SECRETARIA DE ENERGIA

NORMA Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.

ODÓN DEMÓFILO DE BUEN RODRÍGUEZ, Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, con fundamento en los artículos: 33 fracción X de la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal; 1, 6, 7 fracción VII, 10, 11 fracciones IV y V y Quinto transitorio de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, 1, 38 fracciones II y IV, 40 fracciones I, X y XII, 41, 44, 46, 47 y 51 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 28 y 34 del Reglamento de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización; 2 inciso F, fracción IV, 8 fracciones XIV, XV y XXX, 26 y 27 del Reglamento Interior de la Secretaría de Energía y ACUERDO por el que se delegan en el Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, las facultades que se indican, publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 21 de julio de 2014; expide la siguiente:

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-009-ENER-2014, EFICIENCIA ENERGÉTICA EN SISTEMAS DE AISLAMIENTOS TÉRMICOS INDUSTRIALES

Que la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, define las facultades de la Secretaria de Energía, entre las que se encuentra la de expedir normas oficiales mexicanas que promueven la eficiencia del sector energético;

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización señala como una de las finalidades de las normas oficiales mexicanas el establecimiento de criterios y/o especificaciones que promuevan el mejoramiento del medio ambiente, la preservación de los recursos naturales y salvaguardar la seguridad al usuario;

Que habiéndose cumplido el procedimiento establecido en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización para la elaboración de proyectos de normas oficiales mexicanas, el Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos, ordenó la publicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-009-ENER-2013, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales; lo que se realizó en el Diario Oficial de la Federación el 10 de julio de 2013, con el objeto de que los interesados presentaran sus comentarios al citado Comité Consultivo que lo propuso;

Que durante el plazo de 60 días naturales contados a partir de la fecha de publicación de dicho proyecto de Norma Oficial Mexicana, la Manifestación de Impacto Regulatorio a que se refiere el artículo 45 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización estuvo a disposición del público en general para su consulta; y que dentro del mismo plazo, los interesados presentaron comentarios sobre el contenido del citado proyecto de Norma Oficial Mexicana, mismos que fueron analizados por el Comité, realizándose las modificaciones conducentes al proyecto de NOM. Las respuestas a los comentarios recibidos fueron publicadas, el 2 de julio de 2014, en el Diario Oficial de la Federación;

Que la Ley Federal sobre Metrología y Normalización establece que las normas oficiales mexicanas se constituyen como el instrumento idóneo para la prosecución de estos objetivos, se expide la siguiente Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-2014, Eficiencia energética en sistemas de aislamientos térmicos industriales.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 22 de julio de 2014.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, **Odón Demófilo de Buen Rodríguez**.- Rúbrica.

PREFACIO

Esta Norma Oficial Mexicana fue elaborada por el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), con la colaboración de los siguientes organismos, instituciones y empresas:

- Aislamientos y Refractarios Diversos, S.A. de C.V.
- Asociación de Empresas para el Ahorro de la Energía en la Edificación, A.C. (AEAEE).
- Comisión Federal de Electricidad (CFE).
- Control Térmico Industrial, S.A. de C.V.

- Efiterm, S.A. de C.V.
- Fanosa, S. A. de C. V.
- Frica Construcciones, S.A. de C.V.
- ICA Flúor, S. de R.L. de C.V.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE).
- Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
- KAEFER Aislamientos, S.A. de C.V.
- Nutec Fibratec, S.A. de C.V.
- Owens Corning México, S. de R.L. C.V.
- Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios (PEMEX).
- Pittsburg Corning Corporation.
- Proveedora Iberoamericana de Servicios y Representaciones Comerciales, S.A. de C.V. (Proideserco).
- Rolan Aislantes Minerales, S.A. de C.V.
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

CONTENIDO

0. Introducción

1. Objetivo

2. Campo de aplicación

- **2.1.** Alta temperatura
- **2.2.** Baja temperatura
- **2.3.** Excepciones

3. Referencias

4. Definiciones

5. Especificaciones

- **5.1.** Sistemas de aislamientos térmicos industriales para tuberías y equipos que operen a altas temperaturas
- **5.2.** Sistemas de aislamientos térmicos industriales para tuberías y equipos que operen a bajas temperaturas

6. Criterio de aceptación

- **6.1.** Alta temperatura
- **6.2.** Baja temperatura

7. Método de cálculo

8. Vigilancia

9. Procedimiento de la evaluación de la conformidad

10. Bibliografía

11. Concordancia con normas internacionales

12. Transitorios

Apéndice normativo

A. Método de cálculo de la densidad de flujo térmico

0. Introducción

Las pérdidas de calor en los procesos que operan a altas temperaturas y las ganancias de calor en los procesos que operan a bajas temperaturas, ocasionan costos de importancia, ya que la relación de estos costos es directa con un mayor consumo de combustible y/o electricidad, afectando así a la productividad de la industria.

Resulta indispensable asumir un compromiso con el cuidado del medio ambiente, y se ha demostrado que los compuestos derivados de la quema de combustibles fósiles, contribuyen al deterioro del medio ambiente causando, entre otros efectos negativos, el sobrecalentamiento del planeta y la lluvia ácida.

También es necesario considerar la importancia que tiene la preservación de los recursos energéticos, debido a que éstos provienen en su mayor parte de recursos naturales no renovables.

