

NOMEX® TIPO 410

NOMEX® tipo 410 es un papel calandrado de aislamiento con altos valores inherentes de resistencia dieléctrica, tenacidad mecánica, flexibilidad y resiliencia. El tipo 410 es la forma original del papel NOMEX® y se emplea corrientemente en la mayoría de las aplicaciones de equipos eléctricos. Se suministra en 12 espesores (de 0,05 a 0,76 mm) y es utilizado en prácticamente todos los sistemas de aislamiento eléctrico por placa.

Propiedades eléctricas

La Tabla I muestra los valores típicos de las propiedades eléctricas de NOMEX® tipo 410. Los valores de la Resistencia Dieléctrica con Subida Rápida CA expresan los niveles de esfuerzo de tensión soportados durante períodos de 10 a 20 segundos con una frecuencia de 60 Hz. Dichos valores difieren del potencial de resistencia a largo plazo. DuPont recomienda que los esfuerzos continuos en los transformadores no excedan 1,6 Kv/mm a fin de minimizar el riesgo de descargas parciales (corona).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Los valores de la Resistencia Dieléctrica con Impulso de Onda Completa fueron generados en placas planas similares a las placas de las aplicaciones de capa y barrera. La geometría del sistema incide en los valores reales de resistencia de impulso del material. Los valores de Resiliencia Eléctrica son valores típicos y no deben ser tomados como especificación de diseño. DuPont le proporcionará, previa demanda, valores de diseño.

La temperatura apenas tiene efecto sobre la Resistencia Dieléctrica y la Constante Dieléctrica, como puede verse en la Figura 1.

Importante:

Las propiedades que constan en esta hoja de características técnicas son valores típicos y promedios y no deben ser tomados como límites de especificación. Excepto cuando estipulado, todas las propiedades fueron medidas en condiciones "normales" (en equilibrio a 23°C y 50% de humedad relativa). Obsérvese que como otros productos de las técnicas papeleras, los papeles NOMEX® presentan propiedades distintas en el sentido de la máquina (MD) y en sentido transversal (XD). En algunas aplicaciones, las ranuras de motores, por ejemplo, es necesario orientar el papel en la dirección óptima a fin de obtener todo el potencial de rendimiento del papel utilizado.

Tabla I – PROPIEDADES ELÉCTRICAS TÍPICAS

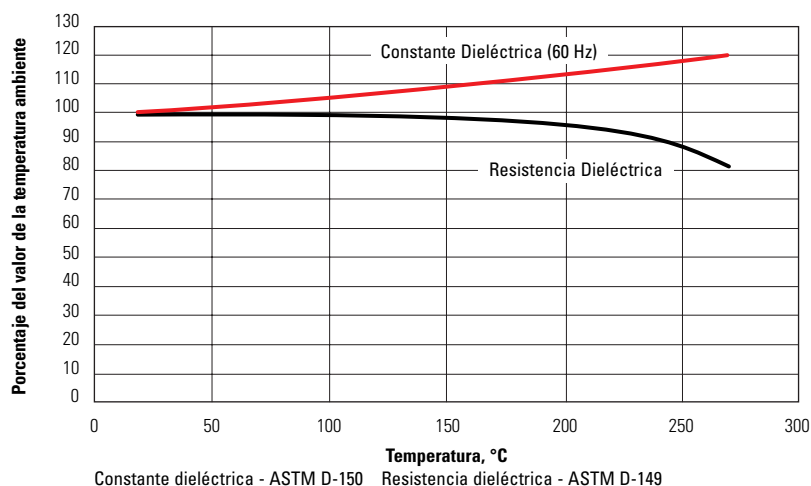
Esesor nominal (mil) (mm)	2 0,05	3 0,08	5 0,13	7 0,18	10 0,25	12 0,30	15 0,38	20 0,51	24 0,61	25,5 0,65	29 0,73	30 0,76
Resistencia Dieléctrica - Subida Rápida CA ¹⁾												
(V/mil)	430	550	680	840	815	820	830	810	800	730	750	680
(kV/mm)	17	22	27	33	32	32	33	32	31	29	30	27
- Impulso de Onda Completa ²⁾												
(V/mil)	1000	1000	1400	1400	1600	N/A	1400	1400	N/A	N/A	N/A	1250
(kV/mm)	39	39	55	55	63	N/A	55	55	N/A	N/A	N/A	49
Constante Dieléctrica ³⁾ a 60 Hz	1.6	1.6	2.4	2.7	2.7	2.9	3.2	3.4	3.7	N/A	3.7	3.7
Factor de Disipación ³⁾ a 60 Hz (x10 ⁻⁴)	4	5	6	6	6	7	7	7	7	N/A	7	7

¹⁾ ASTM D-149, electrodos de 50 mm, subida rápida; corresponde a IEC 243-1, subapartado 9.1 salvo por los electrodos de 50 mm.

