

Tercer ejercicio. Seguridad Nuclear

Tema 3.A.20

Códigos y normas aplicables a la fabricación e inspección de estructuras, sistemas y componentes de centrales nucleares

INDICE

- 1.- INTRODUCCIÓN
- 2.- ALCANCE DEL ASME BPVC
- 3.- ESTRUCTURA DEL CÓDIGO ASME
- 4.- APLICACIÓN A CENTRALES NUCLEARES
- 5.- EDICIONES Y ADENDAS
- 6.- INTERPRETACIONES AL CÓDIGO "CODE INTERPRETATIONS"
- 7.- CASOS DE CÓDIGO "CODE CASES"
- 8.- ESTRUCTURA Y CONTENIDO DE LAS DIFERENTES SECCIONES APPLICABLES AL CAMPO NUCLEAR (II, III, V, IX y XI)

Sección II	Materiales
Sección III	Componentes de centrales nucleares
Sección V.	Exámenes no destructivos
Sección IX.	Cualificación de procedimientos de soldadura y soldadores
Sección XI	Reglas para inspección en servicio de componentes de centrales nucleares

RESUMEN

Existen un gran número de códigos y normas aplicables al diseño, fabricación e inspección de estructuras, sistemas y componentes (ESC) de centrales nucleares. La descripción de todos ellos haría un tema demasiado extenso para el tiempo del que se dispone para la realización de este ejercicio, siendo por otra parte muy difícil hacer una simplificación del mismo sin correr el riesgo de que el opositor no adquiriera, al menos, una idea suficiente sobre el o los códigos más relevantes. Teniendo en cuenta que existen otros temas específicos que incorporan en el desarrollo de los mismos la normativa aplicable, caso de los componentes eléctricos, estructuras de hormigón, etc, se considera suficiente tratar en este tema el funcionamiento, estructura y contenido del código ASME, que es el código de mayor importancia en la industria nuclear.

Por ello, se intenta que el opositor logre un conocimiento global del Código ASME, de su estructura (fundamentalmente de la parte nuclear) y muy someramente del contenido de cada una de las secciones de la parte nuclear, pues el objetivo es saber cómo manejar el Código, saber dónde y cómo buscar, y no necesariamente el contenido de lo buscado.

RELACION CON OTROS TEMAS DEL TEMARIO

Este tema tiene relación con los siguientes temas:

TEMA 14. Primer ejercicio. Apartado B, Física y tecnología nucleares: Componentes de centrales nucleares de agua ligera. Diseño mecánico. Análisis de tensiones. Análisis de fatiga. La vasija a presión del reactor, seguimiento de propiedades mecánicas. Formación y crecimiento de grietas. Mecánica de la fractura.

TEMA 20. Tercer ejercicio. Apartado A, Seguridad Nuclear: Técnicas de inspección de componentes mecánicos: Ensayos no destructivos.

1.- INTRODUCCIÓN

Tal como se indica en el resumen de este tema, para la fabricación e inspección de ESC se utilizan un gran número de códigos y normas, las cuales se identifican en el capítulo 3 del Estudio Final de Seguridad. La enumeración y tratamiento de cada uno de los códigos sería muy extensa, dado que pueden existir diferentes códigos y normas para cada una de las disciplinas consideradas, mecánica, estructural, eléctrica, etc.

Como información se identifican una serie de códigos y normas aplicables:

- American Nuclear Society "Nuclear Safety Criteria for the Design of Stationary Pressurized Water Reactor Plants", ANSI-N 18.2-1.973.
- IEEE 803 para el diseño de componentes eléctricos.
- American Concrete Institute (ACI) aplicable a estructuras.
- Código ASME, American Society of Mechanical Engineers.

El código ASME es el documento identificado en las autorizaciones de construcción de centrales nucleares de mayor amplitud de aplicación en el diseño, la fabricación e inspección de las ESC. Las otras normas aplicables son de uso más específico, por lo que se ha considerado tratar en este tema únicamente el código ASME.

A finales del siglo XIX y principios del XX el número de accidentes debidos a explosiones de calderas a presión en los EEUU era muy alto, muchos de ellos provocando un alto número de muertos. Estos hechos motivaron que el gobernador del estado de Massachussets decidiera crear una junta sobre la construcción de calderas, que establecería reglas para la construcción e inspección de las mismas. Estas reglas fueron aprobadas en 1907 y editadas en 1909. En 1911 se implantaron unas reglas similares en Ohio y este hecho se fue generalizando con leyes semejantes en los diferentes estados, aunque muchas de ellas diferían de un estado a otro, y a inspectores de un estado no se les permitía realizar sus funciones en otro.

En 1911 se nombró el primer presidente de ASME, el coronel E.D. Meier, quien ya había intentado en vano crear una reglamentación unificada para todos los estados. Como presidente de ASME y apoyándose en el reconocimiento que para entonces ya tenía la sociedad en toda la nación, pensó en la elaboración de un Código que recogiera reglas unificadas para la construcción de calderas y que, basadas en las ya existentes para cada estado, fueran adoptadas por la totalidad de los mismos.

Se creó un comité que formularía especificaciones-standard para la construcción de calderas a vapor y otros recipientes a presión y para la vigilancia y mantenimiento de los mismos en servicio. En 1913 se elaboró el primer informe que se envió a ingenieros, inspectores, municipios, fabricantes, compañías de seguros, etc. para que los estudiaran y emitieran su juicio crítico sobre las mismas. Tras recibir los comentarios e incorporarlos debidamente, se llega a primeros de 1915, fecha en la que se edita la primera edición del entonces llamado "Reglas para la construcción de calderas estacionarias y para presiones admisibles de funcionamiento". El comité que elaboró dichas reglas fue aumentando en número e importancia y se le denominó "Comité del Código de Calderas".

Siguiendo con la investigación y con la política de consultar las nuevas acciones

emprendidas a la opinión pública, fueron añadiéndose reglas y especificaciones a la edición original de 1915, dando lugar a lo que hoy en día conocemos como Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión (ASME BPVC = ASME Boiling and Pressure Vessel Code).

2.- ALCANCE DEL ASME BPVC

El Código ASME de Calderas y Recipientes a Presión, en adelante el Código, establece los requisitos de seguridad sobre el diseño, la fabricación y la inspección durante la fase de construcción de **calderas y otros recipientes a presión**, así como para la inspección en servicio de esos componentes. Así, por ejemplo, en el caso de una central nuclear, este Código aplica a todos los recipientes a presión de la misma, tales como calderas, incluyendo la vasija del reactor, los generadores de vapor, el presionador, los intercambiadores de calor, todos los sistemas de tubería, y a todo el soportado de tales componentes, incluido la contención. Por el contrario, no es aplicable dicho Código a los componentes eléctricos (motores, baterías, etc.) o de instrumentación que forman parte de una instalación de este tipo.

El Código no es de obligado cumplimiento por sí mismo, sino que se convierte de uso obligado cuando así se especifica en las licencias de construcción de tales componentes. En el caso de los recipientes a presión con destino a centrales nucleares el Código ASME se convierte en obligado al ser requerido por el Organismo Regulador de los EE.UU., la Nuclear Regulatory Commission (NRC), la cual, a su vez, establece modificaciones al Código a través del Título 10 del Code of Federal Regulations, parte 50, conocido como 10CFR50. En este documento de reglamentación en los EE.UU. se establece qué edición del Código está aprobada y qué modificaciones o restricciones deben ser tenidas en cuenta. Asimismo, en las licencias de construcción que la NRC concede a los distintos licenciarios de centrales nucleares, se les establece la edición aplicable en función de la fecha de solicitud de la autorización.

Lo comentado en estos apartados referente a la aplicabilidad del Código ASME en los EE.UU. es, básicamente, trasladable al caso español, al seguirse en España el sistema denominado “Normativa del país de procedencia de la tecnología”, y al ser la mayoría de nuestras centrales nucleares de tecnología de los EE.UU. El sistema que se ha seguido ha sido, básicamente, el mismo, si bien el Consejo de Seguridad Nuclear, a través de las autorizaciones preceptivas que debe conceder a todo proyecto nuclear, establece condicionantes específicos en tales autorizaciones.

