



COMISIÓN CHILENA DE ENERGÍA NUCLEAR

CRITERIOS BÁSICOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

NORMA DE SEGURIDAD
NS-02.0



INTRODUCCIÓN

El presente documento es parte del conjunto de Documentos Normativos de Seguridad que prepara la División Seguridad Nuclear y Radiológica de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (CCHEN), en relación con las instalaciones nucleares y con las instalaciones radiactivas de competencia de la CCHEN.

En general, este conjunto se basa en la documentación de carácter normativo sobre seguridad de instalaciones nucleares e instalaciones radiactivas emitida por instituciones internacionales especializadas en la materia, tales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y, complementariamente, en el análisis comparativo de normas emitidas por otros países.

LISTA DE REVISIONES

Versión inicial	NS-02.0	Mayo de 2018
-----------------	---------	--------------

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	I
LISTA DE REVISIONES	I
TABLA DE CONTENIDO	II
OBJETO Y ALCANCE	III
DEFINICIONES	III
1 CRITERIOS DE PROTECCIÓN	1
1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS	1
1.2 LÍMITES PRIMARIOS	1
1.3 LÍMITES SECUNDARIOS Y DERIVADOS	1
1.4 LÍMITES AUTORIZADOS	1
1.5 NIVELES DE REFERENCIA	1
1.6 EVALUACIÓN DE DOSIS	2
1.7 CRITERIOS DE APLICACIÓN	2
2 CRITERIOS DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO	3
2.1 CRITERIOS GENERALES	3
2.2 CRITERIOS APLICABLES A SISTEMAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA	4
3 ANÁLISIS DE ACCIDENTES	4
3.1 EVENTOS INICIADORES	4
3.2 BASES DE DISEÑO	4
4 ZONAS DE RESTRICCIÓN	4
4.1 ZONAS CONTROLADAS	4
4.2 ZONAS PROHIBIDAS	4
5 CÁLCULO DE DOSIS	5
5.1 VÍAS DE TRANSFERENCIA	5
5.2 CÓDIGOS DE CÁLCULO DE DOSIS	5
6 CÁLCULO DE BLINDAJES	5
6.1 FACTORES DE CÁLCULO	5
6.2 DISPOSICIONES PARA EL CÁLCULO	6
6.3 CÓDIGOS DE CÁLCULO DE BLINDAJE	6

OBJETO Y ALCANCE

El objetivo del presente documento es establecer el marco general de los requerimientos de Protección Radiológica que se aplicará a las instalaciones nucleares o radiactivas, incluyendo equipos, fuentes y personal de operación, durante la evaluación que deba efectuarse en el desarrollo de los procesos de licenciamiento y fiscalización.

Por constituir estos criterios los requerimientos mínimos a que se atenderá la Comisión en la evaluación de las instalaciones, los explotadores deberán demostrar su cumplimiento en los antecedentes que presenten con fines de licenciamiento.

DEFINICIONES

En general, las expresiones y términos asociados a la Protección Radiológica, que aparecen en el texto del presente documento, corresponden a las definiciones que se establecen en el Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA[1].

Otros términos específicos de esta Norma se definen a continuación.

ALARA (As Low As Reasonably Achievable): Criterio que implica reducir las dosis a un valor tan bajo como sea razonablemente alcanzable.

ALI (Annual Limit of Intake): Actividad de un radionucleido, incorporada por inhalación o por ingestión, que conduce al límite de dosis efectiva.

Comisión: Comisión Chilena de Energía Nuclear.

DAC (Derived Air Concentration): Concentración de un radionucleido en aire que conduce al ALI por inhalación.

HVL (Half Value Layer): Espesor hemireductor de un material blindante

mSv (milisievert): Milésimo de sievert, unidad de dosis de radiación

T (Time Factor): Factor de ocupación referido a una fuente de radiación

U (Use Factor): Factor de uso referido a una fuente de radiación

W (Workload Factor): Factor de carga de trabajo referido a una fuente de radiación

[1] ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA, Glosario de Seguridad Tecnológica del OIEA, STI/PUB/1290, OIEA, Viena (2007)

1 CRITERIOS DE PROTECCIÓN

El diseño y la operación de instalaciones nucleares o radiactivas deberán ceñirse a los criterios básicos de limitación, control y evaluación de dosis señalados en esta Norma. Los límites primarios y las condiciones para fijar límites secundarios, derivados y autorizados, así como los niveles de referencia, se establecen a continuación.