²⁾ ASTM D-3426

³⁾ ASTM D-150

Figura 1 – EFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM



Variaciones de frecuencia de hasta 10^4 Hz no tienen prácticamente ningún efecto sobre la constante dieléctrica del papel NOMEX® tipo 410. La Figura 2 muestra los efectos de la temperatura y de la frecuencia sobre el factor de disipación de NOMEX® tipo 410 - 0,25 mm seco. Los factores de disipación a 60 Hz de los papeles con espesores inferiores son básicamente los mismos que los del papel de 0,25 mm con temperaturas de hasta 200°C. A temperaturas y frecuencias superiores, los papeles más gruesos presentan factores de disipación algo más elevados que los indicados para el papel de 0,25 mm.

La Figura 3 muestra los valores de Resistividad Superficial y Volumétrica de NOMEX® tipo 410 - 0,25 mm en función de la temperatura. Los valores correspondientes para otros espesores de NOMEX® tipo 410 son muy similares.

La Tabla II indica los efectos relativamente leves de la humedad sobre las propiedades eléctricas del papel NOMEX® tipo 410 - 0,25 mm.

Tabla II – **EFFECTOS DE LA HUMEDAD SOBRE LAS PROPIEDADES ELÉCTRICAS DE NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**

Humedad relativa (%)	Completamente seco	50	96	
Resistencia Dieléctrica ¹⁾	(V/mil)	850	815	780
	(kV/mm)	33.5	32.1	30.7
Constante Dieléctrica ²⁾	a 60 Hz	2.5	2.7	3.2
	a 1 kHz	2.3	2.6	3.1
Factor de Disipación ²⁾	a 60 Hz ($\times 10^{-3}$)	6	6	11
	a 1 Hz ($\times 10^{-3}$)	13	14	25
Resistividad Volumétrica ³⁾ (Ohm.cm)	6×10^{16}	2×10^{16}	2×10^{14}	

¹⁾ STM D-149, electrodos de 50 mm, subida rápida; corresponde a IEC 243-1, ²⁾ ASTM D-150 ³⁾ ASTM D-257 subapartado 9.1 salvo por los electrodos de 50 mm.

Figura 2 – **FACTOR DE DISIPACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA Y FRECUENCIA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**

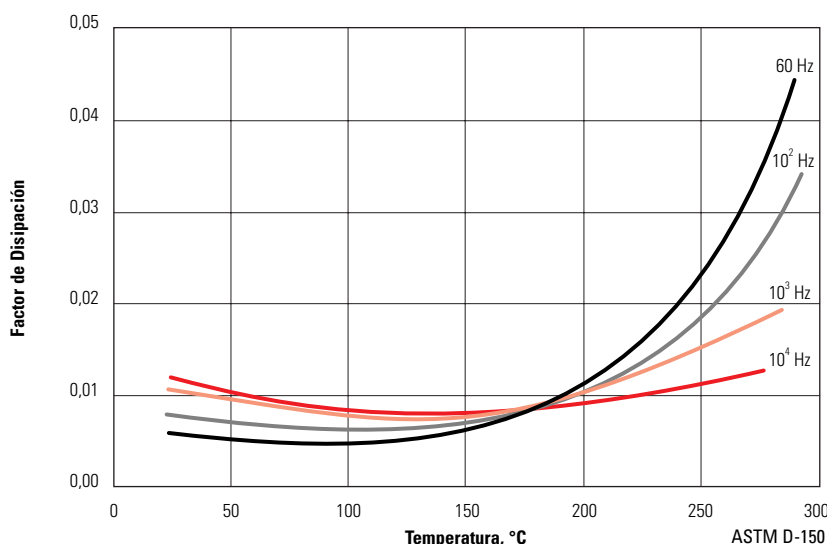
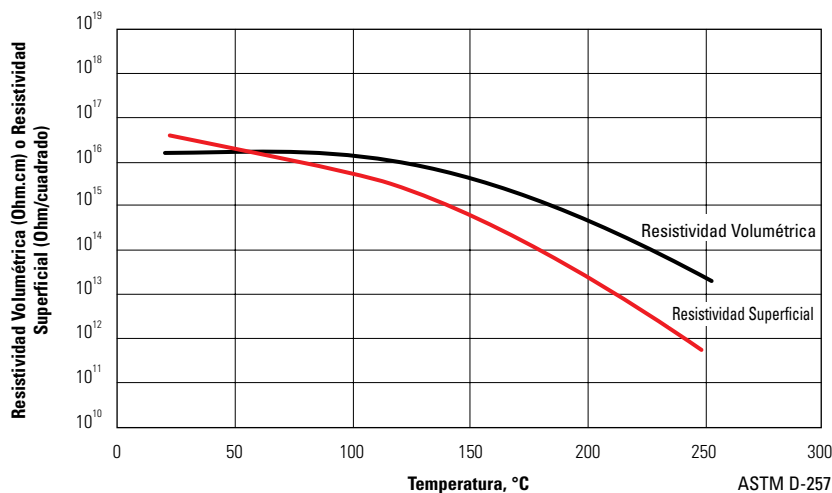