Se debe entonces aumentar la eficiencia en el uso de la energía, para evitar en lo posible el deterioro ambiental y obtener los beneficios económicos que de ellos derivan para la industria, al reducirse sus costos de operación. Para lograr lo anterior se hace uso de diversos sistemas termoaislantes para disminuir, de manera importante las pérdidas y/o ganancias de calor, evitar condiciones de riesgo para el personal y proteger al equipo.

1. Objetivo

Esta Norma Oficial Mexicana establece la eficiencia energética de los sistemas de aislamientos térmicos industriales, a través de la máxima densidad de flujo térmico permitida y el método de prueba para determinarla, en tuberías y equipos de los procesos industriales nuevos y ampliaciones y modificaciones de los existentes, que operen a altas y bajas temperaturas dentro de los intervalos establecidos, que se instalen en la República Mexicana, independientemente del sistema termoaislante utilizado en la tubería o equipo industrial.

2. Campo de aplicación

Esta Norma Oficial Mexicana aplica a los sistemas de aislamientos térmicos industriales nuevos o las ampliaciones y modificaciones que se realicen después de la entrada en vigor de esta Norma Oficial Mexicana, que operen a alta y baja temperatura en los siguientes intervalos:

2.1. Alta temperatura: de 298 K (25°C) y hasta 923 K (650°C).

2.2. Baja temperatura: menores de 298 K (25°C) y hasta 73 K (-200°C).

2.3. Excepciones.

Esta Norma Oficial Mexicana no aplica a:

2.3.1. Sistemas de aislamientos térmicos industriales de tuberías o equipos industriales que por razones del proceso o diseño deban radiar calor o ganar calor del medio.

2.3.2. Tuberías y equipos industriales instalados con anterioridad a la fecha de declaratoria de vigencia de esta Norma Oficial Mexicana en el Diario Oficial de la Federación (DOF) o tuberías y equipos de reemplazo de existentes que conserven las mismas condiciones y características originales del diseño del proceso y del sistema termoaislante.

3. Referencias

Para la correcta aplicación de esta Norma Oficial Mexicana se debe consultar la siguiente norma vigente o la que la sustituya:

- NOM-008-SCFI-2002, Sistema General de Unidades de Medida.

4. Definiciones

Para efectos de esta Norma Oficial Mexicana se establecen las siguientes definiciones.

4.1. Densidad de flujo térmico. Cantidad de calor transferido del equipo o tubería al medio ambiente, o del medio ambiente al equipo o tubería.

4.2. Diámetro nominal (DN). Número adimensional utilizado con fines de identificación del tamaño de los tubos.

4.3. Superficie plana. Superficie de los tubos o paredes con diámetro exterior mayor a 750 mm (NPS 30) y paredes planas (S.P.**).**

4.4. Máxima densidad de flujo térmico. Valor máximo permitido por esta Norma Oficial Mexicana, de la densidad de flujo térmico para una tubería o equipo independientemente del sistema termoaislante utilizado, o

no utilizado; expresada en W/m para tuberías (máxima densidad de flujo térmico lineal) o en W/m^2 para equipos (máxima densidad de flujo térmico), establecido en las tablas 1 y 2, en función de la temperatura de operación y el diámetro nominal de la tubería o equipo.

4.5. Tamaño nominal del tubo (NPS). "Nominal Pipe Size" utilizado en el Sistema Anglosajón de Medidas, que relaciona las medidas de un tubo o de tuberías en pulgadas.

4.6. Temperatura de operación. Temperatura del fluido, sustancia o producto contenido o conducido, en la tubería o equipo industrial.

5 Especificaciones

5.1. Sistemas de aislamientos térmicos industriales para tuberías y equipos que operen a altas temperaturas.

En la Tabla 1 se establece la máxima densidad de flujo térmico para tuberías y equipos con o sin un sistema termoaislante que opera a alta temperatura.

El valor de la máxima densidad de flujo térmico de la Tabla 1, se obtiene con el cruce del diámetro nominal de la tubería (DN) o superficie plana (S.P.), con la temperatura de operación.

Tabla 1. Valores a Cumplir de Máxima Densidad de Flujo Térmico ALTA TEMPERATURA

TAMAÑO NOMINAL DE TUBERÍA		TEMPERATURA DE OPERACIÓN												
		Hasta 333 K (60°C)	Hasta 373 K (100°C)	Hasta 423 K (150°C)	Hasta 473 K (200°C)	Hasta 523 K (250°C)	Hasta 573 K (300°C)	Hasta 623 K (350°C)	Hasta 673 K (400°C)	Hasta 723 K (450°C)	Hasta 773 K (500°C)	Hasta 823 K (550°C)	Hasta 873 K (600°C)	Hasta 923 K (650°C)
NPS (Pulg.)	DN (mm)	MÁXIMA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO (nota 1)												
½	15	6	12	19	26	35	45	55	66	78	90	103	116	130
¾	20	7	13	20	28	36	47	58	71	86	97	111	126	138
1	25	8	15	22	32	41	50	64	78	90	105	122	132	148
1 ½	40	9	18	26	35	44	60	77	91	106	120	136	151	172
2	50	10	20	30	40	51	65	81	95	110	127	144	165	185
2½	65	11	23	33	44	56	71	88	104	119	138	158	180	202
3	80	13	24	39	49	61	77	98	113	129	152	176	192	212
4	100	15	27	43	55	69	90	107	128	149	173	193	221	240
5	125	18	31	47	62	75	95	114	137	159	186	204	235	261
6	150	20	35	52	70	85	105	126	145	170	194	219	250	278
8	200	24	42	62	81	100	122	148	165	195	222	255	288	326
10	250	29	48	70	90	112	139	164	184	217	254	286	322	375
12	300	33	53	77	102	125	155	183	207	241	274	318	360	403
14	350	38	60	84	111	136	165	196	219	259	292	338	389	430
16	400	42	65	92	124	150	179	214	243	281	319	370	412	473
18	450	46	72	101	136	164	196	230	263	306	342	390	445	498
20	500	50	79	111	149	175	210	246	285	328	367	422	478	533
22	550	54	85	120	158	186	224	261	304	348	390	450	505	568
24	600	58	93	130	168	200	233	275	325	373	413	468	532	607
26	650	64	100	140	182	210	248	293	346	395	441	495	564	646
28	700	70	107	150	193	221	263	312	368	418	469	527	596	675
30	750	80	113	158	200	235	277	337	385	437	494	557	626	702