1.1 PRINCIPIOS BÁSICOS

- 1.1.1 En todas las prácticas que impliquen riesgo radiológico se deberá aplicar los principios siguientes.
- Justificación: Toda práctica deberá producir un beneficio neto, teniendo en cuenta el detrimento radiológico resultante de su aplicación.
 - Optimización: Las dosis resultantes de las prácticas deberán reducirse al valor más bajo que razonablemente pueda alcanzarse, teniendo en cuenta los factores económico y social.
 - Limitación de la dosis: Las dosis individuales, exceptuadas aquellas generadas por exposiciones médicas justificadas, deberán ser inferiores a los límites correspondientes.

1.2 LÍMITES PRIMARIOS

- 1.2.1 Los límites para la exposición ocupacional de trabajadores expuestos son los siguientes.
- Dosis efectiva: 20 mSv anuales promediados en 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años) y 50 mSv en un año cualquiera
 - Dosis equivalente en el cristalino: 20 mSv anuales promediados en 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años) y 50 mSv en un año cualquiera
 - Dosis equivalente en las extremidades o en la piel: 500 mSv en un año
- 1.2.2 Los límites para un individuo del público representativo del grupo crítico de la población son los siguientes.
- Dosis efectiva: 1 mSv en un año
 - Dosis equivalente en el cristalino: 15 mSv en un año
 - Dosis equivalente en la piel: 50 mSv en un año
- 1.2.3 En el caso de estudiantes de educación superior y de personal en entrenamiento, cuya formación implique exposición a la radiación, deberá aplicarse los siguientes límites.
- Dosis efectiva: 6 mSv en un año
 - Dosis equivalente en el cristalino: 20 mSv en un año
 - Dosis equivalente en las extremidades o en la piel: 150 mSv en un año

1.3 LÍMITES SECUNDARIOS Y DERIVADOS

- 1.3.1 Los Límites Anuales de Incorporación (ALI) deberán calcularse a partir de los límites primarios, mediante un modelo matemático homologado por la Comisión.
- 1.3.2 Los valores de Concentración Derivada en Aire (DAC) deberán calcularse a partir de los límites primarios, mediante un modelo matemático homologado por la Comisión.

1.4 LÍMITES AUTORIZADOS

- 1.4.1 La Comisión fijará límites autorizados, para cada instalación en particular, una vez que ésta haya demostrado el cumplimiento del sistema de limitación de dosis.

1.5 NIVELES DE REFERENCIA

- 1.5.1 Deberá fijarse niveles de referencia tales que cumplan las condiciones siguientes.
- Nivel de Registro: No deberá superar el 10 % del límite autorizado.

- b) Nivel de Investigación: No deberá superar el promedio del nivel de intervención y el nivel normal de operación.
- c) Nivel de Intervención: No deberá superar el 100 % del límite autorizado.

1.6 EVALUACIÓN DE DOSIS

- 1.6.1 La dosis efectiva anual se evaluará de acuerdo a la expresión siguiente:

$$E = H_p(d) + \sum_j e(g)_{j,inh} I_{j,inh} + \sum_j e(g)_{j,ing} I_{j,ing}$$

Dónde:

$H_p(d)$: Dosis equivalente personal causada por la exposición a radiación penetrante durante el año

$e(g)_{j,inh}$: Dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación por inhalación del radionucleido j por el grupo de edad g

$e(g)_{j,ing}$: Dosis efectiva comprometida por unidad de incorporación por ingestión del radionucleido j por el grupo de edad g

$I_{j,inh}$: Incorporación por inhalación del radionucleido j durante el año

$I_{j,ing}$: Incorporación por ingestión del radionucleido j durante el año

En situaciones normales de operación, el término correspondiente a la ingestión podrá ser despreciado, considerando que tiende a cero.

- 1.6.2 El cumplimiento de los límites anuales de dosis se demostrará por comparación de la dosis evaluada con el límite correspondiente, satisfaciendo la condición siguiente:

$$\frac{H_p(d)}{E_{lim}} + \sum_j \frac{I_{j,inh}}{ALI_{j,inh}} + \sum_j \frac{I_{j,ing}}{ALI_{j,ing}} \leq 1$$

Dónde:

E_{lim} : Límite de dosis efectiva

$ALI_{j,inh}$: Límite anual de incorporación por inhalación del radionucleido j

$ALI_{j,ing}$: Límite anual de incorporación por ingestión del radionucleido j

1.7 CRITERIOS DE APLICACIÓN

- 1.7.1 La protección radiológica deberá ser obtenida prioritariamente en base a la aplicación de seguridad en el diseño de las instalaciones, asignando un valor secundario a la seguridad por métodos de operación.
- 1.7.2 La seguridad por diseño considerará la utilización de elementos físicos de control, tales como distancia, blindaje, confinamiento o ventilación, según corresponda.
- 1.7.3 La seguridad por operación considerará la aplicación de medidas administrativas de control, tales como control de accesos, uso obligatorio de elementos de protección personal o control de tiempos de exposición.
- 1.7.4 Deberá establecerse programas de vigilancia radiológica operacional, de vigilancia médica y de control dosimétrico, según corresponda, con el objeto de garantizar la seguridad radiológica.
- 1.7.5 Podrá fijarse límites operacionales en las instalaciones, tales como tasa de dosis y concentración de radionúclidos en aire, siempre que no superen los límites autorizados. Estos límites operacionales deberán especificarse en las condiciones y exigencias de las autorizaciones o en el Manual de Protección Radiológica de la instalación.
- 1.7.6 El diseño de una instalación deberá ser tal que su contribución al impacto radiológico ambiental no exceda 1/100 de los límites primarios para trabajadores expuestos.
- 1.7.7 En operación, la tasa de dosis no deberá superar 7,5 $\mu\text{Sv/h}$ en la frontera de las zonas controladas. Asimismo, la concentración de radionúclidos en aire no deberá superar 1/10 de la DAC en la

descarga de gases, excepto que se cuente con antecedentes que lo justifiquen. Deberán establecerse programas de monitoreo periódico para registrar tales parámetros.

2 CRITERIOS DE SEGURIDAD EN EL DISEÑO

Los criterios de diseño que se listan a continuación constituyen los requerimientos mínimos que habrán de satisfacer los proyectos de instalaciones, a fin de optar a una Autorización de Construcción.

Se especifica los criterios generales de seguridad, aplicables a todos los sistemas, estructuras y componentes relacionados con la seguridad, así como los criterios específicos aplicables a sistemas de protección radiológica.

2.1 CRITERIOS GENERALES

- 2.1.1 Las estructuras, sistemas y componentes relacionados con la seguridad deberán ser diseñados, fabricados, construidos, montados y probados según normas acordes con la importancia de las funciones de seguridad que tengan asignadas, de modo que puedan soportar, sin perder la capacidad de realizar dicha función, los efectos de fenómenos naturales adversos extremos, fenómenos adversos inducidos por el hombre y ciertos errores de operación.
- 2.1.2 Los sistemas de seguridad deberán ser diseñados con una alta fiabilidad operacional, determinada por la aplicación sistemática del criterio de fallo único u otro equivalente aceptado por la Comisión.
- 2.1.3 Los sistemas de seguridad deberán ser diseñados de modo que se asegure que los efectos de los fenómenos naturales y de la operación normal, mantenimiento, pruebas y condiciones postuladas de accidente en canales redundantes no ocasionarán la pérdida de una función de seguridad.
- 2.1.4 Los sistemas de seguridad deberán estar físicamente separados de los sistemas de control, en una extensión tal que el fallo de cualquier componente de un sistema de control, o el fallo o la salida de servicio de cualquier componente común a los sistemas de control y seguridad, deje intacto un sistema que satisfaga todos los requerimientos de fiabilidad, redundancia e independencia de los sistemas de seguridad.
- 2.1.5 La interconexión de los sistemas de control y de seguridad deberá estar limitada de modo de asegurar que la seguridad no sea significativamente afectada.
- 2.1.6 Los sistemas de seguridad deberán ser diseñados con un grado de redundancia acorde con las funciones de seguridad a ser desarrolladas. El diseño redundante e independiente de los sistemas de seguridad deberá ser suficiente para asegurar que ningún fallo único provocará la pérdida de una función de seguridad, y que la salida de servicio de cualquier elemento no provocará la pérdida de los requisitos mínimos de redundancia, a menos que se pueda demostrar, de alguna otra manera, que la fiabilidad de los sistemas de seguridad permanecerá en un nivel aceptable.
- 2.1.7 La redundancia deberá ser tal que permita la realización de pruebas periódicas de canales independientes sin que ello ocasione una pérdida inadmisible del grado de redundancia.
- 2.1.8 Los sistemas de seguridad deberán ser diseñados de modo que, en situaciones tales como la desconexión del sistema, la pérdida de energía o condiciones ambientales adversas, fallen a posición segura o a algún estado cuya aceptabilidad pueda ser demostrada.
- 2.1.9 Los elementos relacionados con la seguridad deberán ser diseñados e instalados de modo que sea posible mantenerlos, repararlos, inspeccionarlos y probarlos durante toda la vida útil de la instalación. Si el elemento no puede ser diseñado para ser mantenido, reparado, inspeccionado y probado según sea necesario, deberá ser diseñado con las consideraciones de seguridad adecuadas para compensar cualquier fallo no anunciado.
- 2.1.10 Las estructuras, sistemas y componentes relacionados con la seguridad deberán ser diseñados y situados, sin afectar su capacidad para ejecutar sus funciones de seguridad, de modo de minimizar la probabilidad de efectos de incendios y explosiones. Donde sea posible, se deberá usar materiales incombustibles y resistentes al calor, especialmente en lugares como el edificio de contención y la sala de control.
- 2.1.11 Se dispondrá de una interfaz adecuada en el caso de existir sistemas interconectados que hayan sido clasificados en distintas clases de seguridad.