3.- ESTRUCTURA DEL CÓDIGO ASME

En su versión actual el Código ASME está dividido en once partes, denominadas Secciones, con numeración romana desde el I hasta el XI. Estas Secciones pueden estar subdivididas a su vez en:

- Divisiones, o
- Partes

que a su vez pueden estar subdivididas en subsecciones. Los títulos de las Secciones son los siguientes:

Sección I: Reglas para la construcción de Calderas de Potencia

Sección II: Materiales

- Parte A: Especificaciones de materiales férreos
- Parte B: Especificaciones de materiales no férreos
- Parte C: Especificaciones para varillas para soldar, electrodos y metal de aportación

Sección III. División 1

- Subsección NCA: Requisitos generales para la División 1 y la División 2
- Subsección NB: Componentes de clase 1
- Subsección NC: Componentes de clase 2
- Subsección ND: Componentes de clase 3
- Subsección NE: Componentes de clase MC = Contenciones metálicas
- Subsección NF: Soportes
- Subsección NG: Estructuras soporte del núcleo
- Subsección NH: Componentes clase 1 con elevadas temperaturas de servicio
- Apéndices

Sección III, División 2: Código para vasijas de reactor y contenciones de hormigón

Sección III, División 3: Contenedores para el transporte y almacenaje de combustible gastado y material radiactivo

Sección IV: Reglas para la construcción de Calderas de calefacción

Sección V: Exámenes no destructivos

Sección VI: Reglas recomendadas para el mantenimiento y operación de calderas de calefacción

Sección VII: Guías recomendadas para el mantenimiento de calderas de potencia

Sección VIII: Reglas para la construcción de vasijas a presión

Division 1

Division 2: Reglas alternativas

División 3: Reglas alternativas para vasijas de alta presión

Sección IX: Cualificación de soldadura y brazing.

Sección X: Vasijas a presión de plástico y fibra de vidrio

Sección XI: Reglas para inspección en servicio de componentes de plantas nucleares

División 1: Rules for Inspection and Testing of Components of Light Water

Cooled Plants (Reglas para inspección y ensayos de componentes de plantas refrigeradas por agua ligera).

División 2: Rules for Inspection and Testing of Components of Gas-Cooled Plants (Reglas para inspección y ensayos de componentes de plantas refrigeradas por gas).

Sección XII: Reglas para la construcción y la continuidad en el servicio de tanques de transporte de sustancias peligrosas

De entre estas Secciones, algunas son mandatorias dentro de su ámbito de aplicación, como es el caso de las secciones I, III, IV, VIII y XI. Otras solamente son mandatorias cuando así lo especifican las otras secciones que sirven de referencia, como es el caso de las Secciones II, V y IX.

4.- APLICACIÓN A CENTRALES NUCLEARES

El Código ASME es de obligado cumplimiento en EE.UU. para el diseño y construcción de centrales nucleares (componentes a presión y sus soportes), estando establecido un procedimiento para determinar qué Edición y adenda del mismo son las aplicables para cada proyecto en concreto, en función de la fecha de solicitud de la licencia de construcción, que debe ser otorgada por el Organismo Regulador (NRC).

El parque nuclear español está compuesto, actualmente, por centrales de diseño de EE.UU. y una de diseño alemán, todas ellas refrigeradas por agua ligera. Teniendo en cuenta la ausencia de normativa nacional específica para su aplicación en la fase de construcción de las centrales nucleares, y por ende para los materiales estructurales empleados, se utilizaron los requisitos y normativa del país de origen de los proyectos. En el caso de materiales estructurales metálicos esto se tradujo en que para la mayoría de las centrales españolas, de tecnología de los EE.UU., siguieron los requisitos establecidos en el Código ASME u otras normas recogidas en las Bases de Licencia consideradas en la fase inicial de licenciamiento. En el caso de la CN de Trillo, cuyo diseñador es KWU-Areva, se utilizó conjuntamente la normativa alemana (KTA y otras) con la americana (ASME).

Por tanto se vuelve a dirigir la visión hacia el código ASME, como norma principal a seguir en las licencias de construcción que el Consejo de Seguridad Nuclear otorga a los licenciarios que lo solicitan.

Desde la perspectiva del campo nuclear, las secciones de más importancia son las siguientes:

Sección II
Sección III
Sección V
Sección IX
Sección XI

De estas secciones, y como ya quedó dicho anteriormente, la III y la XI son secciones básicas, mandatorias en su ámbito de aplicación, mientras que la II, V y IX solo son mandatorias cuando se referencian en las anteriores.

5.- EDICIONES Y ADENDAS

El Código se edita en su totalidad cada tres años. Hasta 1986 se editaban adendas con carácter semestral, denominándose las adenda de invierno y adenda de verano. Actualmente las adendas tienen carácter anual e incluyen adiciones o revisiones de Secciones individuales del Código.

Las distintas ediciones y adendas del Código son aprobadas por la NRC a través del 10CFR50, en el que se establecen las condiciones o limitaciones, si las hubiera, a su uso. Con anterioridad a esta aprobación no son aceptables para su uso en el campo nuclear.

6.- INTERPRETACIONES AL CÓDIGO “CODE INTERPRETATIONS”

Los usuarios del Código pueden formular preguntas o aclaraciones sobre el contenido, alcance o instrucción de las reglas del Código. Las respuestas a estas preguntas de los usuarios, que no requieran modificación o adición al contenido del Código, se recogen en las denominadas “Interpretaciones del Código”, que son emitidas por separado para cada sección individual con carácter semianual (julio y diciembre). Las interpretaciones no son parte del Código o de las adendas.

7.- CASOS DE CÓDIGO “CODE CASES”

Cuando lo que se pretende es desviarse de algún requisito del Código o aplicar las reglas del Código modificadas, entonces el Comité de ASME lo que edita es los denominados “Casos de Código”, ó “Code Cases”. El carácter inicial de los Casos de Código es el de conceder un permiso o una autorización, por lo que no tienen carácter mandatorio, sino que se puede hacer uso de ellos una vez publicados. Por lo general, estos Casos de Código establecen requisitos alternativos a los que figuran en la edición correspondiente del Código, por ser más fácil su cumplimiento. Los Casos de Código tienen un periodo de validez determinado, al final del cual pueden ser anulados, prorrogados o incorporados en la siguiente adenda o edición del Código.

Los Casos de Código deben ser asimismo aceptados y autorizados por la NRC para su uso. Esta autorización se realiza a través de Guías Regulatoras “Regulatory Guides”, en concreto las 1.84, 1.147, 1.192 y 1.193. A través de estas Guías Regulatoras, la NRC puede establecer requisitos adicionales a los contemplados en el Caso de Código.

En algunos casos, existen casos de código cuya aplicación es obligatoria, dado que son incorporados como referencia en el 10 CFR 50.55a.

8.- ESTRUCTURA Y CONTENIDO DE LAS DIFERENTES SECCIONES APLICABLES AL CAMPO NUCLEAR (II, III, V, IX y XI)

SECCIÓN II: MATERIALES

Objeto y alcance

En esta sección se relacionan e incluyen las especificaciones de materiales que, en un principio, están admitidos en las otras secciones del Código para ser utilizados, con las particularidades que en ellas se establezca.

Esta es una de las denominadas secciones de referencia, es decir, no contiene reglas de seguridad relativas a diseño, fabricación e inspección, sino especificaciones de materiales citados o admitidos en las secciones básicas del Código. Aplica cuando es referenciada en alguna de las secciones mandatorias.

Por “materiales” se entiende, respecto del alcance de esta sección, todos aquellos productos laminados, forjados, estirados, fundidos, que no han sido sometidos, en general, a mecanizados. También incluye los materiales de aportación como electrodos, varilla o alambre y flux.

Estructura básica

Esta sección se divide en tres partes:

- Parte A: Especificaciones de materiales féreos
- Parte B: Especificaciones de materiales no féreos
- Parte C: Especificaciones para varillas para soldar, electrodos y metal de aportación

Parte A: Especificaciones de materiales féreos

La parte A lista e incluye las especificaciones de materiales féreos (aceros inoxidables, aceros al carbono), en sus diferentes formas: chapas, forjas, fundición, etc. admitidos para ser utilizados en las otras secciones del Código, con las particularidades requeridas en éstas.

Las especificaciones se identifican con las siglas SA-XXX, y se corresponden en numeración con las correspondientes especificaciones de materiales de ASTM (ASTM-XXX). ASTM= American Society of Testing Material = sociedad americana de ensayos de materiales), que es la encargada de determinar mediante ensayos las características de los diferentes materiales que luego son incluidos en sus normas. (XXX = dos o tres cifras que marcan un orden correlativo). En la mayor parte de los casos, las especificaciones ASME son idénticas a las ASTM (A-XXX-XX), y ello se indica entre paréntesis en el encabezamiento de las mismas. Las dos últimas cifras de la especificación ASTM corresponden a las dos últimas cifras del año de emisión de la especificación. Cuando las especificaciones no coinciden, se indica en el encabezamiento de la especificación de ASME.