Figura 3 – **RESISTIVIDAD EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**



Como otros materiales aislantes orgánicos, NOMEX® se va degradando paulatinamente frente a los ataques de las descargas de corona. La intensidad de corona depende del esfuerzo de tensión que a su vez depende casi por completo de parámetros de diseño como el espacio entre elementos de circuito, contornos suaves o agudos, etc. Si bien el efecto corona no suele darse durante el funcionamiento normal de equipos eléctricos correctamente diseñados, cualquier equipo puede verse expuesto a breves sobrecargas de tensión que producen cortas descargas de corona; es pues de gran importancia que el aislamiento no falle prematuramente en estas condiciones.

El papel NOMEX® tipo 410 presenta una Resistencia a la Tensión (tiempo hasta la rotura por ataque de corona) mayor que la de otros materiales orgánicos corrientemente utilizados como aislantes e incluso parecida a la de algunos compuestos inorgánicos, como puede verse en la Figura 4. Estos valores se obtuvieron con capas sencillas de 0,25 mm de material a temperatura ambiente, frecuencia de 360 Hz y 50% de humedad relativa. Los tiempos hasta la rotura con frecuencia de 50-60 Hz son de 6 a 7 veces mayores que los indicados.

Figura 4 – RESISTENCIA A LA TENSIÓN DE VARIOS MATERIALES AISLANTES, NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM

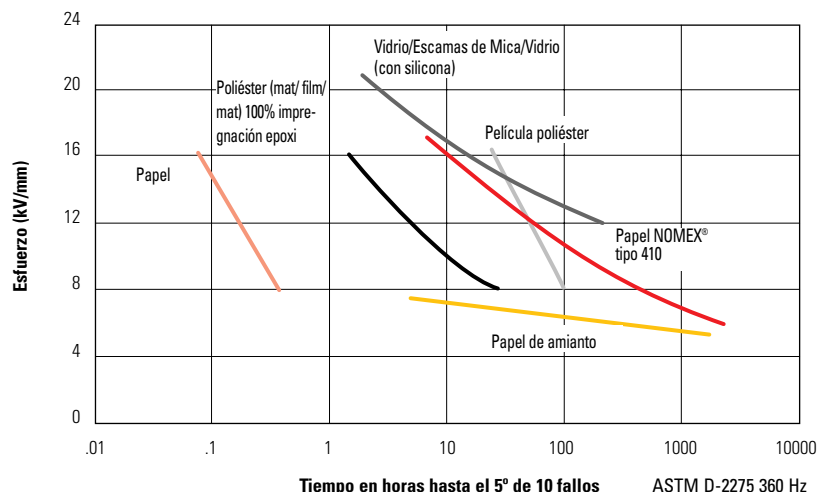


Tabla III – PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS

Espesor nominal	(mil / mm)	2	3	5	7	10	12	15	20	24	25.5	29	30	Método prueba
		0.05	0.08	0.13	0.18	0.25	0.30	0.38	0.51	0.61	0.65	0.73	0.76	
Espesor Típico ¹⁾	(mil / mm)	2.2 0.06	3.1 0.08	5.2 0.13	7.2 0.18	10.2 0.26	12.2 0.31	15.2 0.39	20.3 0.52	24.1 0.61	25.4 0.65	28.7 0.73	30.4 0.77	ASTM D-374
Peso Base	(g/m ²)	41	63	116	175	249	309	397	547	693	696	854	847	ASTM D-646
Densidad	(g/cm ³)	0.72	0.80	0.87	0.95	0.96	1.00	1.03	1.06	1.13	1.08	1.17	1.10	
Resistencia a la tracción	(N/cm)													
	MD	39	65	137	219	285	378	459	606	741	758	860	841	ASTM D-828
XD	18	32	66	111	152	196	252	354	497	524	630	595		
Alargamiento (%)	MD	9	11	15	18	19	22	19	20	18	19	16	17	ASTM D-828
	XD	6	8	12	14	15	17	14	16	14	16	12	13	
Desgarro Elmendorf (N)	MD	0.8	1.2	3.4	3.9	6.0	7.4	9.5	14.2	N/A	N/A	N/A	N/A	TAPPI-414
	XD	1.6	2.3	5.2	7.4	10.8	14.2	17.2	23.7	N/A	N/A	N/A	N/A	
Resistencia al desgarro inicial ²⁾	MD	11	16	33	50	71	93	116	163	201	209	252	251	ASTM D-1004
	XD	6	8	17	27	42	55	74	113	157	159	199	200	
Retracción a 300°C (%)	MD	2.2	1.1	0.9	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	0.0	N/A	0.0	0.2	
	XD	0.1	0.0	0.0	0.2	0.1	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

¹⁾ Método D, 17 N/cm²

²⁾ Los valores se indican en el sentido de la muestra para ASTM D-1004. El desgarro está a 90° del sentido de la muestra, por tanto, los papeles con una elevada resistencia al desgarro inicial serán más resistentes en el sentido transversal.

MD = Sentido de la máquina

XD = Sentido transversal

Propiedades mecánicas

La Tabla III muestra los valores típicos de las propiedades mecánicas del papel NOMEX® tipo 410 mientras que los efectos de las altas temperaturas sobre la resistencia a la tracción y el alargamiento están recogidos en la Figura 5. Por otra parte, las estructuras laminares de NOMEX® retienen sus buenas propiedades mecánicas aun expuestas a bajas temperaturas. En el punto de ebullición del nitrógeno líquido (77K o -196°C), la resistencia a la tracción del papel NOMEX® tipo 410 es de 30 a 60% mayor (según el sentido) que a temperatura ambiente, mientras que el alargamiento sigue siendo superior a 3% (mayor que la mayoría de los materiales inorgánicos a temperatura ambiente). De ahí que NOMEX® tipo 410 dé buenos resultados en aplicaciones criogénicas.

El agua constituye un plastificante suave para los papeles NOMEX®. La Figura 6 muestra los efectos de la humedad sobre la resistencia a la tracción y el alargamiento. La solidez y la resistencia al desgarro de NOMEX® tipo 410 también mejoran con altos contenidos de humedad.

El tamaño del papel NOMEX® tipo 410 completamente seco expuesto a una humedad relativa del 95% aumentará (debido a la absorción de humedad) como mucho un 1% en el sentido de la máquina y un 2% en sentido transversal. Este incremento de tamaño es en gran medida reversible cuando el papel se vuelve a secar. La velocidad del cambio de tamaño depende por supuesto del grosor del papel y de su configuración (por ejemplo, hojas individuales o rollos apretados). Variaciones en la humedad relativa también pueden producir cambios de tamaño, si bien no serán superiores al 1%. No obstante, incluso las pequeñas modificaciones de tamaño, sobre todo si son irregulares, pueden mermar la lisura de las hojas (bultos, burbujas, arrugas, etc.) las cuales pueden causar problemas en operaciones críticas como el laminado o el crepado. Así pues, los papeles NOMEX® destinados a estas aplicaciones deberán conservarse sellados en su envoltorio de polietileno hasta su utilización a fin de mantener constante su nivel de humedad.