S.P (nota 2)	30	42	58	72	81	92	105	115	128	143	159	180	207

Notas:

(1) La "Máxima Densidad de Flujo Térmico" se expresa en W/m para tuberías y en W/m^2 para superficies planas (S.P).

(2) Para fines de esta NORMA se considera como superficie plana, a la superficie de los tubos o paredes con diámetro exterior mayor a 750 mm (NPS30) y paredes planas o equipos, a las tuberías con DN mayor a 750 mm (30 pulg.).

(3) Las condiciones utilizadas para realizar los cálculos de la Transferencia de Calor Máxima fueron:

- Temperatura ambiente = 298 K (25 ºC).
- Velocidad de aire = 10 km/h.
- Emisividad = 0.1

5.2. Sistemas de aislamientos térmicos industriales para tuberías y equipos que operen a bajas temperaturas.

En la Tabla 2 se establece la máxima densidad de flujo térmico para tuberías y equipos con o sin un sistema termoaislante que opera a baja temperatura.

El valor de la máxima densidad de flujo térmico de la Tabla 2, se obtiene con el cruce del diámetro nominal de la tubería (DN) o superficie plana (S.P.), con la temperatura de operación.

Tabla 2. Valores a Cumplir de Máxima Densidad de Flujo Térmico BAJA TEMPERATURA

TAMAÑO NOMINAL DE TUBERÍA		TEMPERATURA DE OPERACIÓN								
		Hasta 273 K (0°C)	Hasta 248 K (-25°C)	Hasta 223 K (-50°C)	Hasta 198 K (-75°C)	Hasta 173 K (-100°C)	Hasta 148 K (-125°C)	Hasta 123 K (-150°C)	Hasta 98 K (-175°C)	Hasta 73 K (-200°C)
NPS (Pulg.)	DN (mm)	MÁXIMA DENSIDAD DE FLUJO TÉRMICO (nota 1)								
½	15	3	6	8	10	12	14	15	16	17
3/4	20	3	6	8	10	13	15	16	17	18
1	25	3	6	9	11	14	15	17	19	20
1 ½	40	4	7	10	13	15	17	19	20	22
2	50	4	8	11	14	17	19	21	22	25
2½	65	4	8	12	15	18	20	22	24	29
3	80	5	9	14	17	20	23	25	27	29
4	100	6	11	15	19	21	24	26	29	31
5	125	6	12	18	22	24	27	29	31	33
6	150	7	14	19	22	25	28	31	34	37
8	200	8	16	19	24	28	32	34	37	39
10	250	9	18	22	27	31	35	38	41	43
12	300	10	20	24	29	33	37	41	43	46
14	350	11	21	26	32	36	41	44	46	48
16	400	12	23	26	32	38	42	46	50	54
18	450	13	23	30	36	40	46	49	52	55
20	500	14	24	31	37	41	47	51	54	57
22	550	15	25	32	38	42	48	52	55	58
24	600	17	28	35	41	45	51	55	59	62

26	650	17	28	35	42	46	53	58	62	67
28	700	18	29	37	44	48	55	60	63	67
30	750	19	30	38	45	49	56	60	64	68
S.P (nota 2)		8	9	11	13	15	17	19	22	25

Notas:

(1) La "Máxima Densidad de Flujo Térmico" se expresa en W/m para tuberías y en W/m^2 para superficies planas (S.P).

(2) Para fines de esta NORMA se considera como superficie plana, a la superficie de los tubos o paredes con diámetro exterior mayor a 750 mm (NPS30) y paredes planas o equipos, a las tuberías con DN mayor a 750 mm (30 pulg.).

(3) Las condiciones utilizadas para realizar los cálculos de la Transferencia de Calor Máxima fueron:

- Temperatura ambiente = 298 K (25 ºC).

- Velocidad de aire = 10 km/h.

- Emisividad = 0.1

6. Criterio de aceptación

6.1. Alta temperatura

Las tuberías o equipos independientemente del sistema termoaislante utilizado y que se encuentren dentro del campo de aplicación establecido en el Capítulo 2, cumplen con esta Norma Oficial Mexicana, si los resultados de densidad de flujo térmico obtenidos por la Unidad de Verificación acreditada y aprobada, no exceden los valores máximos de densidad de flujo térmico especificados en la Tabla 1 del inciso 5.1.

6.2. Baja temperatura

Las tuberías o equipos independientemente del sistema termoaislante utilizado y que se encuentren dentro del campo de aplicación establecido en el Capítulo 2, cumplen con esta Norma Oficial Mexicana, si los resultados de densidad de flujo térmico obtenidos por la Unidad de Verificación acreditada y aprobada, no exceden los valores máximos de densidad de flujo térmico especificados en la Tabla 2 del inciso 5.2.