La parte A incluye, además de las especificaciones de materiales citadas, las especificaciones sobre métodos de ensayo destructivo o no destructivo que se requiere efectuar sobre los materiales para garantizar su calidad y cumplir lo establecido en las especificaciones de los materiales.

En esta parte A hay que subrayar la existencia de dos especificaciones de materiales de carácter general, que contienen requisitos comunes para bastantes materiales: son las especificaciones SA-6 ‘Requisitos generales aplicables a chapas, perfiles, chapa fina y barras para uso estructural’ y SA- 20M ‘Requisitos generales aplicables a chapas de acero para recipientes a presión’.

Todas las especificaciones que incluye la parte A se relacionan al principio de la misma en dos listados consecutivos: uno por materiales y otro en secuencia numérica.

Contenido de las especificaciones

El contenido de las especificaciones de cada tipo de material contenidas en la Parte A es, en general, el siguiente:

- Objeto: Indica tipos y grados de material, procesos de fabricación, temperatura y presión de servicio, etc.
- Documentos aplicables
- Información básica para hacer los pedidos: método de fabricación, tipo, clase, grado, condición de terminación y tratamiento térmico, requisitos suplementarios, etc.
- Fabricación: sistemas permitidos de fabricación de acero, tratamientos térmicos requeridos, tipos de soldadura en tubos soldados, etc.
- Análisis químico: Indica si se han de realizar los análisis de colada y sobre producto y los elementos que se han de analizar y los porcentajes permitidos para cada tipo, clase y grado.
- Requisitos mecánicos: Se establecen los ensayos mecánicos a efectuar, indicando tipo de ensayos, número de probetas y forma de extracción y los valores mínimos requeridos.
- Exámenes no destructivos: Se indica qué partes se han de examinar, los métodos de examen requeridos y los criterios de aceptación y rechazo.
- Dimensiones y terminación: Se establecen los requisitos en cuanto a imperfecciones superficiales, dimensiones y tolerancias.
- Prueba hidrostática y otras pruebas especiales: Se incluyen en la especificación, dando la información necesaria para poder realizarlas e inspeccionarlas.
- Reensayos: Se indica en qué casos se pueden repetir los ensayos mecánicos que no han satisfecho algunos requisitos establecidos en la especificación.
- Reparación de defectos
- Marcado: Se establece cómo y dónde debe ser marcado el material que satisface los requisitos de la especificación.
- Requisitos suplementarios: Los que se establezcan en el pedido: ensayos de resiliencia, tamaño de grano, contenido en ferrita delta, etc.

Parte B: Especificaciones de materiales no férreos

Incluye las especificaciones de materiales no férreos admitidos, tales como:

- **Aluminio y aleaciones de aluminio**
- **Chapas, planchas y bobinas de cobre y aleaciones de cobre**
- **Barras y redondos de aleaciones de cobre**
- **Barras y varillas de níquel y aleaciones de níquel**
- **Tubos y tuberías de níquel y aleaciones de níquel**
- **Titanio y aleaciones de titanio**
- **Zirconio y aleaciones de zirconio**

La designación de las especificaciones es NB-XXX.

Las consideraciones expuestas en la parte A de materiales férreos sirven también, en general, para esta parte B, con alguna diferencia como son: la ausencia de especificaciones de materiales que contengan requisitos generales, la no inclusión de especificaciones relativas a métodos de ensayo destructivo y la existencia de una sola especificación relativa a métodos de examen no destructivo.

Parte C: Especificaciones para varillas para soldar, electrodos y metal de aportación

En esta parte se relacionan las especificaciones de los materiales de aportación admitidos para utilizar en los procesos de soldadura.

Las especificaciones se identifican de la forma SFA-5.xx, en donde xx son una o dos cifras que marcan un orden correlativo.

Estas especificaciones son idénticas en su totalidad a las especificaciones correspondientes de la American Welding Society (AWS) (Sociedad Americana de soldadura), por lo que su identificación es muy similar. Así, por ejemplo, la AWS-5.1 se corresponde con la ASME SFA-5.1.

El contenido de las especificaciones de cada tipo de material incluidas en la Parte C es, en general, el siguiente:

- **Objeto:** Se define el tipo de la especificación.
- **Requisitos generales:** Incluyen la base de la clasificación, requisitos de aceptación, certificación, reensayos, métodos de fabricación, marcado y empaquetado.
- **Ensayos y exámenes requeridos:** Se especifican los límites de composición química del metal aportado, los ensayos mecánicos requeridos, las radiografías y los criterios de aceptación
- **Fabricación e identificación:** Se identifican tamaños standard y longitudes con sus tolerancias y requisitos de concentricidad, revestimiento, defectos, contenido en humedad, identificación del electrodo, etc.
- **Detalles de los exámenes y ensayos:** Se indica cómo se han de realizar los ensayos requeridos, el material de las chapas, el estado de los electrodos, la preparación

de los cupones de ensayo para los ensayos mecánicos o examen radiográfico, la forma de las probetas, contenido en humedad, etc.

Hay especificaciones que aplican a diferentes materiales de aportación, como por ejemplo varilla, electrodos combinados y flux.

Las especificaciones de la parte C presentan, al final de las mismas, un apéndice no mandatorio que es una guía para la clasificación y una adecuada utilización del material de aportación.

Los materiales de aportación tienen, a veces y especialmente en el campo nuclear, requisitos adicionales a los establecidos en la Parte C del Código, los cuales hay que tener en cuenta conjuntamente con los establecidos en esta parte C.

SECCIÓN III COMPONENTES DE CENTRALES NUCLEARES

Objeto y alcance

Esta Sección contiene las reglas relativas al diseño, fabricación e inspección de componentes de centrales nucleares tales como: vasijas, contenciones, tanques de almacenamiento, sistemas de tuberías, bombas, válvulas, intercambiadores, condensadores, estructuras soportes de componentes, estructuras soportes del núcleo e internos de la vasija del reactor, etc.

Estructura general de la sección

La Sección III tiene dos divisiones. La División 1 trata de las reglas que aplican a los componentes metálicos de una central nuclear. La División 2 contiene las reglas aplicables a las vasijas y contenciones de hormigón.

- División 1, que cuenta con las subsecciones NCA y NB a NH
- Subsección NCA: Requisitos generales para la División 1 y División 2

Esta subsección es aplicable a ambas divisiones 1 y 2, es decir, su cumplimiento es exigible para la construcción de cualquier componente que ha de cumplir los requisitos en cualquiera de las subsecciones restantes de esta sección, tanto de la División 1 como de la División 2.

Contiene definiciones, aclaraciones y requisitos generales de aplicación a propietarios de centrales nucleares, suministradores de material e inspectores autorizados.

- Subsección NB: Componentes de clase 1

Contiene requisitos para materiales, diseño, fabricación, examen, pruebas y protección contra sobrepresión de equipos y componentes que se pretende que cumplan con los requisitos de construcción como Clase 1.

- Subsección NC: Componentes de clase 2

Tiene el mismo contenido que la anterior pero aplicable a componentes que pretenden satisfacer los requisitos de Clase 2.

- Subsección ND: Componentes de clase 3

Tiene el mismo contenido que la anterior pero aplicable a componentes que pretenden satisfacer los requisitos de Clase 3.

- Subsección NE: Componentes de clase MC (contenciones metálicas).

Contiene requisitos sobre materiales, diseño, fabricación, exámenes, pruebas y protección contra sobrepresión de los recintos de contención metálicos.

- Subsección NF: Soportes

Contiene requisitos sobre materiales, diseño, fabricación y exámenes requeridos en la fabricación e instalación de soportes de componentes.

- Subsección NG: Estructuras soporte del núcleo

Contiene requisitos sobre materiales, diseño, fabricación y exámenes, requeridos en la fabricación e instalación de estructuras soporte del núcleo del reactor.

- Subsección NH: Componentes con elevadas temperaturas de servicio

Contiene requisitos sobre materiales, diseño, fabricación, exámenes, pruebas y protección contra sobrepresiones de sistemas de clase 1 que se espera funcionen a una temperatura que excede los definidos en la subsección NB.

- Apéndices

En este volumen se incluyen todos los apéndices de esta División y se clasifican en dos grupos: mandatorios y no mandatorios.

- División 2: Código para contenciones de hormigón.
Subsecciones CC y Apéndices.

Este volumen contiene los requisitos relativos a materiales, diseño, fabricación, exámenes, pruebas y protección contra la sobrepresión en los recintos de contención de hormigón (Subsección CC). Asimismo contiene todos los apéndices, mandatorios o no, correspondientes a la División 2.