Esta interfaz deberá garantizar que el fallo del sistema de la clase de seguridad más baja o de uno de sus componentes, no impedirá al sistema, clasificado en la clase de seguridad superior, realizar las funciones de seguridad que tenga asignadas.

2.2 CRITERIOS APLICABLES A SISTEMAS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

- 2.2.1 La instrumentación de medida deberá medir las variables, y vigilar el comportamiento de los sistemas, sobre el rango de funcionamiento esperado en condiciones de operación normal, incidentes operacionales previstos y condiciones de accidente. Se deberá proveer los elementos de control necesarios para mantener estas variables dentro del rango de operación normal especificado.
- 2.2.2 La instalación deberá estar provista de medios para retener y tratar apropiadamente los efluentes radiactivos gaseosos, aerotransportados o líquidos que vayan a ser descargados al medio ambiente, y para tratar los desechos radiactivos sólidos, producidos durante la operación normal y los incidentes operacionales previstos.
- 2.2.3 Deberá proveerse los medios para monitorear la atmósfera del edificio de contención, las vías de descarga de efluentes y el entorno de la instalación, a fin de detectar materiales radiactivos que puedan ser liberados como consecuencia de la operación normal, los incidentes operacionales previstos o los accidentes postulados.
- 2.2.4 La instalación deberá estar provista de medios para controlar y reducir la concentración de sustancias riesgosas liberadas en la atmósfera de la contención durante accidentes postulados.

3 ANÁLISIS DE ACCIDENTES

3.1 EVENTOS INICIADORES

- 3.1.1 El análisis de accidentes de proyectos de instalaciones radiactivas deberá considerar, según el caso, los eventos iniciadores representativos de los tipos siguientes:
 - a) Liberación de material radiactivo
 - b) Exposición indebida a las radiaciones

3.2 BASES DE DISEÑO

- 3.2.1 Las bases de diseño de los sistemas relacionados con la seguridad deberán ser extraídas del análisis de accidentes.

4 ZONAS DE RESTRICCIÓN

Se deberá establecer áreas restringidas, alrededor de las fuentes de radiación, con el propósito de proteger a los individuos contra la exposición a las radiaciones o a la contaminación con materiales radiactivos.

4.1 ZONAS CONTROLADAS

- 4.1.1 Las áreas de trabajo, donde se espere dosis efectivas anuales para los trabajadores expuestos superiores al límite para el público, deberán ser definidas como zonas controladas. Tales zonas deberán estar delimitadas por fronteras físicas, de manera de evitar la dispersión de materiales radiactivos o la emisión de radiaciones ionizantes que excedan los límites de dosis para el público, y permitir el control del tránsito de personas.
- 4.1.2 El tránsito del personal, equipos y materiales deberá ser controlado, con el fin de evitar las exposiciones innecesarias, el retiro no autorizado de materiales radiactivos o la dispersión de contaminantes radiactivos.

4.2 ZONAS PROHIBIDAS

- 4.2.1 Las áreas, al interior de zonas controladas, cuyo nivel de radiación sea superior a 1 mSv/h, se definirán como zonas prohibidas durante la operación.
- 4.2.2 El acceso a tales zonas estará normalmente prohibido. Si el ingreso es imprescindible, se hará con autorización del Jefe de la instalación y del Oficial de Protección Radiológica, quien dará las instrucciones correspondientes y controlará la permanencia en el interior de dichas zonas.