7. Método de cálculo

El método de cálculo se incluye en el apéndice normativo único, Método de cálculo de la densidad de flujo térmico.

8. Vigilancia

La Secretaría de Energía, a través de la Comisión Nacional para Uso Eficiente de la Energía, conforme a sus atribuciones y en el ámbito de sus respectivas competencias, son las autoridades que estarán a cargo de vigilar el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana.

El cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana no releva ninguna responsabilidad en cuanto a la observancia de lo dispuesto en otras Normas Oficiales Mexicanas y reglamentos.

El incumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana, será sancionada conforme a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y demás disposiciones legales aplicables.

9. Procedimiento de la evaluación de la conformidad

De conformidad con los artículos 68 primer párrafo, 70 fracciones I y 73 de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, se establece el presente Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad.

9.1. Objetivo

Este Procedimiento para la Evaluación de la Conformidad (PEC), establece los lineamientos a seguir por las unidades de verificación.

9.2. Definiciones

9.2.1. Distorsión: Irregularidades que alteran los resultados de la medición de la densidad de flujo térmico, debido a variaciones en la temperatura ambiente, temperatura de operación, velocidad de viento, humedad relativa, lluvia y radiación solar.

9.2.2. Cálculo del sistema termoaislante: Procedimiento de cálculo realizado de acuerdo con la ISO 12241:2008 Thermal Insulation for Building Equipment and Industrial Installations — Calculation Rules (ver apéndice único).

9.2.3. Unidad de verificación: Persona física o moral, acreditada por una entidad de acreditación y aprobada por la autoridad competente, para verificar el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana, en términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

9.3. Disposiciones Generales

9.3.1. La evaluación de la conformidad de la presente Norma Oficial Mexicana debe ser realizada por una Unidad de Verificación acreditada y aprobada.

9.3.2. Este procedimiento de evaluación de la conformidad aplica a las actividades de verificación en el cumplimento de esta Norma Oficial Mexicana.

9.3.3. El interesado debe demostrar el cumplimiento de conformidad con esta Norma Oficial Mexicana con el dictamen expedido por una unidad de verificación acreditada y aprobada. Si es requerido, la unidad de verificación debe comprobar la vigencia de su acreditación y aprobación.

9.3.4. Las unidades de verificación debidamente acreditadas y aprobadas, para los efectos de esta Norma Oficial Mexicana, deben aceptar los certificados de la conductividad térmica de los materiales termoaislantes, emitidos por los Organismos de Certificación acreditados y/o reconocidos en los países de origen del material termoaislante.

9.3.5. Los instrumentos y aparatos que se usen para la evaluación de la conformidad deben estar calibrados por laboratorios acreditados y contar con el dictamen de calibración vigente de acuerdo con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

9.4. Procedimiento

La verificación, cuando sea posible, se debe iniciar aplicando la norma al proyecto del sistema de aislamiento térmico industrial, en forma conjunta con la unidad de verificación y el proyectista, antes de su instalación, para asegurarse que se cumpla con los requisitos de máxima densidad de flujo térmico de las Tablas 1 o 2.

9.4.1. Inspección visual

9.4.1.1. El interesado debe proporcionar a la unidad de verificación la siguiente información:

a) Datos generales del centro de trabajo (Razón social, giro, dirección).

b) Nombre, clave o designación.

c) Nombre genérico de la sustancia, producto o material procesado en la planta.

d) Dimensiones del proceso aislado: En tuberías, diámetro nominal, diámetro exterior, diámetro exterior del sistema termoaislante y longitud. En superficies planas: ancho, altura y longitud del exterior de las superficies y del sistema termoaislante.

e) Temperatura de operación del proceso (θ_{op}).

f) Temperatura de la superficie expuesta (θ_{se}).

g) Tipo de proceso industrial: alta temperatura o baja temperatura.

h) Conductividad térmica certificada o reconocida, de los materiales termoaislantes instalados (λ).

i) Espesor del material termoaislante (d).

9.4.1.2. La unidad de verificación debe recorrer las instalaciones para hacer una inspección visual de los equipos y tuberías con o sin sistema termoaislante para:

a) Verificar cuantitativamente el listado de tuberías y equipos, con lo instalado en el centro de trabajo.

b) Se debe de realizar una inspección visual del sistema termoaislante para identificar los puntos con evidentes pérdidas o ganancias de energía.

c) Determinar y en su caso registrar tuberías o equipos sin un sistema termoaislante.

9.4.1.3. La unidad de verificación debe dictaminar, con base a la inspección visual, los sistemas de aislamientos térmicos industriales de tuberías y equipos que deben ser reparados por el interesado, de acuerdo a la evidente fuga de energía, anotando en el acta las líneas y equipos que presentan dichas fugas.

9.4.1.4. La unidad de verificación en base a los resultados de la inspección visual, seleccionará los sistemas de aislamientos térmicos industriales de tuberías y equipos a evaluar como muestra representativa del sistema, de acuerdo a lo siguiente:

a) El 1% de todas las tuberías con sistema termoaislante que operan a alta temperatura, pero no menos de una tubería.

b) El 1% de todos los equipos con sistema termoaislante que operan a alta temperatura, pero no menos de un equipo.

c) El 1% de todas las tuberías con sistema termoaislante que operan a baja temperatura, pero no menos de una tubería.

d) El 1% de todos los equipos con sistema termoaislante que operan a baja temperatura, pero no menos de un equipo.

e) El 50% de las tuberías y equipos en servicio sin un sistema termoaislante.