Estructura de las Subsecciones

Cada Subsección está dividida en Artículos, Subartículos, Párrafos, Subpárrafos y Subsubpárrafos.

Los Artículos se identifican con las letras correspondientes a la subsección, seguidas de números árabes (p.ej. NCA-4000, NB-2000, CB-5000). Los artículos que

versan sobre los mismos temas, con independencia de la categoría del componente, llevan la misma numeración. Se exceptúan los artículos de la subsección NCA.

Los Subartículos están numerados en centenas (p. ej. NCA-4100, NB-2200, CB-5300)

Los Subsubartículos están numerados en decenas (p. ej. NCA-4110, NB-2220, CB-5330).

Los Párrafos están numerados en unidades, tales como NCA-4111, NB-4223, CB-5341.

Los Subpárrafos, cuando constituyen una subdivisión importante del párrafo en el que se contiene, se designan añadiendo el punto decimal seguido de uno o más dígitos, al número del párrafo (p. ej. NCA-4111.1, NB-3423.1). En cambio, si los subpárrafos representan una subdivisión de menor importancia dentro del párrafo, se designan añadiendo una letra minúscula entre paréntesis. Por ejemplo NCA-4112 (a), NB- 2231 (b).

Los Subsubpárrafos, cuando corresponden a un subpárrafo importante o “mayor” se identifican añadiendo una letra minúscula entre paréntesis a la designación del subpárrafo, como, por ejemplo, NCA-4111.1 (a). En cambio, se añade un número árabe entre paréntesis si el subsubpárrafo corresponde a un subpárrafo poco importante o “menor”, tal como NCA-4112 (a)(1).

Referencias

Dentro del contenido de la sección III se pueden hacer referencias a otras partes de la misma sección o a otros documentos o normativa.

Referencias a otras partes de la sección

Para manejar correctamente la Sección III ha de conocerse que las referencias a otra parte o partes de esta sección son muy explícitas y afectan totalmente al contenido de las mismas. Si la referencia se hace a un artículo aplica a todo lo contenido en el mismo, si se hace a un párrafo solamente a lo que se indica en él y si se hace a un subpárrafo únicamente lo establecido en el mismo.

Si en una referencia aparece NX, significa que es aplicable a todas las subsecciones de la Sección III (NB, NC, ND, NE, NF, NG y NH) en la que aparezca el párrafo, subartículo o artículo referenciado.

Referencia a otras secciones

Las más frecuentes son a las secciones II, V y IX. Cuando se hace referencia a la sección II se suele citar la especificación del material. Cuando se hace referencia a la sección V la designación suele empezar con la letra “T”. Cuando se hace referencia a la sección IX, dicha referencia comienza con la letra “Q”.

Las referencias a otras secciones del Código convierten a estas secciones referenciadas de obligado cumplimiento.

Referencias a los apéndices

La referencia tiene carácter mandatorio si el apéndice referenciado es mandatorio, o bien carácter informativo o recomendado si el apéndice es no mandatorio. Los apéndices mandatorios se designan con números romanos y los no mandatorios con letras mayúsculas.

Estructura y resumen de la subsección NCA

Esta subsección se estructura en los siguientes artículos:

NCA-1000. Alcance de la Sección III

NCA-2000. Clasificación de los componentes.

NCA-3000. Deberes y responsabilidades.

NCA-4000. Garantía de calidad.

NCA-5000. Inspección autorizada.

NCA-8000. Certificados de autorización, símbolos a estampar e informe de datos.

NCA-9000. Glosario de términos y expresiones.

El contenido de cada uno de estos artículos es el siguiente: NCA-1000. Alcance de la Sección III

Establece que la sección III da requisitos para el diseño, construcción, sellado con el símbolo ASME y certificación de elementos de centrales nucleares de potencia.

Establece que aplica solo a aquellos componentes que el propietario identifique como aplicables, en todo o parcialmente.

Establece que solo aplica a barreras de presión y a sus soportes, y a las estructuras soportes del núcleo y sistemas de contención.

Tiene en cuenta solamente requisitos para nuevas construcciones, no cubriendo deterioros que puedan ocurrir en servicio debidos a efectos de radiación, corrosión, erosión, etc., los cuales deberán ser tenidos en cuenta en el diseño.

Establece que el propietario de la central nuclear es quien decide la edición y adendas aplicables en cada caso.

NCA-2000. Clasificación de los componentes.

El propietario es el responsable de establecer la clasificación de componentes según su función de seguridad y, una vez clasificados, se les aplicará la subsección del Código que les corresponda. Para establecer esta clasificación se puede seguir la Guía Reguladora 1.26 y 1.29. Los diferentes componentes se clasifican como de clase nuclear 1, 2, 3 y MC, a las que aplicarían las subsecciones NB, NC, ND y NE respectivamente, a los soportes de componentes (subsección NF) y a las estructuras soporte del núcleo (subsección NG).

NCA-3000. Deberes y responsabilidades.

Contiene los requisitos que afectan a las partes involucradas en la construcción de una central nuclear en cuanto a las responsabilidades que se contraen como consecuencia del cumplimiento con esta Sección. Las organizaciones principalmente involucradas son: el propietario, el diseñador (solo División 2), el poseedor del certificado "N" (para la División 1 es la organización que asume la responsabilidad del cumplimiento del Código respecto a material, diseño, fabricación, instalación, examen, prueba, inspección, certificación y sello de un componente que requiere sello "N"; para la división 2 es la organización responsable de la construcción y sello del componente), el poseedor del sello "NPT" (organización que fabrica partes, subconjuntos de tubería, soportes de componentes u otras que requieran el sello NPT), el poseedor del sello "NA" (organización que une elementos, habitualmente en campo), el fabricante del material (organización que certifica que el material está de acuerdo con los requisitos establecidos) y el suministrador del material (suministra material fabricado por otros y puede, en algunos casos, realizar y certificar ensayos, exámenes y pruebas que no haya desarrollado el fabricante).

NCA-4000. Garantía de calidad.

Establece los requisitos de garantía de calidad aplicables a la construcción e instalación de componentes clasificados en las categorías 1, 2, 3, CS (soportes), MC (contenciones metálicas) y CC (contenciones de hormigón).

El sistema de garantía de calidad establecido en este artículo cumple con el apéndice B al 10CFR50.

NCA-5000. Inspección autorizada.

Este artículo trata de las responsabilidades y deberes del inspector nuclear autorizado. Este inspector tiene que ser independiente del propietario y del fabricante poseedor de la certificación, aunque ambos deben estar de acuerdo en su elección. Este inspector supervisa el programa de garantía de calidad, verifica la existencia y utilización de las ediciones y adendas aplicables, comprueba la certificación de las especificaciones de diseño y se asegura que los materiales, procesos de fabricación, exámenes y pruebas, cumplen con los requisitos del Código.

NCA-8000. Certificados de autorización, símbolos a estampar e informe de datos.

Este artículo trata todo lo relativo a certificados de autorización, placas de características, sellado del símbolo del código y a los informes de datos.

NCA-9000. Glosario de términos y expresiones.

Contiene las definiciones de una serie de términos o expresiones muy utilizados en la Sección III.

Estructura y resumen de las demás subsecciones de la División 1

Cada subsección de esta División, exceptuando el volumen que contiene los apéndices, se estructura en los siguientes artículos:

NX-1000. Introducción

NX-2000. Material

NX-3000. Diseño

NX-4000. Fabricación e instalación

NX-5000. Examen

NX-6000. Pruebas

NX-7000. Protección contra sobrepresión

NX-8000. Placas de características, sellado e informes de datos

Las subsecciones NB a NH tienen una estructura similar. Los artículos de las subsecciones NB, NC, ND y NH son idénticos y en las subsecciones NF y NG no existen los artículos 6000 ni 7000, puesto que al tratar estas subsecciones sobre soportes de componentes y estructuras soportes del núcleo, respectivamente, no son elementos sometidos a presión y por lo tanto no aplican los artículos de prueba de presión ni protección contra la sobrepresión.

Los aspectos comunes que trata cada artículo son: NX-

1000. Introducción

Se señala el alcance de la subsección, a qué aplica, las fronteras de jurisdicción y cualquier otra aclaración sobre la aplicabilidad de la misma.

NX-2000. Material

Se dan todos los requisitos relativos a los materiales a emplear, que suelen ser suplementarios a los establecidos en la especificación SA, SB o SFA, contenidas en la Sección II del Código. Por ejemplo: requisitos de resiliencia, ensayos de impacto, exámenes no destructivos y reparaciones del material que retiene presión, normas dimensionales.