Figura 5 – EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM

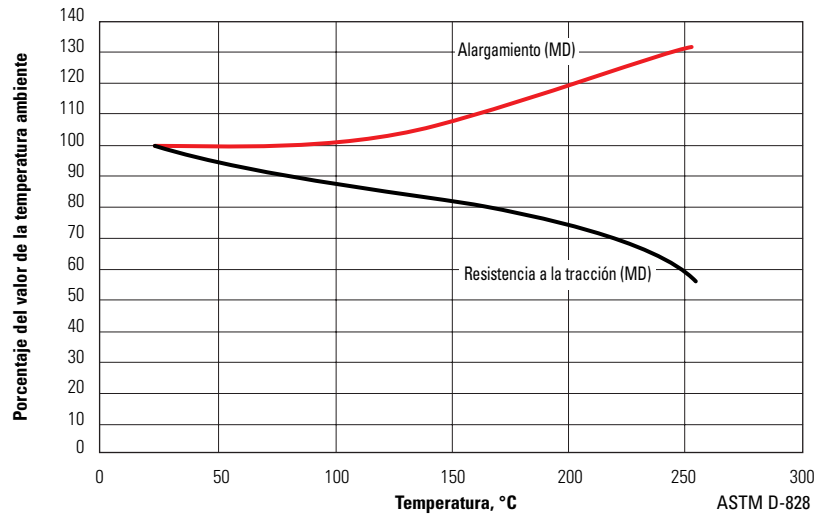
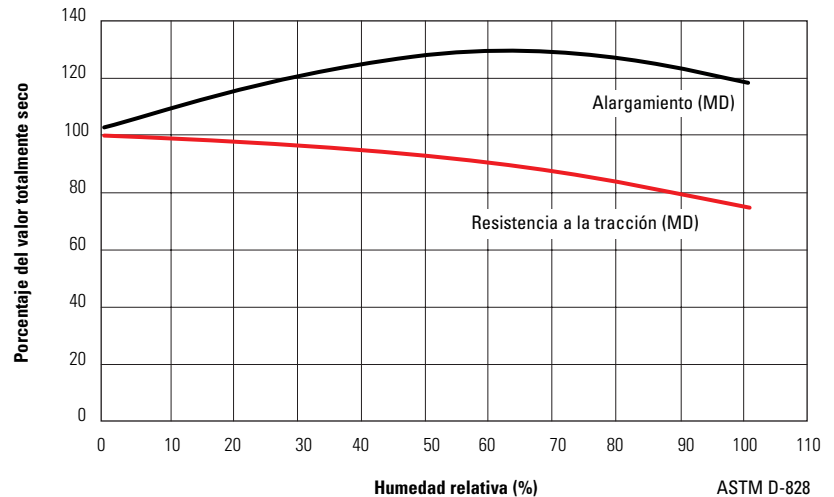


Figura 6 – EFECTOS DE LA HUMEDAD EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM



Propiedades térmicas

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran los efectos de la exposición prolongada a altas temperaturas sobre importantes propiedades eléctricas del papel NOMEX® tipo 410 - 0,25 mm. Estas gráficas de Arrhenius del envejecimiento constituyen la base del reconocimiento de los papeles NOMEX® como aislantes a 220°C por Underwriters Laboratories, la Marina de los EE.UU. y otros organismos y también las respaldan 35 años de experiencia en aplicaciones comerciales. Las gráficas también permiten extrapolar para temperaturas superiores. Así por ejemplo, las mediciones indican que el papel NOMEX® tipo 410 retendrá su resistencia dieléctrica de 12 Kv/mm durante varias horas de exposición a 400°C tal como permite predecir la gráfica de Arrhenius.