9.5. Verificación de la temperatura exterior.

9.5.1. La unidad de verificación debe medir y registrar la temperatura exterior (θ_e) del sistema termoaislante, tomando lecturas de manera aleatoria, en la superficie exterior del sistema termoaislante o en la pared de la tubería o equipo, según corresponda.

9.5.2. La unidad de verificación antes de medir y registrar la temperatura exterior (θ_e) del sistema termoaislante de la tubería o equipo, debe verificar que:

a) Los procesos estén operando a sus condiciones normales de operación.

b) La temperatura ambiente del lugar de la verificación debe ser la temperatura ambiente de diseño con una variación de ± 3°C.

c) La velocidad del viento esté dentro del promedio anual, pero en ningún caso mayor de 20 km/h.

d) La humedad relativa esté dentro del promedio anual, pero en ningún caso mayor de 85%.

e) Las muestras a la intemperie no estén bajo la influencia de precipitaciones o radiación solar atípica.

En el caso de que una o más de las variables o condiciones anteriores no se cumplan, la medición de la temperatura exterior de la (θ_e) no debe realizarse y el verificador debe esperar a que las condiciones se cumplan o reprogramar la visita de mutuo acuerdo con el interesado, sin que ésta se demore más de 15 días hábiles.

9.5.3. Contando con la medición y registro de la temperatura exterior de todos los puntos de muestreo, el verificador revisará en la memoria de cálculo, lo siguiente:

a) Que el procedimiento de cálculo esté desarrollado de acuerdo con la ISO 12241:2008 Thermal Insulation for Building Equipment and Industrial Installations — Calculation Rules (ver apéndice normativo único).

b) Que el o los materiales termoaislantes, cuenten con el certificado de conductividad térmica, de acuerdo al subinciso 9.3.4 de esta Norma Oficial Mexicana.

c) Que el valor total de la densidad de flujo térmico calculado no sea mayor que el valor de la máxima densidad de flujo térmico de las Tablas 1 o 2 de esta Norma Oficial Mexicana, según corresponda.

d) Que la temperatura exterior del sistema termoaislante registrada, no sea superior a la correspondiente temperatura de la memoria de cálculo para alta temperatura o en su caso menor para baja temperatura.

Para las tuberías o equipos sin un sistema termoaislante el verificador determinará la densidad de flujo térmico utilizando la conductividad térmica del aire a las condiciones de presión, temperatura y humedad del centro de trabajo, con un espesor de película de 0.01 mm, de acuerdo con el subinciso 9.5.2 de esta Norma Oficial Mexicana.

9.5.4. La unidad de verificación debe dictaminar la conformidad de los sistemas de aislamientos térmicos industriales de las tuberías y equipos de muestreo con base al inciso anterior, anotando en acta las tuberías y equipos muestreados así como los valores comparados de cada muestra, la veracidad de los datos para el cálculo del sistema termoaislante como los resultados de los mismos.

9.6. Verificación de la máxima densidad de flujo térmico

9.6.1. La unidad de verificación debe revisar el cálculo de la densidad de flujo térmico de las tuberías (q_1) y equipos (q), con sistema termoaislante, si de la muestra tomada se determina que no cumple con las temperaturas de la superficie exterior, debe tomar una muestra adicional del mismo tipo de sistema termoaislante de manera aleatoria, en otro tramo de tubería o equipo por cada no conformidad por verificación de temperatura.

9.6.2. La unidad de verificación debe determinar la densidad de flujo térmico de cada muestra de acuerdo a lo siguiente.

Escanear toda la superficie de las muestras con una cámara termográfica, cuando las variables y condiciones del subinciso 9.5.2 se cumplan, para:

a) Detectar las áreas o puntos localizados de fugas de energía por mala instalación del sistema termoaislante, como son: puentes de energía, espesores insuficientes, filtraciones o infiltraciones, sellos o juntas inadecuadas, entre otros.

b) Detectar en el área el valor de temperatura más alto o bajo según corresponda, que no sean aéreas o puntos localizados de fuga de energía.

c) Medir y registrar la temperatura exterior (θ_e) del área con mayor o menor temperatura de la muestra, según corresponda, detectada por la cámara termográfica.

d) Registrar la temperatura de operación (θ_i) de la muestra, medida en el indicador de temperatura instalado en el equipo, o la del punto del área generalizada más próximo con mayor o menor temperatura según corresponda. Previa verificación de que el instrumento opera correctamente y que éste cuenta con su dictamen de calibración vigente en términos de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización.

e) Calcular la densidad de flujo térmico para equipos (q) o para tuberías (q_1) de acuerdo con la ISO 12241:2008 Thermal Insulation for Building Equipment and Industrial Installations — Calculation Rules (ver apéndice normativo único), utilizando las temperaturas (θ_e) y (θ_i) registradas, la conductividad térmica declarada del material termoaislante instalado, o en su caso la del aire a las condiciones de presión, temperatura y humedad del centro de trabajo y en su caso las variables y condiciones del subinciso 9.5.2.

f) Comparar el valor de la densidad de flujo térmico calculado por el verificador o unidad de verificación, con el valor de la máxima densidad de flujo térmico de las Tablas 1 o 2 de esta Norma Oficial Mexicana, según corresponda.