NX-3000. Diseño

Se dan los requisitos de diseño aplicables a los componentes bajo cada subsección. Las condiciones de diseño varían y se tienen en cuenta diferentes factores como: cargas a considerar, presión de diseño, temperatura de diseño, condiciones y niveles de servicio, métodos de diseño aplicables, diseño de soldaduras, etc.

NX-4000. Fabricación e instalación

Da requisitos sobre fabricación e instalación para los componentes de la subsección aplicable, como pueden ser: comprobaciones de que el material es

el adecuado, corte, conformado y alineación, tolerancias de ajuste y finales, espesores mínimos, puntos de soldadura, requisitos para realización de soldaduras según su clasificación (de acuerdo a NX-3000), cualificación de procedimientos de soldadura y soldadores (referenciando ASME IX), tratamientos térmicos, uniones mecánicas, identificación y marcado de soldaduras, reparaciones por soldadura, etc.

Bajo el punto de vista de la construcción, este artículo es el más importante, junto con los NX-5000 y NX-6000.

NX-5000. Examen

Este artículo trata sobre los exámenes no destructivos que se realizan sobre materiales, soldaduras, etc. Prácticamente se refiere a los exámenes de soldaduras de fabricación e instalación, ya que los de materiales se indican en NX-2000.

En general se hace referencia a ASME V en cuanto a métodos operatorios de realización de los exámenes, añadiendo o no requisitos adicionales y especificando los criterios de aceptación aplicables. Asimismo, se referencia la normativa aplicable a la cualificación del personal que ejecuta los exámenes no destructivos.

En este artículo también se identifican: necesidad de disponibilidad de procedimientos, homologación de los procedimientos y su registro, momento de realización de los exámenes no destructivos, limpieza post-examen, presencia del inspector y registros.

NX-6000. Pruebas

Este artículo trata sobre pruebas de presión, refiriéndose en general a pruebas hidrostáticas, aunque con las provisiones necesarias para la realización de pruebas neumáticas. Se establecen los prerequisites de prueba, requisitos de los procedimientos, presión de prueba y presión de inspección, precauciones, calibración de equipos de medida, etc. Ni la subsección NF ni la NG tienen este artículo puesto que los elementos cubiertos por ambas subsecciones no están sometidos a presión.

NX-7000. Protección contra sobrepresión

Se dan requisitos para asegurar dicha protección. Los requisitos son máximos para la clase 1 (Subsección NB) y mínimos para la clase MCV (Subsección NE). En general se trata de asegurar que en ningún momento se llegue en servicio a condiciones superiores a las señaladas en la especificación de diseño. Se suele trabajar por sistemas. El medio más común de protección contra la sobrepresión suelen ser las válvulas de alivio.

El Código requiere que en algunos casos el propietario presente un informe de protección contra la sobrepresión, que describa los dispositivos de alivio y detectores de presión empleados, redundancias y rango de condiciones de operación.

Describe los requisitos de capacidad y tipos aceptables de protección contra la sobrepresión, diseño y operación de válvulas de seguridad, pruebas, certificados y marcas de válvulas de seguridad y discos de ruptura. Ni la subsección NF ni la NG tienen este artículo puesto que los elementos cubiertos por ambas subsecciones no están sometidos a presión.

NX-8000. Placas de características, sellado e informes de datos

Se referencia el artículo NA-8000 o NCA-8000 para la descripción de estos aspectos.

Apéndices

Los Apéndices a la División 1 de la Sección III vienen en un tomo aparte. Los designados con números romanos son mandatorios y vienen referenciados en los artículos correspondientes y los designados con letra no son mandatorios.

Estructura y resumen de la División 2

Esta División integra la subsección CB (vasijas de reactor de hormigón), la subsección CC (contenciones de hormigón), los apéndices mandatorios, los apéndices no mandatorios y el material de referencia.

La estructura de la División 2 es muy similar a la de la División 1, con pequeñas diferencias en los artículos 5000 y 6000, tanto en la denominación como en el contenido. El artículo 5000 trata, además de sobre exámenes no destructivos también sobre ensayos destructivos sobre probetas tomadas del hormigón.

El apéndice I contempla las tablas de pretensado y el material del *liner*, el apéndice VII trata sobre la cualificación del personal inspector de hormigón y el apéndice IX sobre los métodos de examen no destructivo a realizar al hormigón.

Utilización de la Sección III. Conclusiones

Para manejar adecuadamente esta Sección hay que conocer, en primer lugar, la clasificación del componente, con lo cual ya se sabrá la Subsección que le corresponde. Por ejemplo, si tenemos un componente de clase nuclear 2, las reglas de construcción que le aplican se encuentran en la Subsección NC.

Además son aplicables, independientemente de la clasificación del componente, y de que se regule por la división 1 ó la 2, los requisitos contenidos en la Subsección NCA.

Para la utilización adecuada de esta Sección es imprescindible la disponibilidad y el conocimiento de la estructura de las Secciones II, V y IX, referenciadas en esta Sección III. Asimismo hay que disponer de la normativa a la que se hace referencia en esta Sección III.

SECCIÓN V. EXÁMENES NO DESTRUCTIVOS

Objeto y alcance

En esta Sección se describen los métodos de Examen No Destructivo (END) exigidos en alguna otra Sección básica o mandatoria del Código, tales como la I, II, III, VIII, IX y XI.

Los métodos contemplados son:

- Radiografía
- Ultrasonidos
- Líquidos penetrantes
- Partículas magnéticas
- Corrientes inducidas
- Examen visual
- Pruebas de fugas

En la Sección V se establece el “cómo” se tienen que realizar los exámenes no destructivos, mientras que el “dónde”, “cuándo” y los “criterios de aceptación” vienen definidos en las secciones básicas.

Estructura de la Sección V

Se divide en dos subsecciones, A y B.

La subsección A describe los métodos de END a emplear cuando dicha subsección y dichos métodos son referenciados en otras Secciones del Código.

La subsección B comprende una serie de normas ASTM (American Society of Testing Material) sobre END. Estas normas tienen en general carácter informativo pero son mandatorias en parte o en todo cuando así viene establecido en algún artículo de la Subsección A o en otra Sección del Código.

Tanto la Subsección A como la B están subdivididas en artículos: Subsección A.

Métodos de examen no destructivo

- Artículo 1: Requisitos generales
- Artículo 2: Examen radiográfico
- Artículo 3: Examen ultrasónico cuando se requiere el dimensionamiento de las indicaciones
- Artículo 4: Examen ultrasónico. Requisitos generales

- Artículo 6: Examen por líquidos penetrantes
Artículo 7: Examen por partículas magnéticas
Artículo 8: Examen mediante corrientes inducidas de productos tubulares
Artículo 9: Examen visual
Artículo 10: Examen de fugas

Subsección B. Documentos adoptados por la Sección V

- Artículo 22: Normas radiográficas Artículo
23: Normas sobre ultrasonidos
Artículo 24: Normas sobre líquidos penetrantes
Artículo 25: Normas sobre partículas magnéticas
Artículo 26: Normas sobre corrientes inducidas
Artículo 27: Normas sobre examen de fugas Artículo
28: Normas sobre examen visual

En la Subsección A todos los párrafos se designan con la letra T seguida de un guión y una cifra de tres dígitos, el primero de los cuales coincide siempre con el número del artículo. Así, por ejemplo, un párrafo numerado T-523 sabremos que corresponde al artículo 5, y que por tanto se refiere a examen por ultrasonidos.

Resumen del contenido de la Sección V

Los artículos de la subsección A contienen los parámetros más importantes que determinan la realización adecuada del método de END aplicable. Establecen la necesidad de la preparación de un procedimiento escrito e indican cual ha de ser la información mínima que tiene que aparecer en dicho procedimiento. Asimismo pueden contener requisitos en cuanto a calibraciones (tipo, frecuencia, etc.) y sobre cualificación del personal encargado de llevar a cabo el END. Pueden además hacer referencia a otra normativa, incluida generalmente en la Subsección B.

La Subsección B recoge normativa ASTM relacionada con la realización de métodos y técnicas de END, o desarrolla partes específicas.

El TEMA 3-A-20 trata los métodos de END contemplados en los artículos de la Sección V.

Utilización de la Sección V. Conclusiones

La Sección básica que contiene reglas de construcción o mantenimiento será la que haga referencia al artículo de la Sección V que haya de manejar y se establecerán, en su caso, las excepciones, modificaciones o adiciones correspondientes.

Conviene notar que hay dos artículos en la Subsección A que tratan de ultrasonidos: el 4 y el 5. El 4 trata de exámenes de soldaduras y el 5 trata,

además de las soldaduras, los de forjas, fundición, etc. Es la sección básica (I, III, VIII u XI) la que determina la aplicabilidad de uno u otro artículo, por lo que no hay confusión al respecto.