Figura 7 – **VIDA ÚTIL EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**

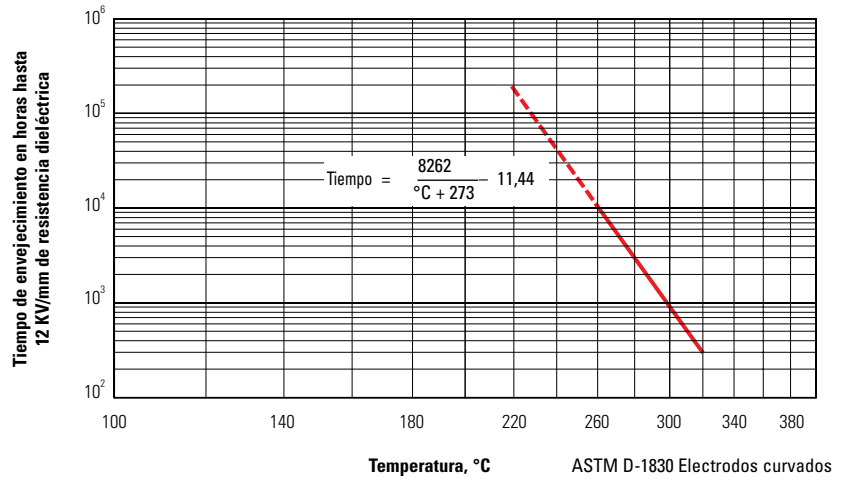
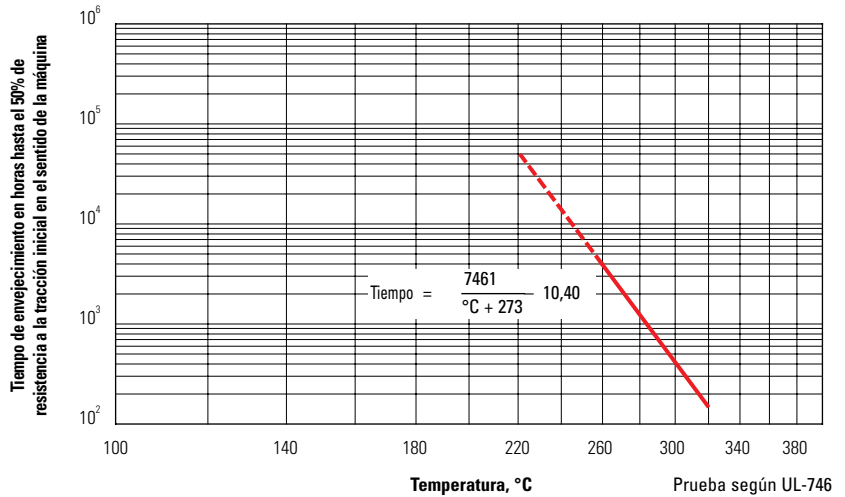


Figura 8 – **VIDA ÚTIL EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**



La Figura 10 recoge la conductividad térmica del papel NOMEX® tipo 410 - 0,25 mm. Los valores son similares a los de los papeles de celulosa y dependen sobre todo, como en el caso de la mayoría de los materiales, del peso específico (densidad). Así pues, los papeles NOMEX® tipo 410 más finos, cuya densidad es algo menor, presentarán una conductividad algo inferior e inversamente, los papeles con mayores espesores, también más densos, presentarán conductividades superiores, tal como recoge la Tabla IV. La construcción del sistema en conjunto también puede afectar la conductividad térmica total, por lo cual los valores indicados para las hojas individuales deben utilizarse con sumo cuidado en condiciones reales. Así por ejemplo, dos aislamientos de placa con las mismas conductividades térmicas pueden tener efectos muy distintos sobre la transferencia térmica de un bobinado, debido a diferencias de rigidez o de tensión de enrollamiento que afectan al espacio entre las capas aislantes.

Figura 9 – **VIDA ÚTIL EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**

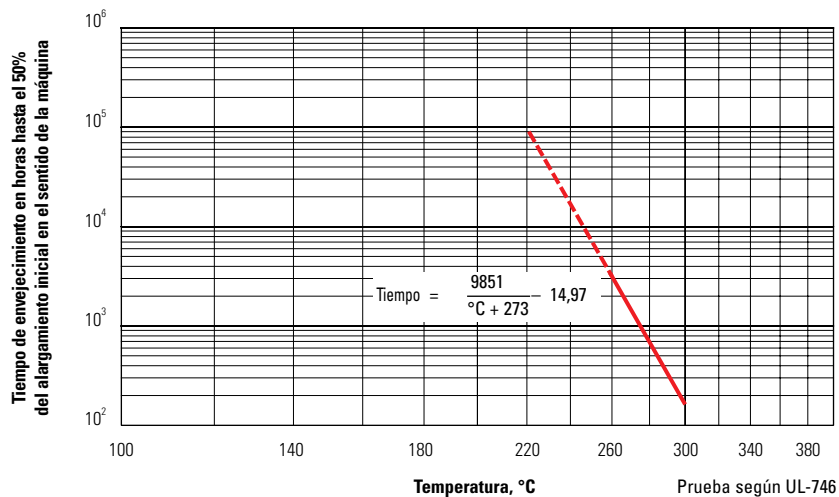


Figura 10 – **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA EN FUNCIÓN DE LA TEMPERATURA NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**