9.6.3. La unidad de verificación debe dictaminar y asentar en acta, las áreas o puntos localizados con fuga de energía anexando imágenes de la cámara termográfica que demuestran la fuga de energía, para que el interesado repare en consecuencia las mismas.

10. Bibliografía

- NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales.
- NMX-Z-013/1-1977, Guía para la redacción, estructuración y presentación de las normas mexicanas.
- NRF-034-PEMEX-2004, Aislamientos Térmicos para Altas Temperaturas en Equipos, Recipientes y Tubería Superficial.
- NRF-025-PEMEX-2009, Aislamientos Térmicos para Baja Temperatura, Petróleos Mexicanos.
- BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2007, Secretaría de Energía.
- MANUAL DEL INGENIERO QUÍMICO 2007, Perry R.H., Chilton C.H. McGraw-Hill, 7a. Edición.
- 3E PLUS INSULATION THICKNESS COMPUTER PROGRAM MANUAL 2008, Version 4.0 North American Insulation Manufacturers Association Naima.
- ISO 12241:2008, Thermal Insulation for Building Equipment and Industrial Installations — Calculation Rules.

11. Concordancia con normas internacionales

Esta Norma Oficial Mexicana concuerda parcialmente con los capítulos 3. Terms, definitions and Symbols y 4. Calculations methods for heats transfer, de la norma ISO 12241:2008 Thermal Insulation for Building Equipment and Indutsrial Installations – Calcultaion Rules.

12. Transitorios

Primero. La presente Norma Oficial Mexicana, cancela y sustituye a la Norma Oficial Mexicana NOM-009-ENER-1995, Eficiencia energética en aislamientos térmicos industriales, que fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de noviembre de 1995.

Segundo. La presente Norma Oficial Mexicana, entrará en vigor 120 días naturales después de su publicación en el Diario Oficial de la Federación y a partir de esa fecha, todos los sistemas térmicos industriales de tuberías y equipos de los procesos industriales nuevos o las ampliaciones de los mismos, comprendidos dentro del campo de aplicación de la Norma Oficial Mexicana, serán verificados con base a la misma.

Sufragio Efectivo. No Reelección.

México, D.F., a 22 de julio de 2014.- El Presidente del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE) y Director General de la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, **Odón Demófilo de Buen Rodríguez**.- Rúbrica.

Apéndice A

Normativo

Método de cálculo de la densidad de flujo térmico

A.1. Objetivo

Este apéndice normativo tiene como objetivo establecer la mayoría de las fórmulas utilizadas para calcular la densidad de flujo térmico, aunque para una explicación detallada de las mismas, se recomienda consultar *ISO 12241:2008, Thermal Insulation for Building Equipment and Industrial Installations — Calculation Rules* (Aislamiento Térmico para la Construcción de Equipos e Instalaciones Industriales - Reglas de Cálculo) de referencia.

A	área	m^2
A_r	factor de temperatura	K^3
$C´$	parámetro de espesor	m
C_r	coeficiente radiación	$W / m^2 . K^4$
C_p	calor específico a presión constante	kJ / kg. K
D	diámetro	mm
D	espesor	mm
H	altura	m
h	coeficiente de superficie de transferencia térmica	$W / m^2 . K$
l	longitud	m
m	massa	kg
$\dot{m}$	flujo másico	kg / h
P	perímetro	m
q	densidad de flujo térmico	W / m^2
q_d	densidad lineal de flujo térmico para ductos	W / m
q_l	densidad lineal de flujo térmico	W / m
R	resistencia térmica	$m^2 . K / W$
R_d	resistencia térmica lineal para ductos	m . K / W
R_l	resistencia térmica lineal	m . K / W
R_{le}	resistencia térmica lineal para superficies	m . K / W
R_S	resistencia de la superficie de transferencia térmica	$m^2 . K / W$
R_{sph}	resistencia térmica para una esfera hueca	K / W
t_{fr}	tiempo congelación	h
t_v	tiempo de enfriamiento	h

t_{WP}	tiempo donde comienza la congelación	h
T	temperatura termodinámica	K
U	transmitancia térmica	W / m^2. K
U_l	transmitancia térmica lineal	W / m . K
U_{sph}	transmisión térmica para una esfera hueca	W / K
U_B	transmisión térmica de puentes térmicos	W / m^2. K
ΔU_B	término adicional, correspondiente o relativo a la instalación y/o relativamente irregular del aislamiento de los puentes térmicos.	W / m^2. K
U_T	transmitancia térmica total para una pared plana	W / m^2. K
$U_{T,l}$	transmitancia térmica lineal total	W / m . K
$U_{T,sph}$	transmitancia térmica total para una esfera hueca	W / K
v	velocidad del aire	m / s
z , y	factores de corrección para aislamientos irregulares de puentes térmicos	-
z *, y *	factores de corrección para la instalación de puentes térmicos	-
α	coeficiente de caída de temperatura longitudinal	m^{-1}
α'	coeficiente de tiempo de enfriamiento	h^{-1}
Δh_{fr}	entalpía específica del calor latente de congelación	kJ / kg
E	emisividad	-
Φ	caudal térmico	W
λ	conductividad térmica de diseño	W / m . K
λ_d	conductividad térmica declarada o manifestada	W / m . K
θ	temperatura Celsius	°C
Δθ	diferencial de temperatura	K
ρ	densidad	kg / m^3
φ	humedad relativa	%
σ	constante de Stefan-Boltzmann	W / m^2 K^4