SECCIÓN IX. CUALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA Y SOLDADORES

Objeto y alcance

Esta Sección contiene requisitos acerca de la cualificación de soldadores, operadores de máquinas automáticas de soldadura y soldadores de soldadura fuerte capilar “brazing” y respecto a la homologación de los procedimientos correspondientes de soldadura y soldadura fuerte capilar. Dicho más claramente para evitar equívocos, esta sección no contiene reglas sobre cómo elaborar un procedimiento de soldadura, que será objeto de la ingeniería correspondiente, sino de cómo cualificar ese procedimiento para que sea aceptable. Igualmente sucede en lo referente a los soldadores.

Edición y adenda aplicables

Debido a la evolución constante en materiales y técnicas, la sección IX está sometida a frecuentes revisiones y cambios. Esta característica hace que en la Sección IX, a diferencia de otras secciones del Código, tenga carácter mandatorio la utilización de la última edición y adendas emitidas, si bien se respetan las homologaciones y cualificaciones efectuadas con anterioridad.

Estructura básica de la sección IX

Se divide en dos partes:

- **Parte QW. Soldadura (Welding)**

- Artículo I. Requisitos generales de soldadura**
- Artículo II. Homologaciones de procedimientos de soldadura**
- Artículo III. Cualificaciones de soldadores y operadores de máquinas automáticas de soldadura**
- Artículo IV. Parámetros de soldadura**
- Artículo V. Especificaciones de procedimientos de soldadura**

- **Parte QB. Soldadura fuerte capilar (brazing)**

- Artículo XI. Requisitos generales para soldadura fuerte capilar**
- Artículo XII. Homologación de procedimientos**
- Artículo XIII. Cualificación de soldadores y operadores de máquinas automáticas de soldadura fuerte capilar**
- Artículo XIV. Parámetros de soldadura fuerte capilar**

Apéndice A a G. (Mandatorios A, E, F y el resto son No mandatorios).

Cada artículo se subdivide en una serie de párrafos que se designan con las letras QW ó QB, según se trate de soldadura o de soldadura fuerte capilar, seguido de un guión y un número de tres cifras en números árabes, la primera de las cuales coincide con el número del artículo, en la parte QW.

Resumen del contenido de la Sección IX

Se resume a continuación el contenido de la parte QW (soldadura) por ser la de más amplio uso. La parte QB es similar a la parte QW.

Artículo I: Requisitos generales

Entre la información y requisitos que recoge este artículo, los más importantes son:

- La edición y adenda del Código que son de aplicación.
- La responsabilidad de las homologaciones y cualificaciones, recayendo sobre el fabricante o contratista, el cual tiene la obligación de mantener los registros de las cualificaciones.
- Se indican las denominaciones de las diferentes orientaciones de soldaduras (plana, horizontal, bajo techo y vertical), con las figuras descriptivas correspondientes.
- Se indican las denominaciones de las diferentes posiciones de soldaduras para la cualificación de soldadores, según el tipo de unión a realizar (buttweld, groove weld (G) y esquina (F)) y según los materiales a unir (tubería, chapa, etc.) resultando las denominaciones 1G, 2G, 3G, 4G, 5G, 6G ó 1F, 2F, 3F, 4F, 5F, según cada caso, con las figuras descriptivas correspondientes.
- Se indican los tipos y el objeto de ensayos mecánicos y exámenes no destructivos que se realizarán para las homologaciones y cualificaciones de los procedimientos de soldadura y de los soldadores. Entre estos ensayos que aparecen descritos se encuentran:
 - Ensayos de tracción: que sirven para determinar la carga de rotura de las juntas soldadas con preparación de bordes, y se emplean para cualificar los procedimientos de soldadura.
 - Ensayos de plegado: que sirven para determinar la ductilidad y comprobar la existencia de defectos en las juntas soldadas.
 - Ensayos de resiliencia: Sirven para determinar la resistencia al impacto de la soldadura. Se realizan únicamente cuando así lo requiere alguna otra sección del código.
 - Exámenes radiográficos: sirven para determinar la existencia de defectos inadmisibles en la soldadura y se emplean básicamente para cualificar a los soldadores.

Estos ensayos mecánicos se realizan según lo establecido en el artículo IV, a excepción de los ensayos de impacto que se realizan siguiendo normativa ASTM y los radiográficos que siguen la Sección V.

Los criterios de aceptación para cualificar los procedimientos de soldadura y los soldadores, se encuentran establecidos en este artículo, excepto los ensayos de impacto que se establecen en la sección del código que requiere este tipo de ensayo.

Artículo II. Homologación de procedimientos de soldadura

Esta homologación tiene por objeto determinar que la soldadura propuesta para fabricación, cuyos parámetros están contenidos en la especificación del procedimiento de soldadura (WPS = welding procedure specification), tiene las cualidades previstas para su aplicación.

El artículo incluye:

- Definición, características y contenido mínimo de un WPS (especificación de procedimiento de soldadura). El artículo referencia un formato tipo de WPS, el cual no es mandatorio.
- Definición, características y contenido mínimo de un registro de cualificación de procedimiento, denominado PQR (Procedure Qualification Record). Este registro contiene los datos de la homologación de un procedimiento de soldadura, entendiendo por homologación el hecho de soldar unos cupones de ensayo, realizar determinados ensayos en probetas sacadas de estos cupones (descritos anteriormente) y certificar los resultados en dicho registro. El PQR debe estar certificado por el fabricante o contratista. El artículo referencia un formato tipo de PQR, el cual no es mandatorio.
- Responsabilidad de la homologación
- Tipos de ensayos requeridos
- Límites de las posiciones cualificadas
- Preparación del cupón de ensayo
- Variables de soldadura: En un proceso de soldadura existen diferentes tipos de parámetros, que se clasifican como variables esenciales, esenciales suplementarias y no esenciales, descritas todas ellas en esta sección del código según el tipo de soldadura a realizar. Cuando en un procedimiento de soldadura (WPS) realizado durante el proceso de fabricación se realiza algún cambio en una variable no esencial, simplemente se documenta dicho cambio en una revisión al WPS o se elabora un nuevo WPS, pero no se requiere una nueva cualificación de ese WPS revisado. Sin embargo, si se produce un cambio en una variable esencial del proceso de soldadura, se deberá elaborar un nuevo WPS, el cual requerirá la realización de nuevos ensayos y la emisión del PQR correspondiente.

Artículo III: Cualificación de soldadores

Esta cualificación tiene por objeto evaluar la habilidad de cada soldador u operario de máquina de soldadura para producir soldaduras sanas (sin discontinuidades o defectos inadmisibles) con una técnica de soldadura determinada y en determinadas posiciones.

El artículo incluye:

- Responsabilidad de la cualificación: cada fabricante o montador es el responsable de cualificar a los soldadores y operadores de máquina de acuerdo con WPSs homologados.
- Ensayos de cualificación: se definen los cupones que hay que preparar y las probetas que hay que mecanizar para realizar los ensayos mecánicos, los tipos de ensayos mecánicos y los exámenes radiográficos. Para la cualificación de soldadores se permite el examen radiográfico en la mayor parte de los procesos de soldadura.
- Registro de la cualificación, WPQ (Welding Performance Qualification): se establece el contenido que debe tener el registro de cualificación de los soldadores.
- Variables esenciales del soldador: son aquellos parámetros relativos a la realización de una soldadura que, cuando se cambian o modifican en una determinada magnitud, pueden influir en la calidad de la soldadura y el Código exige la recualificación del soldador. Variables esenciales clave en la cualificación de un soldador son el proceso de soldadura y la posición en la que se realiza. En el caso de los soldadores, no existen variables esenciales suplementarias ni variables no esenciales. Este artículo determina cuales son esos parámetros.
- Reensayos y recualificaciones: se explican las acciones a tomar cuando los ensayos mecánicos en una o más probetas o los exámenes radiográficos no satisfacen los criterios de aceptación. También se establecen los periodos de mantenimiento de las cualificaciones de los soldadores, las causas de anulación de las mismas y las pruebas requeridas para renovar cualificaciones que han caducado.

Artículo IV: Parámetros o variables de soldadura El

artículo contiene:

- Variables: se describen con detalle las modificaciones o cambios en los parámetros de soldadura que podrían constituir, para cada proceso de soldadura, cambio de variable esencial. También se indican las variables esenciales relativas a la cualificación de soldadores, especificadas para cada proceso de soldadura. Cualquier cambio de proceso de soldadura constituye cambio de variable esencial, tanto para la cualificación del procedimiento como del soldador.
- Números P: con objeto de reducir el número de parámetros a tener en cuenta en un procedimiento de soldadura, esta Sección IX agrupa los materiales base a unir (soldar) asignándoles un número P, atendiendo a su composición química, soldabilidad y propiedades mecánicas.