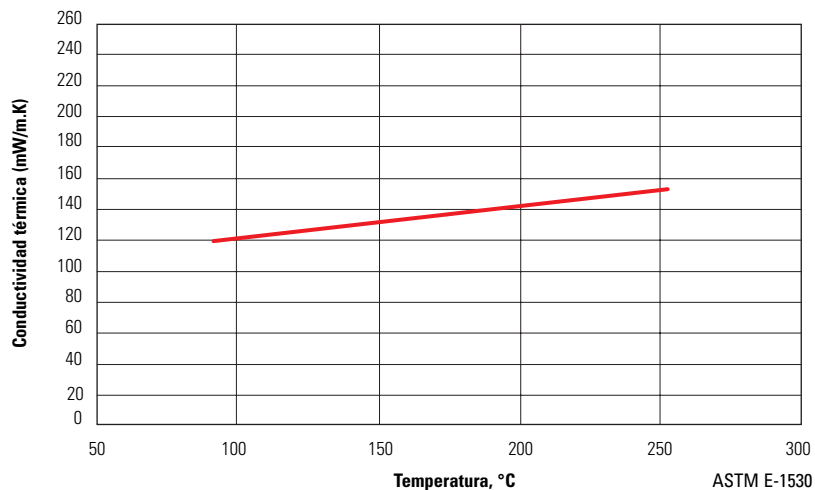


Tabla IV – **CONDUCTIVIDAD TÉRMICA**

Esesor Nominal (mil) (mm)	2 0,05	3 0,08	5 0,13	7 0,18	10 0,25	15 0,38	20 0,51	30 0,76
Densidad g/cm ³	0,72	0,80	0,87	0,95	0,96	1,03	1,06	1,10
Conductividad Térmica ¹⁾ (mW/m.K)	103	114	123	143	139	149	157	175

¹⁾ Datos obtenidos a 150°C

Estabilidad química

La compatibilidad de los papeles y cartones prensados NOMEX® con prácticamente todos los barnices y adhesivos eléctricos (poliamidas, siliconas, epóxidos, poliésteres, acrílicos, fenólicos, cauchos sintéticos, etc.) y con los demás componentes de equipos eléctricos queda demostrada por los numerosos sistemas de aislamiento incorporando NOMEX® reconocidos por UL y por una larga experiencia comercial. Los papeles NOMEX® son así mismo plenamente compatibles (y utilizados comercialmente) con los fluidos de transformadores (aceites mineral y de silicona) y con lubricantes y refrigerantes utilizados en los dispositivos herméticos. Los disolventes industriales corrientes (alcoholes, cetonas, acetona, tolueno, xileno) causan un leve ablandamiento e hinchamiento del papel NOMEX® tipo 410 similar al producido por el agua. Son efectos reversibles que desaparecen al eliminarse el disolvente.

El Índice de Oxígeno Crítico (IOC) del papel NOMEX® tipo 410 a temperatura ambiente es de 27 a 32% (según el espesor y densidad); mientras que a 220°C sus valores van de 22 a 25%. Los materiales con un IOC superior a 20,8 (en atmósfera ambiente) no sostienen la combustión. El papel NOMEX® tipo 410 debe ser expuesto a temperaturas de 240 a 350°C (aquí también según el grosor) para que su IOC descienda por debajo del umbral de inflamabilidad. La Figura 11 muestra los valores del IOC de NOMEX® tipo 410 - 0,13 mm.

Los efectos de 6.400 megarads (64 Mgy) de radiación beta de 2 MeV sobre las propiedades mecánicas y eléctricas del papel NOMEX® tipo 410 quedan reflejados en la Tabla V. (En comparación, un laminado de película y entramado de poliéster del mismo grosor, impregnado al 100% de epóxido, se desmorronó a partir de 800 megarads u 8 Mgy. Se obtuvieron resultados muy parecidos con exposiciones a radiación gamma. Debido a su notable resistencia a la radiación, los papeles de NOMEX® se suelen utilizar en los críticos equipos de control de las centrales nucleares.