Conducción térmica

La densidad de flujo térmico, q , para una pared plana en la dirección, x ,se calcula con la ecuación (1):

$$q = -\lambda \frac{\mathrm{d}\theta}{\mathrm{d}x} \qquad (1)$$

Para una sola capa, se calcula con las ecuaciones (2) y (3):

$$q = \frac{\lambda}{d} (\theta_{si} - \theta_{se}) \qquad (2)$$

$$q = \left(\frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R} \right) \qquad (3)$$

Donde:

λ = Conductividad térmica de diseño del aislamiento

d = Espesor de la pared plana

θ_{si} = Temperatura de la superficie interna

θ_{se} = Temperatura de la superficie externa

R = Resistencia térmica de la pared

Para un aislamiento multicapas, q, se calcula de acuerdo a la ecuación (4):

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R'} \qquad (4)$$

Donde, R´, es la resistencia térmica del aislamiento multicapas, se calcula con la ecuación (5):

$$R' = \sum_{j=1}^{n} \frac{d_j}{\lambda_j} \qquad (5)$$

La densidad lineal del flujo térmico, q_l, de un cilindro hueco con una sola capa, se calcula con la ecuación (6):

$$q_l = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_l} \qquad (6)$$

Para un cilindro hueco multicapas, la densidad linear del flujo térmico, q_l, se calcula con la ecuación (8):

$$q_l = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R'_l} \qquad (8)$$

La densidad lineal del flujo térmico, q_d , a través de la pared de un ducto con sección transversal rectangular, se calcula con la ecuación (14):

$$q_d = \frac{\theta_{si} - \theta_{se}}{R_d} \qquad (14)$$

Coeficiente de superficie de transferencia térmica

En general, el coeficiente de superficie de transferencia térmica, h, se calcula con la ecuación (17):

$$h = h_r + h_{cv} \qquad (17)$$

Resistencia de la superficie externa

Para paredes planas, la resistencia de la superficie, R_{se} , se calcula con la ecuación (32):

$$R_{se} = \frac{1}{h_{se}} \qquad (32)$$

Para aislamiento de tuberías, la resistencia térmica lineal de superficie, R_{le} , se calcula con la ecuación (33):

$$R_{le} = \frac{1}{h_{se} \pi D_e} \quad (33)$$

Transmitancia térmica

La transmitancia térmica, U, se calcula con la ecuación (35):

$$U = \frac{q}{\theta_i - \theta_a} \quad (35)$$

Donde:

θ_a= Temperatura ambiente externa

θ_i= Temperatura del aire interna a la pared plana o la temperatura interna media para tuberías, ductos y recipientes

Para paredes planas, la transmitancia térmica, U, se calcula con la ecuación (36)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i} + R + \frac{1}{h_{se}} \quad (36)$$

$$= R_{si} + R + R_{s\theta}$$

$$= R_T$$

Para aislamiento de tuberías, la transmitancia térmica lineal, U_l , se calcula con la ecuación (37):

$$\frac{1}{U_l} = \frac{1}{h_i \pi D_i} + R_l + \frac{1}{h_{se} \pi D_e} \quad (37)$$

$$= R_{li} + R_l + R_{le}$$

$$= R_{T,l}$$

Para ductos rectangulares, la transmitancia térmica lineal, U_d , se calcula con la ecuación (38):

$$\frac{1}{U_d} = \frac{1}{h_i P_i} + R_d + \frac{1}{h_e P_e} \quad (38)$$

$$= R_{T,d}$$

Determinación de la transmitancia térmica total

Para paredes planas, la transmitancia térmica total, U_T, se calcula con la ecuación (40):

$$U_T = U + \Delta U_B \quad (40)$$

Para las tuberías, la transmitancia térmica lineal total, $U_{T,l}$, se calcula con la ecuación (41):

$$U_{T,l} = U_l + \Delta U_{B,l} \quad (41)$$

Temperaturas de los límites de la capa

La ecuación general para la densidad del flujo térmico en una pared multicapas se calcula con las ecuaciones (43) y (44).

$$q = \frac{\theta_i - \theta_a}{R_T} \quad (43)$$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \ldots + R_n + R_{se} \quad (44)$$

Donde $R_1 \ldots R_n$ son las resistencias térmicas de las capas individuales y R_{si} y R_{se} son las resistencias térmicas de superficie de las superficies internas y externas, respectivamente.

La relación entre la resistencia de cada capa o la resistencia de la superficie con respecto a la resistencia total da una medida del cambio de temperatura a través de la capa o superficie en particular, expresada en, K, y se calcula con las ecuaciones (45) a (48):

$$\theta_i - \theta_{si} = \frac{R_{si}}{R_T}(\theta_i - \theta_a) \quad (45)$$

$$\theta_{si} - \theta_1 = \frac{R_1}{R_T}(\theta_i - \theta_a) \quad (46)$$

$$\theta_1 - \theta_2 = \frac{R_2}{R_T}(\theta_i - \theta_a) \quad (47)$$

$$\theta_{se} - \theta_a = \frac{R_{se}}{R_T}(\theta_i - \theta_a) \quad (48)$$

R_T está calculada para paredes planas de acuerdo con la ecuación (36), para tuberías cilíndricas de acuerdo a la ecuación (37), para ductos rectangulares de acuerdo con la ecuación (38).