En general se puede afirmar que dos materiales con diferente número de especificación SA, pero pertenecientes al mismo grupo P, son equivalentes desde un punto de vista de soldabilidad, lo cual no quiere decir que se puedan intercambiar sin más durante las soldaduras de producción.

Adicionalmente, y dentro de cada número P, se asignan números de grupo a aquellos metales base que requieren ensayo de impacto. El cambio de grupo suele ser cambio de variable esencial suplementaria cuando la sección básica exige ensayos de impacto al material base.

Como ejemplos representativos cabe señalar que los aceros al carbono están dentro de los P-1 y los inoxidables tienen P-8.

- **Números F:** por razones similares a las que determinaron la agrupación de los materiales base en números P, los electrodos y varillas se agrupan en números F. Esta clasificación se basa esencialmente en el manejo o “usabilidad” de dicho material de aportación que es la característica que condiciona en gran parte al soldador para efectuar soldaduras satisfactorias. Estas características están muy estrechamente relacionadas con el tipo de revestimiento del electrodo. Esta agrupación no quiere decir, análogamente a lo que se dijo para los números P, que los metales de aportación dentro de un grupo pueden ser intercambiados en soldaduras de producción, sino que además habrá que tener en cuenta los requisitos de diseño y servicio, propiedades metalúrgicas, etc.
La clasificación en números F viene establecida por aceros y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones, aluminio y sus aleaciones, etc.
- **Números A:** se refieren a la composición química del metal de aportación depositado cuya marca y especificación se ha indicado en la especificación del procedimiento de soldadura (WPS) y en el registro de cualificación del procedimiento (PQR). Aplica a los materiales ferreos y la composición será tal que al material en cuestión le corresponderá un número A. El cambio de número A puede constituir o no cambio de variable, lo cual viene señalado en el párrafo correspondiente.
- **Tablas y figuras:** el artículo incluye una serie de tablas y figuras relativas a características de las probetas de ensayo (tipo, número, dimensiones) y rangos de espesores cualificados en función del espesor de cupón de ensayo, en función del tipo de soldadura (con preparación de bordes o en filete) y en función del producto a soldar (chapa o tubo). También hay tablas y gráficos que explican y aclaran las distintas posiciones de soldadura (plana, horizontal, vertical y techo) y las posiciones en las que podría soldar un soldador cualificado en una o varias posiciones para un determinado proceso de soldadura sin constituir un cambio de variable esencial en su cualificación, es decir, hay posiciones que cualifican para soldar en otras sin que el soldador tenga que someterse a un nuevo proceso de cualificación.
- **Ataque químico para macros:** se indican los procesos a seguir para realizar los macros cuando así se requiere en el artículo I.

Artículo V: Especificación procedimientos de soldadura

El artículo contiene:

- **Criterios para definir la especificación del procedimiento de soldadura, formatos**

aceptables y requisitos de los cupones de soldadura.

SECCIÓN XI REGLAS PARA INSPECCIÓN EN SERVICIO DE COMPONENTES DE CENTRALES NUCLEARES

Objeto y alcance

Esta sección establece las reglas para realizar inspecciones preoperacionales y en servicio de los componentes de centrales nucleares. La aplicación de esta sección empieza cuando se han satisfecho los requisitos aplicables del código de construcción, es decir, los incluidos en las subsecciones correspondientes de la sección III.

Estas reglas aplican a los componentes nucleares de clases 1, 2, 3 y a sus soportes, a los componentes de clase MC (Metal Containment) y CC (Concrete components). El alcance se extiende tanto a los componentes de centrales nucleares refrigeradas por agua como a las refrigeradas por gas o metal líquido.

En cuanto a los requisitos aplicables a las pruebas funcionales de bombas, válvulas y amortiguadores, que hasta la edición de 1998 hasta la adenda de 2000 se incluían en las subsecciones IWP, IWV e IWF, respectivamente, han sido agrupados en el código ASME OM “Code for Operation and Maintenance of Nuclear Power Plants”.

El cumplimiento de los requisitos establecidos en esta sección tiene por objeto conseguir un funcionamiento fiable y seguro de las centrales nucleares, así como unas entradas en servicio rápidas y seguras después de las paradas de recarga necesarias. Para cumplir estos objetivos las reglas exigen, como requisitos básicos y preliminares, el establecimiento de un programa mandatorio de inspecciones y pruebas.

Estructura general de la Sección XI

La Sección XI consta de tres divisiones:

- División 1: reglas para la inspección y pruebas de componentes de centrales nucleares refrigeradas por agua ligera.
- División 2: reglas para la inspección y pruebas de componentes de centrales nucleares refrigeradas por gas.
- División 3: reglas para la inspección y pruebas de componentes de centrales nucleares refrigeradas por metal líquido.

Cada División se estructura en subsecciones, designadas por letras mayúsculas, precedidas por las letras IW para la División 1, IG para la División 2 e IM para la División 3. Dado que en el momento actual en España solo se dispone de centrales nucleares refrigeradas por agua ligera, nos centraremos exclusivamente en la estructura y contenido de la División 1.

Estructura de la División 1

Consta de las siguientes subsecciones:

IWA: Requisitos generales

IWB: Requisitos aplicables a componentes de clase 1

IWC: Requisitos aplicables a componentes de clase 2

IWD: Requisitos aplicables a componentes de clase 3

IWE: Requisitos aplicables a componentes de clase MC y “liners” metálicos de contenciones de hormigón

IWF: Requisitos aplicables a soportes de componentes de clase 1, 2, 3 y MC

IWL: Requisitos aplicables a componentes de hormigón clase CC

Apéndices mandatorios de la División 1

Apéndices no mandatorios de la División 1

Estructura de las subsecciones:

Cada subsección consta de artículos, subartículos, subsubartículos, párrafos, subpárrafos y subsubpárrafos.

Los artículos se identifican con las letras mayúsculas correspondientes a la subsección correspondiente, seguidas de números árabes, por ejemplo, IWA- 1000. En general, los artículos que tratan el mismo tema llevan el mismo número en cada subsección, de acuerdo con el siguiente esquema:

Artículo nº	Título
1000	Objeto y responsabilidades
2000	Examen e inspección
3000	Normas de aceptación para aceptación de discontinuidades 4000
	Procedimientos de reparación
5000	Pruebas de presión de sistemas
6000	Registros e informes
7000	Piezas de repuesto ó sustituciones

Los subartículos están numerados en centenas (IWA-1100), los subsubartículos en decenas (IWA-2410) y los párrafos en unidades (IWA- 2211). Los subpárrafos, cuando constituyen una subdivisión importante del párrafo, se designan añadiendo un punto decimal seguido de uno o más dígitos (IWB-3122.1).

Referencias

En esta Sección XI puede haber referencias a otras partes de la misma Sección, a otras secciones o a otra normativa. Las referencias a otras partes de esta sección son muy explícitas y afectan totalmente al contenido de las mismas. Por ejemplo, si la referencia se hace a un párrafo solamente afecta lo que indique en él y si se refiere a un subpárrafo únicamente se tendrá en cuenta lo establecido en dicho subpárrafo. En las referencias a otras normativas cabe señalar que en las ultimas ediciones de esta Sección XI las subsecciones IWP e IWV, referentes a bombas y válvulas respectivamente, se han vaciado de contenido totalmente,

referenciando la norma ASME OM (Operation and Maintenance) para todos los requisitos de prueba referentes a estos componentes.

Estructura y resumen del contenido de las subsecciones de la División 1

Subsección IWA. Requisitos generales

Consta de siete artículos como ya se señaló anteriormente con carácter general, siendo el título del artículo IWA-3000 “Normas para la evaluación de exámenes no destructivos” en vez de “Normas de aceptación para indicaciones de discontinuidades”, dado que en esta sección se establecen los requisitos generales.

Cada artículo tiene el siguiente contenido: IWA-1000.

Objeto y responsabilidades

Se señala que el objeto de la División es establecer reglas y requisitos para la inspección y pruebas en servicio de centrales de agua ligera, incluyendo requisitos para el diseño, fabricación, instalación e inspección de repuestos.

Se señala la jurisdicción relativa a la aplicación de esta División y aspectos de accesibilidad para los inspectores autorizados.

Se señala la clasificación de los componentes, indicando que los requisitos de IWB aplicarán a los componentes Clase 1, los de IWC a los de Clase 2 y los de IWD a los de clase 3.