Figura 11 – **ÍNDICE DE OXÍGENO CRÍTICO (IOC) NOMEX® TIPO 410 - 0,13 MM**

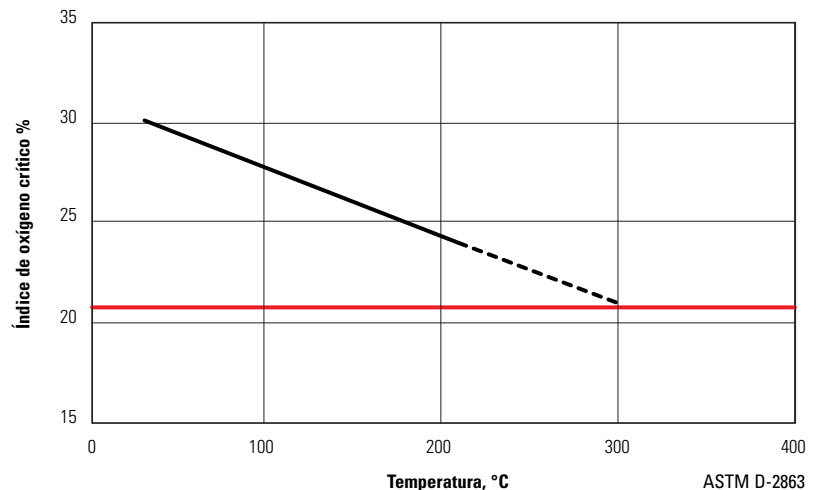


Tabla V – **RESISTENCIA A RADIACIÓN BAJO 2 MEV DE ELECTRONES (RAYOS BETA) NOMEX® TIPO 410 - 0,25 MM**

Dosis (MGy)		0	1	2	4	8	16	32	64
Resist. a la Tracción ¹⁾ MD (% del original)	MD	100	96	100	100	94	87	81	65
	XD	100	100	99	99	97	86	81	69
Alargamiento ¹⁾	MD	100	89	92	96	76	60	36	18
	XD	100	92	91	88	82	47	27	16
Resist. Dieléctrica ²⁾ (kV/mm)		34	34	33	33	33	34	35	31
Constante Dieléctrica ³⁾	60 Hz	3.1	3.0	3.0	3.0	3.0	3.1	2.3	2.5
	1 kHz	3.0	3.0	2.9	3.0	2.9	3.1	2.3	2.5
	10 kHz	2.9	2.9	2.9	2.9	2.8	3.0	2.2	2.4
Factor Dieléctrico ³⁾ (x 10 ⁻³)	60 Hz	8	14	10	12	9	14	7	10
	1 kHz	13	16	15	16	13	16	11	13
	10 kHz	18	21	20	20	19	20	15	17

¹⁾ ASTM D-828

²⁾ ASTM D-149 con electrodos de 6,4 mm de diámetro.

³⁾ ASTM D-150

DuPont NOMEX®
P.O. Box 50
CH-1218 le Grand Saconnex
Ginebra, Suiza
Tel: ++41 22 717 5111
Fax: ++41 22 717 6218
e-mail:
info.nomex@che.dupont.com

DuPont NOMEX®
ARCO Tower
8-1, Shimomeguro I-chome
Meguro-ku, Tokyo 153
Japón
Tel: ++81 3 5434 6609
Fax: ++81 3 5434 6605

DuPont NOMEX®
1122 New World Office Building
East Wing
24 Salisbury Road
Tsimshatsui
Kowloon
Hong Kong
Tel: ++852 2734 5363
Fax: ++852 2734 5486
e-mail:
SullaS.F.Wang@HKG.dupont.com

DuPont NOMEX®
Customer Inquiry Center
5401 Jefferson Davis Highway
Richmond, VA 23234
EE UU
Tel: ++1 800 453 8527
++1 804 383 4400
Fax: ++1 804 787 7086
++1 804 383 3963
e-mail:
afscdt@usa.dupont.com

DuPont NOMEX®
P.O. Box 2200
Streetsville Postal Station
7070 Mississauga Road
Mississauga, Ontario, L5M 2H3
Canadá
Tel: ++1 905 821 5193
Fax: ++1 905 821 5177

DuPont do Brasil SA
Departamento AFS/NOMEX® Paper
Al. Itapecuru, 506
Alphaville
Barueri, SP
CEP 06454-080
Brasil
Tel: ++55 11 4166 8295
Fax: ++55 11 4166 8904
e-mail:
Fabio-Almeida.Oliveira@bra.dupont.com

www.dupont.com/nomex

Información sobre la seguridad de los productos a solicitud.
La información aquí reseñada corresponde a los datos más exactos de que actualmente disponemos. Esta información se ofrece a título indicativo y exclusivamente para proporcionar sugerencias para su propia experimentación. No se pretende sustituir las pruebas que Udes. deban efectuar para determinar la elección de nuestros productos para sus necesidades particulares. Estos valores son susceptibles de modificación a medida que se obtengan datos y experiencia nueva. Ya que no es posible realizar un control sobre las condiciones particulares de utilización de nuestros productos, DuPont no asume ninguna obligación sobre resultados ni responsabilidad alguna referente a la utilización de esta información. Por otro lado y en ningún caso, la presente publicación debe interpretarse como una licencia de uso ni como medio para violar los derechos de patentes existentes.

02/01
L-12285-6

