toneladas de laminados, resultando aproximadamente 87 toneladas contaminadas, este material se utilizó en camiones de transporte de carga, en donde se encontró que los niveles de radiación no representan riesgo para los operarios y público.

varilla contaminada	3 821 tons.
" confinada	- 3 115 "
" dejada en construcciones	- 459 "
	247 tons.

En la Tabla 1-3 se presentan los resultados de la búsqueda de varilla en construcciones agrupando

esta información por zonas, se visitaron un total de 17 mil 636 construcciones susceptibles de tener varilla contaminada. Se encontraron mil 276 edificaciones con niveles de radiaciones superiores al fondo natural, de las cuales 814 superaban el nivel de radiación aceptable, por lo que fue necesario su demolición parcial o total. La varilla recuperada fue enviada a los sitios de confinamiento. En esta tabla se observa que en las dos primeras zonas el porcentaje de contaminación superior a los límites aceptables es mayor, esto es debido a que la varilla producida inicialmente se distribuyó en estos estados, especialmente en el noroeste del país.

En la Tabla 6 se presenta la distribución del Cobalto-60 en los materiales que se contaminaron en el curso del accidente, los cuales se encuentran ya en sitios de disposición final. Puede afirmarse que casi la totalidad de la actividad de la unidad de teleterapia ha sido recuperada.

tabla 1-3
relación de construcciones visitadas por zonas

	construcciones visitadas	construcciones sin contaminación	construcciones con contaminación c/riesgo s/riesgo	% de construc- ciones c/riesgo sobre el total visitado	%de construc- ciones s/riesgo sobre el total con contamina- ción.
chihuahua, sonora, baja california y sinaloa.	13 975	12 994	673 308	4.82	31.4
san luis potosí, zacatecas, guajuato, morelos e hidalgó.	2 900	2 632	137 131	4.72	48.88
nuevo león, coahuila, querétaro, tamaulipas, durango, baja california sur y aguascalientes.	760	733	4 23	0.52	84.18
total	17 635	16 359	814 462	4.61	36.21

conclusiones

La experiencia derivada del accidente indica la urgente necesidad de implantar un control más estricto del material radiactivo que ingresa al país.

Actualmente la CNSNS otorga permisos de importación, previa evaluación de las condiciones de seguridad, a los usuarios de material radiactivo que

los solicitan. Dicho permiso es indispensable para realizar la importación de material radiactivo. A la luz del accidente se considera necesario que las aduanas cuenten con detectores de radiación a fin de poder advertir la presencia de material radiactivo y evitar la adquisición ilegal. Asimismo, es aconsejable concertar convenios de "alerta oportuna" mediante los cuales las autoridades de México y de los países exportadores de materiales radiactivos intercambien información acerca de las transacciones de tipo internacional que se realicen. Adicionalmente la CNSNS deberá incrementar sus trabajos de inspección a los permisionarios, a fin de verificar oportunamente que el material radiactivo ha sido empleado y manejado de acuerdo con las condiciones estipuladas en la licencia respectiva.

El 4 de febrero de 1985 se publicó la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear, la cual amplía las atribuciones de la CNSNS, incrementando sus facultades legales. Esto permitirá un control más estricto de las fuentes de radiación ionizante que se usan en el país.

No se han encontrado más casos de personas con síntomas de haber estado expuestas a radiación ionizante en adición a los presentados en el informe médico.

Las personas expuestas por vivir en casas construidas con varilla contaminada tienen una probabilidad ligeramente mayor que la población en general de desarrollar neoplasias malignas y defectos genéticos en células reproductoras, sin embargo, la frecuencia esperada de estos efectos es prácticamente despreciable (menor al 1.0 por ciento) e indetectable en estudios epidemiológicos. Las personas que transportaron, construyeron o manipularon la varilla contaminada tienen un riesgo todavía menor que las personas que han habitado casas construidas con dicha varilla.

Finalmente, debe reiterarse que el sentido de responsabilidad, la preparación adecuada, el claro entendimiento de las consecuencias que el descuido puede acarrear y el reconocimiento por parte del personal que usa o maneja materiales radiactivos, de que los aspectos de la seguridad son primordiales, constituyen la mejor manera de prevenir accidentes en el empleo de la radiación ionizante.