Se establecen las responsabilidades del propietario de la central nuclear, que comienzan por determinar la clasificación de cada componente, identificar fronteras entre sistemas de distinta clase, definir los componentes exceptuados de inspección en servicio, preparar los planes de inspección y procedimientos escritos de exámenes no destructivos (END), verificar la calificación del personal que ejecuta los END, realizar los END y pruebas requeridas, etc.

IWB-2000. Examen e inspección

Se señalan las responsabilidades y derechos del inspector.

Se definen los métodos de examen no destructivo que clasifica en tres grupos: visuales, superficiales y volumétricos. Los métodos a utilizar en el examen de cada componente se especifican en las tablas IWB/C/D/E y F-2500.1.

Se hace una clasificación de los exámenes visuales en VT-1, VT-2, VT-3 y VT-4 según el objeto de la inspección. Así, por ejemplo, el examen VT-2 se emplea para detectar fugas durante las pruebas de presión de un componente.

Los exámenes superficiales se emplean para determinar la presencia de discontinuidades superficiales. Los más empleados son los líquidos penetrantes y las partículas magnéticas. Los exámenes volumétricos se emplean para determinar discontinuidades internas del componente o superficiales en la cara opuesta a la que se realiza el examen. Los más empleados son los ultrasonidos, la radiografía y las corrientes inducidas (para

tubos de espesor muy pequeño, ya que en otro caso se considera un examen superficial).

Se establece la necesidad de cualificación del personal que realiza exámenes no destructivos, referenciando la normativa que se deberá seguir para obtener tal cualificación.

Se establece el programa de inspección, con su contenido mínimo y la agenda de realización de exámenes y pruebas. Se definen los intervalos de inspección dando dos alternativas en cuanto a la duración y distribución de los mismos. El seguido por las centrales españolas es el designado como plan de inspección B, consistente en cuatro intervalos de 10 años cada uno; es decir, cada 10 años se deben examinar el 100% de los componentes incluidos en el plan de inspección.

IWA-3000. Criterios para evaluación de los exámenes no destructivos

La evaluación de discontinuidades según ASME XI responde a un criterio distinto a los establecidos en otras secciones y que, en general, consiste en caracterizar las discontinuidades mediante las dimensiones de rectángulos o cuadrados circunscritos a las mismas y aplicando después los criterios de aceptación de la subsección correspondiente (IWB, IWC, IWD, IWE ó IWF, artículo 3000).

Las discontinuidades detectables se reducen a los grupos siguientes: planas, no planas, laminares y lineales. A su vez, las discontinuidades planas se pueden considerar superficiales o subsuperficiales y por último las discontinuidades se pueden considerar aisladas o agrupadas.

IWA-4000. Procedimientos de reparación

Este artículo contiene las reglas y requisitos para reparar los componentes que retienen presión y sus soportes, así como para reparar las estructuras soportes del núcleo. Se requiere que las reparaciones se hagan de acuerdo con un programa que incluya los requisitos esenciales del ciclo completo de la reparación, incluyendo el método de END que detectó el defecto, el método de eliminación, el procedimiento de soldadura y tratamiento térmico posterior, si aplica, y el programa de ENDs a realizar después de la reparación. Se establece que después de la reparación se realizará una prueba hidrostática del sistema, de acuerdo a IWA-5000.

IWA-5000. Pruebas de presión

Este artículo describe la forma de realizar las pruebas de presión a los diferentes sistemas dentro del alcance de prueba y los exámenes visuales VT-2 a realizar durante las mismas. Se establece la presión, tiempo de mantenimiento de la misma y las responsabilidades del inspector autorizado y

medidas correctoras, que son complementadas con los artículos correspondientes de IWB, IWC o IWD.

IWA-6000. Registros e informes

Se establecen los requisitos para la retención de los registros e informes generados durante la construcción así como durante las inspecciones preservicio y en servicio.

IWA-7000. Sustituciones

Se establecen las responsabilidades de la Propiedad en cuanto a la preparación y emisión de las especificaciones, incluyendo requisitos de diseño, fabricación y examen. Se exige la realización de una inspección preservicio de los componentes o partes sustituidas, incluyendo sus elementos de unión.

Subsección IWB. Requisitos para componentes clase 1

Consta de seis artículos que siguen el esquema general citado anteriormente con la ausencia del artículo IWB-6000 que no existe.

IWB-1000. Objeto y responsabilidades

Se señala que aplica a componentes de clase 1 y se indican las excepciones a este criterio, es decir, los componentes que aún siendo clase 1 están exentos de las inspecciones establecidas en esta subsección, como por ejemplo tuberías de 1", etc.

IWB-2000. Examen e inspección

Se establecen los exámenes a efectuar durante la inspección preservicio. Se establecen los programas de inspección a desarrollar durante los 40 años de la vida de la central, estableciendo dos alternativas: programa A y programa B, siendo este último el adoptado por todas las centrales españolas, y consistente en cuatro intervalos de 10 de duración cada uno al cabo de cada uno de los cuales se deben de haber inspeccionado todos los componentes dentro del alcance del programa de inspección, estableciendo asimismo unos porcentajes mínimos y máximos de inspecciones a realizar en tres hitos de cada uno de estos intervalos, a los que se les denomina periodos de inspección, y que tienen lugar al 3º, 7º y 10º año del intervalo de inspección.

Este artículo incluye los requisitos de prueba y examen de cada uno de los componentes incluidos en el alcance del programa de inspección, en la tabla IWB-2500.1, a los que clasifica en categorías y dentro de éstas en *items*, señalando para cada *item* el tipo de exámenes a realizar (visual, superficial, volumétrico) o pruebas. Se define igualmente la zona sujeta a examen, haciendo referencia a figuras explicativas.

IWB-3000. Criterios de aceptación de discontinuidades

Se establecen las normas de aceptación de los exámenes volumétricos, superficiales y visuales que se realizan a los componentes dentro del alcance establecido en el programa de inspección según los criterios del artículo anterior y los de los exámenes preservicio.

También se especifican las distintas alternativas de aceptación de aquellos componentes que al ser examinados excedan los límites de aceptación, siendo: reparación del componente, sustitución del mismo o aceptación mediante una evaluación analítica, p. ej. mecánica de la fractura, remitiendo al Apéndice C (no mandatorio) para su realización. Los criterios de aceptación y rechazo establecidos en este artículo se basan en el dimensionamiento establecido en IWA-3000.

IWB-4000. Procedimientos de reparación

Incluye las reglas y requisitos para la reparación de componentes, modo de eliminación de defectos y forma de soldar, así como los tratamientos térmicos y exámenes a realizar. Contiene criterios relacionados con la homologación de procedimientos de soldadura y la cualificación de soldadores.

IWB-5000. Pruebas de presión y de fugas

Establece los requisitos de prueba de los componentes requeridos a la misma, definidos según el artículo IWB-2000, incluyendo presión de prueba en función de la temperatura, tiempo de prueba, etc.

IWB-7000. Sustituciones

Contiene las reglas y requisitos para la instalación de sustituciones o repuestos.

Subsección IWC. Requisitos para componentes clase 2

Consta también de seis artículos y tiene una estructura similar o idéntica a la subsección IWB, pero aplicada a componentes que se hayan clasificado como de clase 2 y a sus soportes integrales.

Subsección IWD. Requisitos para componentes clase 3

Consta también de seis artículos y tiene una estructura similar o idéntica a las subsecciones IWB e IWC, pero aplicada a componentes que se hayan clasificado como de clase 3 y a sus soportes integrales.

Subsección IWE. Requisitos para componentes clase MC

Establece las reglas y requisitos para inspección en servicio, reparación y sustituciones de los componentes que retienen presión y sus soportes

integrales de clase MC y para las partes de acero de los componentes que retienen presión de clase CC que no estén cubiertos por hormigón y sus soportes integrales.

Consta también de seis artículos con una estructura similar a la de las subsecciones anteriores.

Subsección IWF. Requisitos para soportes de componentes clase 1, 2, 3 y MC

Establece las reglas y requisitos para inspección en servicio, reparación y sustituciones de los soportes de componentes de clase 1, 2, 3 y MC. Consta también de seis artículos con una estructura similar a la de las subsecciones anteriores.

Subsección IWL. Requisitos para componentes de hormigón clase CC

Establece las reglas y requisitos para inspección en servicio, reparación y sustituciones de los componentes de hormigón clase CC. Consta también de seis artículos con una estructura similar a la de las subsecciones anteriores, si bien algunos de estos artículos todavía están en fase de desarrollo en la edición del Código aplicable a la inspección en servicio de la mayoría de las centrales españolas.