5 CÁLCULO DE DOSIS

Las evaluaciones de dosis resultantes de descargas en operación normal, así como de escapes accidentales, deberán considerar las posibles vías de transferencia a la población, atendiendo a las indicaciones que se detallan a continuación.

5.1 VÍAS DE TRANSFERENCIA

- 5.1.1 El transporte atmosférico constituye la vía de transferencia crítica. Para el cálculo de dosis debida a materiales radiactivos aerotransportados, se deberá diferenciar entre condiciones de accidente y de operación normal.
- 5.1.2 La evaluación del impacto ambiental, en caso de accidentes hipotéticos, deberá considerar el estado meteorológico que cause las peores consecuencias radiológicas sobre la población.

5.2 CÓDIGOS DE CÁLCULO DE DOSIS

- 5.2.1 Los cálculos de dosis equivalentes y efectiva, y cualquier otro que se necesite para la determinación de las bases de diseño, sólo serán aceptables si se efectúan usando métodos y códigos de cálculo homologados ante la Comisión.

6 CÁLCULO DE BLINDAJES

Los espesores de blindaje calculados en función a exposiciones preestablecidas según el criterio ALARA deberán efectuarse según los criterios que se establecen a continuación.

6.1 FACTORES DE CÁLCULO

- 6.1.1 Para el cálculo de blindajes se podrán utilizar normas ISO, NCRP, DIN, BS o NCh, o se deberá tomar en consideración lo siguiente:
- a) La dosis en el punto de cálculo se podrá determinar a partir de la carga de trabajo (W), considerando la transmisión por el blindaje (B) y por la distancia (d), y reducir con el factor de uso (U) y el factor de ocupación (T).

$$D = W \frac{B}{d^2} UT$$

- b) El factor de carga de trabajo W se calculará de acuerdo a la cantidad de horas de uso estimado del equipo. Factores inferiores a 40 horas semanales deberán ser demostrados y formarán parte de las condiciones y exigencias de las autorizaciones concedidas por la Comisión.
- c) El factor de uso U tendrá los valores siguientes:
- U = 1 para barreras secundarias
 - U = 1 para barreras primarias cuando el haz es fijo y colimado
 - Para barreras primarias donde incidan haces direccionales, el factor de uso se determinará de acuerdo al porcentaje del tiempo en que el haz incida sobre cada sector de la barrera.
- d) El factor de ocupación T tendrá los valores siguientes:
- T = 1 en el caso de ocupación permanente, tal como: sala de control, oficinas, consultas, sala de espera con recepción o espacios ocupados en edificios adyacentes.
 - T = 1/2 en el caso de ocupación no permanente en dependencias colindantes de la zona controlada, tal como: sala de examen de pacientes.
 - T = 1/5 en el caso ocupación parcial, tales como: corredores, zonas de descanso de trabajadores.
 - T = 1/8 en el caso de puertas de acceso a la zona controlada.
 - T = 1/20 en el caso de ocupación ocasional en dependencias colindantes de la zona controlada, tales como: salas de espera sin recepción, baños públicos, zonas exteriores de descanso, zonas de almacenamiento o vestidores.
 - T = 1/40 en zonas exteriores con tránsito peatonal o vehicular, zona de estacionamiento, escaleras o ascensores sin operador.

6.2 DISPOSICIONES PARA EL CÁLCULO

- 6.2.1 El valor de dosis utilizado para el diseño de las barreras no superará $1/4$ del límite primario de dosis efectiva, distribuido uniformemente en 50 semanas.
- 6.2.2 Se adicionará un HVL al espesor calculado de cada muro, como factor de seguridad.
- 6.2.3 Para las barreras primarias se usará la mayor de las áreas que resulte de:
 - a) La proyección del haz debido al campo máximo del equipo, incrementando el radio de dicha proyección en 0,5 m
 - b) La proyección correspondiente a la divergencia máxima del haz, incrementada en 10 grados sexagesimales
- 6.2.4 Los accesos a zonas de alta radiación serán preferentemente del tipo laberinto. La Comisión podrá autorizar otras opciones en el caso que las condiciones específicas de la aplicación o de la instalación hagan impracticable el acceso del tipo laberinto.
- 6.2.5 La Comisión podrá autorizar el empleo de zonas de restricción o medidas administrativas especiales, a fin de permitir rebajar los espesores de las barreras que resulten del cálculo.

6.3 CÓDIGOS DE CÁLCULO DE BLINDAJE

- 6.3.1 Los cálculos de blindajes sólo serán aceptables si se efectúan usando métodos y códigos de cálculo homologados ante la Comisión.