Temperatura de la superficie

El parámetro de espesor, C ', se calcula con las ecuaciones (49) y (50):

$$C' = 2\lambda\left[\left(\frac{|\theta_{im} - \theta_a|}{q}\right) - \frac{1}{h_{se}}\right] \quad (49)$$

$$C' = \frac{2\lambda}{h_{se}}\left[\left(\frac{|\theta_{im} - \theta_a|}{|\theta_{se} - \theta_a|}\right) - 1\right] \quad (50)$$

Determinación del flujo térmico total para paredes planas, tuberías y esferas

El flujo térmico total para una pared plana se calcula con la ecuación (51):

$$\Phi_T = U_T A(\theta_{im} - \theta_a) \quad (51)$$

El flujo térmico total para una tubería se calcula con la ecuación (52):

$$\Phi_T = U_{TJ} l(\theta_{im} - \theta_a) \quad (52)$$

Cálculo del cambio de temperatura en tuberías, recipientes y contenedores

Cambio de temperatura longitudinal en una tubería

Para obtener un valor exacto del cambio de temperatura longitudinal en una tubería con un medio que fluye, es decir, líquido o gas, se deben aplicar las ecuaciones (54) y (55):

$$|\theta_{fm} - \theta_a| = |\theta_{im} - \theta_a|\, e^{-\alpha l} \quad (54)$$

$$\alpha = \frac{U_{TJ} \times 3{,}6}{\dot{m} c_p} \quad (55)$$

Donde:

θ_{fm} = Temperatura final del fluido, expresada en grados Celsius

θ_{im} = Temperatura inicial del fluido, expresado en grados Celsius

θ_a = Temperatura ambiente, expresada en grados Celsius

c_p = Capacidad calorífica específica a presión constante del fluido, expresado en kilojoules por kilogramo kelvin.

$m°$ = Flujo másico del fluido, expresado en kilogramos por hora

l = Longitud de la tubería, expresado en metros

U_{TJ} = Transmitancia térmica lineal total, expresada en watts por metro kelvin

Las ecuaciones (54) y (55) también pueden utilizarse para ductos con sección transversal rectangular si, U_{TJ}, es reemplazada por, U_d, (38).

Cálculo de los tiempos de enfriamiento y congelación para líquidos estacionarios

Cálculo del tiempo de enfriamiento para un espesor dado de aislamiento para prevenir la congelación del agua en una tubería

El tiempo hasta que inicia la congelación se calcula utilizando la ecuación (60):

$$t_{wp} = \frac{(\theta_{im} - \theta_a)(m_w c_{pw} + m_p c_{pp}) \ln \frac{(\theta_{im} - \theta_a)}{(\theta_{fm} - \theta_a)}}{\Phi_T \times 3{,}6} \quad (60)$$

Donde:

Φ_T = Flujo térmico total, expresada en watts

θ_{im} = Temperatura inicial del fluido, expresado en grados Celsius

θ_{fm} = Temperatura final del fluido, expresada en grados Celsius

θ_a = Temperatura final del fluido, expresada en grados Celsius

c_p = Capacidad calorífica específica a presión constante del fluido, expresado en kilojoules por kilogramo kelvin.

m_W = Masa del agua, expresada en kilogramos

m_p = Masa de la tubería, expresada en kilogramos

El flujo térmico de la tubería sin aislamiento se calcula con la ecuación (61):

$$\Phi_T = h_{se} (\theta_{im} - \theta_a) \pi D_e l \quad (61)$$

Cálculo del tiempo de congelación del agua en una tubería

El tiempo de congelación, t_{fr} , depende de la densidad del flujo térmico y del diámetro de la tubería sin considerar los puentes térmicos, y se calcula con la ecuación (63):

$$t_{fr} = \frac{f}{100} \times \frac{\rho_{ice} \pi D_{ip}^2 \Delta h_{fr}}{\Phi_{T,fr} \times 3{,}6 \times 4} \quad (63)$$

Donde:

f = Fracción de la masa de agua que está congelada, expresada en porcentaje

D_{ip} = Diámetro interior de la tubería, expresado en metros

ΔH_{fr} = Calor latente del hielo, igual a 334 kJ/kg

ρ_{ice} = Densidad del hielo a 0° C, igual a 920 kg/m^3

Las tuberías subterráneas

Las tuberías se colocan en el suelo con o sin aislamiento térmico, ya sea en canales o directamente en el suelo.

Cálculo de la pérdida térmica para una sola línea, sin canales

Tubería sin aislamiento

El flujo térmico por metro, $q_{l,E}$, para una sola tubería subterránea se calcula con la ecuación (73):

$$q_{l,E} = \frac{\theta_l - \theta_{sE}}{R'_l + R_E} \quad (73)$$

Donde:

θ_1 = Temperatura media

θ_{sE} = Temperatura la superficie del suelo

R_1 = Resistencia térmica lineal del aislamiento

R_E = Resistencia térmica lineal del terreno para una tubería tendida en suelo homogéneo

Tubería aislada

Para tuberías subterráneas con diferentes capas de aislantes, la resistencia térmica se calcula con la ecuación (76):

$$R'_l = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{1}{\lambda_j} \ln \frac{D_{ej}}{D_{ij}} \right) \quad (76)$$

Cuando el diámetro interno, D_i, es idéntico a D_O (donde j = 1). La resistencia térmica lineal del terreno, R_E, se convierte, en la ecuación 78:

$$R_E = \frac{1}{2\pi\lambda_E} \operatorname{arcosh} \frac{2H_E}{D_n} \quad (78)$$